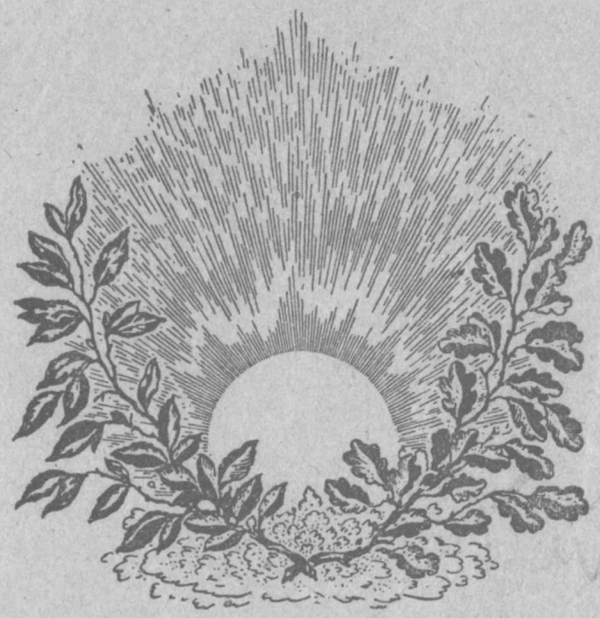
19481
926

К. ТИМИРЯЗЕВ

# СОЛНЦЕ, ЖИЗНЬ И ХЛОРОФИЛЛ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
1923

1948 л
926

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — ПЕТРОГРАД

**Аркин, Е. А.** — Мозг и душа. 169 стр. Ц. 25 к.

**Ауербах, Ф.** — Пространство и время. Материя и энергия. 156 стр. Ц. 30 к.

**Берен, М. (Кистяковская)** — Рассказы о борьбе человека с природой. 117 стр. Ц. 25 к.

**Беркова, К. Н.** — Жизнь, ее проявления, происхождение и развитие. 92 стр. Ц. 20 к.

**Броунов, П. И.** — Небо и воздух. 57 стр. Ц. 25 к.

**Вагнер, Ю.** — Рассказы о том, как живут и устроены растения. 106 стр. Ц. 20 к.

**Вагнер, Ю.** — Рассказы о животных. 94 стр. Ц. 20 к.

**Гастерлик, А.** — Пища и питье. 89 стр. Ц. 18 к.

**Гейки, А.** — Геология. 159 стр. Ц. 35 к.

**Гейки, А.** — Физическая география. 142 стр. Ц. 35 к.

**Елачич, Евг.** — О вымерших животных. (Пресмыкающиеся). 69 стр. Ц. 35 к.

**Елачич, Евг.** — О происхождении птиц и о вымерших птицах. 85 стр. Ц. 25 к.

**Кайгородов, Д.** — Пернатые хищники. Популярные очерки из мира русских хищных птиц. 124 стр. Ц. 60 к.

**Каменьщиков, Н.** — Небо и звезды. Беседа для взрослых. 13 стр. Ц. 5 к.

**Кифаров, А. Г.** — Как устроены и работают часы. 47 стр. Ц. 10 к.

**Львов, Вл.** — Кометы и падающие звезды. 45 стр. Ц. 15 к.

**Львов, Вл.** — В нефтяном царстве. Очерк Бакинских нефтяных промыслов. 60 стр. Ц. 15 к.

**Львов, Вл.** — Каменный уголь, как его добывают и как он образовался. 44 стр. Ц. 15 к.

**Мольденгауер, В.** — В лиственном лесу. Рассказы молодого экскурсанта. 130 стр. Ц. 40 к.

**Мольденгауер, В.** — В хвойном лесу. 140 стр. Ц. 35 к.

**Мейер, К. И.** — Происхождение наземной растительности. 75 стр. Ц. 30 к.

**Мечников, И.** — Биография Пастёра. 70 стр. Ц. 30 к.

**Нансен, Фритьоф** — На крайнем севере. Жизнь эскимосов. Сокращенный перевод О. Н. Поповой. 68 стр. Ц. 40 к.

**Нечаев, А. П.** — Почва и ее история. Географический этюд. 79 стр. Ц. 25 к.

**Нечаев, А. П.** — Между огнем и льдом. (О вулканах и ледниках). Очерки и картины из жизни земли. 220 стр. Ц. 1 р. 30 к.

**Никитинский, Я. Я.**, проф. — Стакан воды. Значение воды в жизни человека. 121 стр. Ц. 70 к.

**Павлова, М.**, проф. — Ископаемые слоны. 55 стр. Ц. 10 к.

1948 л
926

К. ТИМИРЯЗЕВ

# СОЛНЦЕ, ЖИЗНЬ
# И
# ХЛОРОФИЛЛ

**СБОРНИК ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕЧЕЙ И ЛЕКЦИЙ**

**1868—1920**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТ
МОСКВА - - 1923 - - ПЕ

1992
1973 г.

Гиз. 2695. 1923 г. 7.000 экз.

Типография Госиздата им. тов. Бухарина ПТГ., Б. Болотная, 10.

СЫНУ МОЕМУ

Аркадию Климентовичу

ТИМИРЯЗЕВУ

Ты сумел осуществить мечту моей жизни — стать физиком. Тебе посвящаю эти полувековые попытки мои ввести строгость мысли и блестящую экспериментацию физики в изучение самого важного физиологического явления. В проклятой классической школе, которая отравила твои юношеские годы, вас учили, что: „Отцы, которых стыд и сравнивать с дедами, родили нас негоднейших, а нас помянет мир еще пустейшими сынами“ *). Ты доказал, что сын может быть умнее и честнее отца. Да послужит тебе это сознание утешением и поддержкой в минуты тяжелой жизненной борьбы.

*Отец твой К. Тимирязев.*

*) Оды Горация в переводе Благовещенского.

Cette matière colorante (fecule verte) est une matière particulière, subtile et qui tient de près aux grands mistères de la Végétation.

Jean Senebier. Physiologie Vègètale. Genève an 8 (1800).

Zuerst must gefragt werden ob das Licht, welches auf lebende Pflanzen fällt, wirklich eine andere Verwendung findet als das Licht, welche todte Körper trift.

Robert Mayer. Die Organische Bewegungen etc. 1845.

Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in der Pflanze erzeugt und aufgehaüft werden und wir können als sehr wahrscheinlich vermuthen dass das erstere der Grund des Zweiten ist. Allerdings muss ich bemerken, besitzen wir noch keine Versuche aus denen sich bestimmen liesse ob die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen auch dem während derselben Zeit angehaüften chemischen Kraftvorrathe entspricht, und solange diese fehlen können wir die angegebene Beziehung noch nicht als Gewissheit betrachten.

Herman Helmholtz. Die Wechselwirkung der Naturkräfte. 1854.

The action of chlorophyll in the decomposition of carbonic dioxide and evolution of oxygen is perhaps the most interesting of all natural phenomena.

W. Bayliss. Principles of general Physiology, p. 558. 1915 [1]).

---

[1]) Перевод эпиграфов в тексте.

# ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

## ПУБЛИЧНЫЕ ЛЕКЦИИ

ПРЕДИСЛОВИЕ [1]).

# Солнце, жизнь и хлорофилл.

*(Посвящается памяти великих германских ученых—Роберта Майера и Германа Гельмгольтца).*

25 ноября 1914 года научный мир должен был чествовать память одного из творцов современной науки—Роберта Майера—по поводу исполнившегося столетия со дня его рождения. Международное чествование не могло состояться по причине войны, и мне неизвестно, могли ли чем отметить этот день соотечественники великого ученого.

31 августа 1921 года, будем надеяться, уже закончится самая позорная из войн, лежащих на совести людей, и опомнившееся человечество, конечно, отметит столетие со дня рождения гениальнейшего представителя науки девятнадцатого века, всеобъемлющего ученого, разделяющего с Робертом Майером славу открытия закона сохранения энергии.

Сознавая, что главным содержанием моей полувековой научной деятельности был всесторонний экспериментальный ответ на запросы, предъявленные науке этими двумя мыслителями, я считаю уместным напомнить в этом беглом очерке об их значении для основного учения о жизни тем более, что, по их собственному признанию, главным стимулом, руководившим ими в их стремлении обосновать свой закон „сохранения силы“, было покончить навсегда с современным им учением о „жизненной силе“, с тем витализмом, призрак которого стал снова подымать голову в связи с торжеством метафизических идей, характеризующим общий упадок научного и общего мышления в последние десятилетия, предшествовавшие войне.

Установив учение о превращении теплоты в работу и, обратно, о механическом эквиваленте теплоты, развив одновременно с Гельмгольтцем учение о „неисчезаемости силы“, позднее формулированное как учение о „сохранении энергии“, Майер сосредоточился на приложении этого учения к миру органическому, к чему, как уже замечено, его главным образом влекло желание навсегда покончить с „витализмом“, так как: „допущением какой-то гипотетической жизненной силы пресекается путь к дальнейшему исследованию и делается невозможным применение законов точной науки к учению о жизни. Сторонники этой жизненной силы восстают против духа прогресса, проявляющегося в

[1]) Весь сборник (подробный список статей и распределение по частям) был подготовлен автором к печати. Болезнь, окончившаяся смертью автора 28 апреля 1920 года застала его во время работы над предисловием, которое осталось незаконченным.

современном естествознании, и возвращаются к прежнему хаосу самой необузданной фантазии". Именно эти страницы из его известной статьи „Die organische Bewegung, in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel" [1]), посвященные растению и животному, приведенные Тиндалем в его высокоталантливой книге „Теплота, как род движения" [2]) и послужили сигналом, изменившим настроение всего ученого мира к злополучному ученому [3]). В параграфе, посвященном растению, Майер так устанавливает отношение растения к солнцу: „Природа поставила себе задачей перехватить налету притекающий на землю свет и превратить эту подвижнейшую из сил в твердую форму [4]), сложив ее в запас. Для достижения этой цели она покрыла земную кору организмами, которые в течение своей жизни воспринимают солнечный свет и, используя эту силу, создают постоянно нарастающую сумму химической разности [5]). Эти организмы—растения". Растения поглощают известную силу—свет и проявляют другую—химическую разность. Закон логической причинности понуждает естествоиспытателя приводить поглощение и производимую работу в причинную связь. Но вслед за тем он указывает на недостаточность современных ему сведений в этом направлении и намечает задачу, которую предстоит разрешить, прежде чем высказанное им заключение превратится в доказанную научную истину.

„Прежде всего возникает вопрос: тот свет, который падает на живое растение, действительно ли он получает иное потребление, чем тот свет, который падает на мертвые тела" [6]).

К тому же, как Майер, выводу пришел несколько позже Гельмгольтц в приведенных также в эпиграфе словах: „Таким образом одновременно с исчезновением солнечного света [7]) в растении наблюдается появление и накопление горючего вещества, и мы вправе считать очень вероятным, что первое является причиной второго. Но, во всяком случае, я должен оговориться, что мы не обладаем никакими опытами, из которых можно было бы с достоверностью заключить, точно ли живая сила исчезающих солнечных лучей соответствует накопляющемуся запасу химических сил, а пока таких

[1]) Органическое движение в связи с превращением вещества.

[2]) Бывшей позднее предметом глумления таких философов-берклианцев, как Мах и Оствальд.

[3]) Основные черты трагической судьбы Р. Майера приведены мною в моей книжечке „Растение и солнечная энергия"—1897. 2-е издание 1919. См. эту книгу стр. 25.

[4]) Мысль о взаимном превращении между светом и материей, как увидим, высказывалась уже Ньютоном.

[5]) Майер употребляет это выражение вместо обычного: химическое сродство.

[6]) См. второй эпиграф. Майер заключает эту фразу так: „Не будет ли растение caeteris paribus под влиянием света нагреваться менее, чем другие темные поверхности". Такой же подход к разрешению вопроса предлагал и Томсон (лорд Кельвин). С этой целью еще в 1870 году я придумал особый термоэлектрический прибор, выполненный по моим указаниям самим стариком Румкорфом (см. труды СПБ. Общ. естествоиспытателей. ч. V. 1874 г. „Термоэлектрический прибор для физиологических целей" (стр. 4). Но я убедился, что этот путь исследования неудобен и перешел к другому.

Гораздо позднее он был применен Детлефсоном и еще позднее Пуриевичем и также не дал удовлетворительных результатов.

[7]) Мы увидим, что это дополнение Гельмгольтца, представляющее как бы преимущество перед Майером, оказалось на деле неверным.



опытов еще не существует, мы не можем признать указанное соотношение за несомненную истину. Зато, когда оно подтвердится на опыте, получится лестный для нас вывод, что все те силы, при помощи которых живет и движется наше тело, имеют своим источником солнечный свет".

Осуществить этот опыт, превратить блестящую мысль двух великих ученых в „несомненную истину", доказать солнечный источник жизни—такова была задача, которую я поставил себе с первых шагов своей научной деятельности и упорно и всесторонне осуществлял въ течение полувека.

Солнце и жизнь—эти два представления человек, вероятно, привык связывать, сопоставлять, как только стал осмысленно озираться на окружающий мир и на себя самого. Доказательством тому не служит ли тот культ солнца, который мы встречаем, начиная с самых низших ступеней развития человечества и кончая народами, стоящими высоко на пути культуры?

Современные борцы против человеческого разума и его высшего проявления—науки, бьющие отбой во имя попятного возвращения в область интуиции или инстинкта (всякие Бергсоны и их многочисленные поклонники у нас), поспешат, конечно, сделать из этого вывод в пользу примата интуиции, на многие тысячелетия опередившей на этом пути разум и науку.

Но дадим себе труд ознакомиться с плодами этой интуиции, начиная от самой первобытной и до самой изощренной, в ее попытках охватить мыслию величайшее из явлений, конечно, ранее всего поразившее и приковавшее к себе его внимание,—солнце, и мы увидим, как жалки и бессильны были все эти попытки разгадать то, что могло быть раскрыто только разумом, дисциплинированным наукой,—природу солнца и его отношение к жизни.

Недавно появилась изящно изданная книга одного американского астронома Олкота [1]), касающаяся роли солнца в фолклоре всех времен и народов. Он тщательно собрал мифы и легенды, верования, поверия и суеверия, связанные с солнцем, начиная от современных дикарей (американских, африканских, океанийских и проч.), переходя к Вавилону, Ассирии, Финикии, Египту, Греции, Риму, Перу и Мексике и кончая современными повериями, обычаями, предрассудками и другими пережитками, уцелевшими у самых культурных народов [2]). Не говоря уже о детски убогих, буднично тривиальных созданиях интуиции первобытных народов, о всех бесконечных зайцах или воронах, откуда-то занес-

[1]) Olcott, Sun Lore of all Ages, 1914. с прекрасными фотографиями, иллюстрирующими роль солнца в искусстве и культе.

[2]) Как быстро исчезают эти последние следы солнечного культа, примером тому может служить за мою память исчезнувшее празднование в ночь под Иванов день на взморьи Крестовского острова (в Петербурге) с прыганьем через костры, скатываньем под горку (Кулерберг) и другими несомненными пережитками глубокой старины,—праздника летнего поворота солнца, тесно связанного с зимним, т. е. 25 декабря.

ших солнце, или о ловком охотнике, где-то похитившем его и подвесившем к тому своду, на котором оно продолжает болтаться и поныне,— перед нами проходит вереница величественных храмов (Стонхендж, Кузко, храм на озере Солнца, на озере Титикака, в Карнаке, Бальбеке и проч.), заставляющих дивиться обширности технических и астрономических знаний их строителей в сравнении с интуитивным творчеством, выразившимся в создании самых предметов культа, их изображений, символов и атрибутов—всех этих Молохов, Аманра, Астарот вплоть до последнего из них Митры, включительно, долго не сдававшегося перед торжествовавшим христианством [1]).

Олькот приводит любопытное изображение Митры (по некоторым исследователям не только бога солнца, но и бога растительности): между тем, как голова его окружена нимбом солнечных лучей (Sol invictus,— непобедимое солнце, как его величали римляне), ноги попирают веерообразно расположенные листовые пластины.

Только поэтический гений греков порою подсказывал им более удачные мифы и символы, как, например, те, которые связаны с позднейшим культом Аполлона. Но и здесь должно заметить, что интуиция греческих мифотворцев, вдохновлявшая бесчисленных художников вплоть до наших времен, остановилась прежде всего на не только несущественном, но и не существующем явлении—на его быстром суточном беге, находя подходящее сравнение в самом быстром им известном беге квадриг.

Они даже озаботились сохранить для нас клички этой небесной четверки: Erythous, т.-е. Красный, Acteon—Лучезарный, Lampos—сияющий и Philogaeus—землелюбивый, и эти кони продолжали вдохновлять художников вплоть до наших дней, как, например, в чудной, воспроизведенной Олькотом скульптуре XVIII века над входом в Парижскую Национальную Типографию. Даже ультра-реалист Роден не обошелся без них, как символа солнца, на памятнике великому художнику, „который первый осмелился, подобно орлу, смотреть на солнце“ [2]). Гораздо удачнее другой атрибут Аполлона—лук и стрелы и миф о том, как он убил Пифона, т.-е. как лучи солнца разгоняли заволакивающие землю туманы (в чем этот миф почти сходится с новейшими представлениями. См., напр., Лоуель „Эволюция миров“). Это удачное сравнение сохранилось даже в современной французской речи в выражении „le soleil dardant ses rayons“ и вдохновило Тернера в его знаменитой картине „Аполлон и Пифон“, где лучезарный юноша—бог убивает стрелой чудовище, своими извивающимися кольцами символизирующее клубящийся туман. К этому сравнению с копьем и стрелой, как мы увидим далее, прибегает даже современный физик, желая подчеркнуть могущественное действие лучистой энергии, концентрирующейся в малом пространстве. Но, быть может, еще ближе к занимающему нас

[1]) Пришедший с востока культ Митры, как известно, процветал в Риме в первые века нашей эры, конкурируя с христианством. Под Римской церковью St. Clemente, одной из древнейших католических церквей, я видел раскопки христианской базилики первого века, а под нею остатки подземного (как всегда) храма Митры.

[2]) Клоду Лорену—по несколько цветистому выражению известного художественного критика Виардо.



вопросу об отношении солнца к растительной жизни подходит третий миф—об Аполлоне и Дафне. Миф этот, как известно, повествует о том, как Аполлон-солнце, воспылав страстью к нимфе-Дафне, дочери речного бога Пенея от богини Земли (Terra у Овидия), преследовал ее по берегу этой реки, но в самый момент, когда он ее настиг, она взмолилась о помощи к отцу своему, и тот превратил ее в лавровое дерево. Миф этот вдохновлял таких художников, как Бернини, чудная группа которого в музее Villa Borghese изображает Аполлона (с чертами Аполлона Бельведерского) и Дафну, уже наполовину превратившуюся в лавровое дерево. В другом веке другой художник, Тернер, пытаясь, как всегда, раскрыть стихийный смысл мифа, изобразил на одном из лучших, по мнению Рескина, своих полотен Темпейскую долину, по которой катит в море свои воды Пеней, питаемый бесчисленными ручьями, сбегающими серебряными нитями, или низвергающимися водопадами с обрывов зеленого предгорья, окаймляющего долину. Впечатление вопреки палящему солнцу, роскошной, влажной от брызг зеленой растительности, залитой палящими лучами солнца, сияющего на безоблачном небе, является реалистическим толкованием мифа великим художником кисти. Рескин поясняет, что Дафна, очевидно,—олицетворение не одного только лавра, а вообще „зеленой листвы“ и той защиты, которую она находит от палящего солнца во влаге, доставляемой ей землей и потоками. Но и этот миф, как и сходный с ним миф о Ниобее, в которой некоторые комментаторы видят олицетворение растительности, дети которой—осенние плоды и зерна—бывают опалены солнцем,—оба эти мифа изображают только грозное или губящее действие солнечных лучей [1]). Поэтическая интуиция древних греков так и не могла додуматься до благотворного, творческого значения солнца, как прямого источника жизни.

Гораздо проницательнее оказался поэт—„атеист“ [2]) Шелли. В своем гимне Аполлону он изменил основное содержание мифа о Дафне, заставляя бога-солнце говорить: „воздух зеленеющую землю нагою предоставил моим пылающим лобзаниям“, а в стрелах угадывал не только их грубую, губительную, но и более высокую нравственную силу: „Лучи солнца—мои стрелы, которыми я поражаю тот обман коварный, что прячется в ночи и убегает от света“.

Мало того. Самый вдумчивый и поэтический из современных ценителей красот природы—Рескин, выискивавший в произведениях любимого художника поэтические аллегории для стихийных явлений, открыто заявлял, что современное научное знание, что в этой прекрасной зеленой листве происходит химическое разложение углекислоты, может вызвать в нем только грубое прозаическое представление „о каком-то газовом заводе“.

Таким образом, религиозно-поэтической интуиции в своих бесчисленных мифах и символических уподоблениях не удалось додуматься

[1]) Не вернее ли, что миф о Ниобидах навеян солнечными ударами?

[2]) Это слово преследовало его еще на школьной скамье и послужило поводом для его изгнания из ханжеского Оксфордского Университета.

до какого бы то ни было представления о действительной, благотворной, созидающей жизнь на земле творческой силе солнца, и даже, когда это было открыто наукой, эта интуиция отвернулась от него, не постигнув всего поэтического величия этого воззрения. Уловить его во всей полноте сумел только гений великого мыслителя-ученого Гельмгольтца, увидевшего там „не какой-то газовый завод", а величайшее из мировых явлений, в котором солнечный луч превращается в те силы, которыми живет, движется и существует сам владыка природы — человек. Таков результат полувекового изучения солнца и жизни современной наукой, в сравнении с тем, что дали за традиционные сорок веков, а на деле за гораздо большее число веков, бесплодные искания мифотворческих, религиозных мыслителей, при помощи интуиции, с их „чутьем сокровенных тайн".

И едва ли древнему греку-солнцепоклоннику было доступно всесторонне глубокое чувство красоты природы, которое разлито в одной из лучших акварелей Тернера, названной им „Хризис". На безлюдном берегу моря, прибой которого лениво набегает на прибрежный песок, жрец Аполлона Хризис (из Илиады) преклоняет колено перед солнцем, уже поднявшимся над пеленой утреннего тумана и заливающим своими золотистыми лучами видимый вдали в просвете леска отдаленный, пробуждающийся к своей кипучей жизни, приморский город. Я считаю, что изображено утро, хотя Рескин принимает его за вечер, но мне кажется, что и направление бризы, срывающей брызги с гривок волн, и положение солнца по отношению к едва просвечивающему сквозь туман Олимпу, да и все настроение говорит за то, что представлено бодрое, жизнерадостное утро, а не наступающий на смену томительному, палящему дню—вечер. Существование неизвестной древним ландшафтной живописи не служит ли доказательством, что не только в сфере научного знания, но и в области эстетического чувства современный человек оставил далеко за собой древних, которых хотят ставить ему в пример?

Если XX век не возводит храмов для поклонения солнцу и не имеет его жрецов, как во время господства интуитивной мысли, к которому желали бы нас вернуть всякие Бергсоны, то его можно отметить другой особенностью: он создает иного рода храмы, также посвященные солнцу и также на горах, храмы, посвященные не поклонению, а изучению солнца,—специальные солнечные обсерватории, снабженные физическими лабораториями для прямого сравнения небесных явлений с земными, на необходимости которого с такою проницательностью настаивал еще Бэкон. Этот новый культ солнца собирает своих верных со всех концов мира на свои годичные собрания [1]). Эти люди уже поведали миру такие тайны солнца, которые, конечно, и не снились интуитивным мудрецам. Так, Гель на Mount Wilson [2]) открыл и подробно изучил магнитные циклоны на солнце, для обнаружения чего, казалось бы,

[1]) Организованный американскими астрономами Международный союз для исследования солнца, с 1906 года издающий свои труды. Покойный П. Н. Лебедев был в числе его членов.

[2]) Изящно иллюстрированное описание десятилетней деятельности этой обсерватории издано Институтом Карнеги (Ten years Work of a mountain observatory by G. E. Hale, 1915).



у человека не существует даже соответствующего органа чувства. А Лоуэль рассказывает в своей последней книге „Эволюция миров" (Evolution of Worlds) о прошлом нашего солнца и других солнечных систем повести в ином смысле чудесные, чем те наивные и жалкие сказки, которые собраны у Олькота и которыми тешилась интуитивная мысль человека в былые времена. Прочтите его главы—„Рождение солнечных систем" и „Свидетельства об исходной катастрофе в частном случае нашей солнечной системы" и вы проникнетесь чувством чудесного только не в смысле рассказчиков о подвигах зайцев и сурков или хоть самого Митры. Перед нами встает во весь рост чудо, осуществляемое современной наукой как в познании настоящего нашей солнечной системы, так и в раскрытии на основании этого знания ее прошлого и вероятного будущего.

Другая черта, которую можно отметить с занимающей нас точки зрения, та, что в современных трактатах о солнце уделяют целые параграфы (Стратонов. „Солнце", 1910) или даже главы (Abbot. The sun, 1911) жизненным явлениям, зависящим от солнца [1]), особенно тому, что я уже давно предложил назвать „космической ролью растений" [2]).

Наконец, тот ужас, который переживает в настоящий момент человечество, не доставляет ли он новое чудовищно-наглядное доказательство зависимости человеческого существования в конечном счете от солнца. На наших глазах целым народам приходится учитывать свою жизнь в калориях, подсчитывая, сколько калорий необходимо для поддержания сил каждого человека и сколько может доставить ему солнце его страны, светящее, как нас учили в детстве, равно и добрым и злым.

Это соображение, которое еще недавно было только уделом науки [3]), теперь стало практическим мерилом жизнеспособности целых народов, раз успехи так называемых г у м а н и т а р н ы х (культурных) знаний привели известные категории людей к заключению, что война не есть только столкновение их вооруженных сил, а поголовное истребление мирных населений, как это провозглашают поборники современной „борьбы за мир", борьбы за культуру [4]).

Но может быть большинство читателей давно готово заметить солнце и жизнь—значительность этих двух понятий ясна для всякого, но это третье слово—хлорофилл,—может ли оно быть поставлено с равным правом на-ряду с первыми двумя? Когда, чуть не полвека тому назад, я впервые выступал с популяризацией этого предмета, я сам не решился бы отпугнуть читателя таким непривычным технически-специальным термином в заголовке, но с той поры мне не раз приходилось знакомить

[1]) Именно неполнота и отчасти неточность сообщаемых астрономами сведений побудила меня вернуться в этом очерке к тому, что уже не раз приходилось мне излагать.

[2]) На этих словах обрывается рукопись, уже переписанная автором для печати; последние две страницы были переписаны 20 апреля 1920 года вечером. Остающаяся часть предисловия взята с черновой рукописи, найденной после смерти автора, последовавшей 28-го апреля 1920 года.

[3]) В своей речи „Столетние итоги физиологии растений" я указывал на основанную на этих соображениях экономическую систему Захера.

[4]) Так упорно и бесстыдно называют настоящую войну и ее последствия разные Ллойд-Джорджи и им подобные.

и читателей не-специалистов с этим фактически связывающим звеном между солнцем и всей жизнью на земле,—и вот совсем недавно один из выдающихся физиологов нашего времени (к тому же не ботаник) подтверждает, что я не преувеличивал интереса, который должен возбуждать этот предмет.

Вот что говорит Бэлис в своем превосходном трактате „Общая физиология“ [1]).

„Действие хлорофилла в разложении углекислоты и выделении кислорода, пожалуй, самое интересное изо всех явлений природы“.

На этом среднем звене в общей цепи явлений я и позволю себе на время сосредоточить внимание читателя, так как именно изучение этого предмета доставило науке то несомненное доказательство связи первых двух, которого требовали от нее оба творца учения о сохранении энергии.

Исследования полутора столетия показали, что процесс, о котором здесь идет речь, совершается в зеленых органах, содержащих хлорофилл. Приведенные в первом эпиграфе слова Сенебье свидетельствуют, что он уже угадывал важную роль этого вещества в природе [2]). Проследить судьбу солнечного луча в растении до его уничтожения, т.-е. до его превращения в химическую работу,—вот первый шаг на длинном и сложном пути к разрешению задачи, которую я предпринял. Средство к ее осуществлению давал незадолго перед тем открытый блестящий метод спектроскопии.

С первых шагов этого изучения я определил свою задачу таким образом: „Изучить химические и физические условия этого явления (разложения углекислоты зеленым листом), определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, проследить их участь в растении до их полного уничтожения, т. е. до их превращения во внутреннюю работу; определить соотношение между действующей силой и произведенной работой,—вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к осуществлению которой должны быть направлены все силы ботаников“.

Первым шагом на этом пути была выработка простого и точного приема изучения этого процесса, совершающегося в листе, что и выразилось в самом заглавии моей первой работы [3]). Только вооружившись этим простым и точным методом, я мог приступить к исследованию основного вопроса, от каких составных частей солнечного луча зависит этот процесс. Теперь мой прибор в руках у каждого ботаника, и то, чего не видал до меня ни один ученый ботаник, изучается каждым школьником.

---

[1]) См. последний эпиграф.

[2]) Интересующимся историческим развитием этого любопытного вопроса, недавно совершенно превратно изложенного Визнером в его книге об Ингенгузе, что, повидимому, соблазнило и некоторых русских ботаников, могу указать на мои статьи: „Ингенгуз“, „Сакс“, „Сенебье“ в „Энциклопедическом словаре“ Бр. А. и И. Гранат.

[3]) „Прибор для исследования воздушного питания листьев и пр.“, Петербург, 1868. Прием, мною предложенный, вошел в общее употребление не без попыток, однако, приписать его другим ученым.



Но еще ранее необходимо было составить себе ясное научное представление вообще о химическом действии света, т.-е. о том, что до сих пор носит не совсем удачное или, вернее, совсем неудачное название фотохимии [1]). Может быть ни одно слово так не тормозило и не направляло в совершенно ложном направлении понимание изучаемых явлений, как это слово „фотос“ — свет. Раз какое-нибудь явление признается за действие света, тем самым признается, что оно зависит от светосильности источника, от его яркости. Так, повидимому, думает и выдающий себя за специалиста П. П. Лазарев в первом своем академическом труде.

Отсюда рождалось представление, что разложение углекислоты солнечными лучами должно зависеть от самых светлых, от самых ярких лучей спектра, а такими, как показал Фраунгофер, оказались желтые. Представление это, по несчастью, нашло себе временную опору в опытном будто бы доказательстве, что наиболее энергичное разложение действительно происходит в желто-зеленых лучах солнечного спектра. Доказывали это долго считавшиеся классическими опыты замечательного физика, позднее физиолога, а еще позже историка Джона Дрэпера, произведенные им в 1846 году.

Но почти одновременно с возникновением и распространением учения о сохранении энергии в физике обнаружился и другой, хотя и менее общий, но далеко не маловажный шаг вперед—учение о тождестве света, лучистой теплоты и „химического излучения“.

На самом пороге девятнадцатого века почти одновременно было сделано два открытия: было установлено, что по обе стороны за пределами Ньютоновского спектра простираются области невидимых лучей. За красным концом наблюдались инфракрасные, невидимые, тепловые, а за фиолетовым — ультрафиолетовые, невидимые, химические лучи.

Долгое время эти три категории лучей считались за нечто самостоятельное, отдельное, и только в сороковых, пятидесятых и шестидесятых годах было установлено их полное тождество, главным образом, благодаря Меллони с его замечательной книгой „La Thermochrose“, а позднее, благодаря работам целого ряда ученых (Десена, Провоте, Кноблауха, В. Вебера, Магнуса, Жамена и, наконец, Тиндаля [2]), мало-по-малу выработалось одно общее понятие „лучистой энергии“. Только при этом условии явилась возможность установить действительно научное отношение к этому важнейшему из явлений природы. Это был один из случаев, на которые недавно ссылался известный физик Планк в своей полемике с философом Махом, указывая, что истинная физика начинается только тогда, когда явления из области субъективно-физиологической переходят в область объективно-механических представлений, когда физика раскрывает, что такое звук, свет до их восприятия ухом или глазом,

---

[1]) В том не дают себе отчета даже наши фотохимики, считающие себя авторитетами в этой области,—стоит прочесть первую страницу недавно вышедшего произведения академика П. П. Лазарева.

[2]) Хотя по обычной в науке инерции еще долго, до восьмидесятых и даже девяностых годов, можно было слышать о лучах трех родов и встречать даже изображения кривых их распределения в спектре.



Карело-Финская База Академии Наук СССР БИБЛИОТЕКА

т.-е. когда она отрешилась от того антропоморфизма, который желал бы ей навязать Мах и прочие философы необерклеянцы. Я был первым ботаником, заговорившим о законе сохранения энергии [1]) и соответственно с этим заменившим и слово „свет“ выражением—„лучистая энергия“. Это не было простой заменой одного слова другим, но существенно изменяло основную точку зрения и вызвало сомнение в верности самих фактов. Став на точку зрения учения об энергии, я первый высказал мысль, что логичнее ожидать, что процесс разложения углекислоты должен зависеть от энергии солнечных лучей, а не от их яркости. Это выступает особенно ясно, если вместо слова „энергия“ подставить определение, данное этому слову тем же Ранкиным, которым введен в науку этот термин, вытеснивший стоявшее ранее на его месте слово „сила“. Энергия—это способность производить работу, это—работоспособность. Но при разложении углекислоты производится химическая работа, порывается сродство между углеродом и кислородом, мерой которого, как учила возникшая в то же время термохимия, мы должны считать тепловой эффект реакции соединения углерода с кислородом. Здравая логика требовала заключить, что производимая лучем работа зависит от его работоспособности, а не от его чисто субъективного свойства—яркости. Света помимо глаза в природе не существует, и невозможно допустить, чтобы такое объективное явление, как разложение углекислоты, зависело от несуществующего вне глаза свойства солнечного луча—его яркости. На моей стороне была логика, против меня были все ученые, как ботаники, так и физики, а главное—на их стороне, казалось, были факты. Для того, чтобы доказать верность моей точки зрения, мне предстояла двойная задача: доказать неверность их фактов и новыми более точными опытами фактически доказать верность моего логически верного воззрения.

В чем же заключалось мое противоречие с ботаниками? Ботаники, как уже замечено выше, на основании опытов Дрэпера утверждали, что разложение углекислоты в солнечном спектре происходит всего энергичнее в желтой части спектра, наиболее яркой, и находили это вполне естественным,—ведь о н и же и самые яркие. Дрэпер, как физик, не мог, конечно, удовольствоваться нелогичным объяснением факта; для объяснения совпадения между актом зрения и действием света в химическом процессе разложения углекислоты он придумал такую гипотезу. Он первый утверждал, что в основе акта зрения должно допустить существование химического процесса, совершающегося в сетчатке глаза [2]). Но изменяющееся вещество—органическое, содержащее углерод. Углекислота также содержит углерод. Вот эта то общность состава и может объяснить сходство в действии света в обоих случаях [3]). Попытка объяс-

[1]) Как это заметил английский ботаник профессор Фармер.

[2]) Что, как известно, и подтвердилось через сорок лет открытием глазного пурпура немецким физиологом Боллем. Это открытие, которому Гельмгольтц придавал соответствующее ему громадное значение, современные немецкие физиологи пытаются свести на нет.

[3]) Ботаники так до сих пор и не знают об этом объяснении; для них в нем не было надобности; они рассуждали, что сила света заключается в его яркости, значит—яркость и должна действовать.



нения была остроумна, но фактически не верна, так как уже и в то время было известно много случаев органических, следовательно, содержащих углерод веществ, на которые действуют различные лучи;—следовательно, одного углерода для объяснения совпадения недостаточно. Да в этом объяснении не было и надобности, так как мне удалось показать, что самый опыт Дрэпера не внушал доверия [1]). При опытах, производимых в спектре, лучи пропускают через щель и затем через призму. Для того, чтобы спектр был, как выражаются, чистый, т.-е. цвета его были бы разделены, не налегали бы один на другой, щель должна быть узкая, но тогда свет, прошедший через эту узкую щель, распределяясь на большую площадь спектра, оказывается очень слабым. То же могло быть и, вероятно, было в опытах Дрэпера. Свет чистого спектра был слишком слаб и не вызывал разложения углекислоты; чтобы его усилить, Дрэпер должен был открыть щель до $^3/_4$ дюйма в ширину, чего, конечно, не сделал бы в точном физическом опыте. В получаемом таким образом спектре лучи налагаются один на другой, смешиваются и наибольшее смешение лучей происходит в средней желто-зеленой части, которая от этого становится почти белой, слегка окрашенной в желтый цвет. В этой то части у Дрэпера и получилось наибольшее действие [2]), но понятно, что такой опыт ничего не доказал. Показав неубедительность факта, на котором основывалось мнение ученых, что наибольшим действием обладают наиболее яркие—желтые лучи, я перешел к положительным доказательствам верности моего воззрения. Для того, чтобы сделать опыт Дрэпера в такой же форме чистым, избежать его ошибки, нужно было усовершенствовать приемы исследования, на что потребовалось время, а пока я сделал ряд опытов, которые все же были достаточно точны, чтобы прямо доказать неточность опытов Дрэпера, которую я угадывал на основании условий, при которых они были произведены. На этот раз я пропускал свет через жидкости различного цвета (прием Добени), тщательно исследованные спектроскопом, и выразил результаты этих опытов графически [3]). Выраженные в такой форме результаты ясно показывали, что наибольшее действие света не соответствует желтым лучам спектра.—Для опровержения опытов Дрэпера этого было достаточно, но было ли? этого достаточно для подтверждения моего положения, что оно зависит от энергии лучей? На этот раз мне пришлось иметь дело с физиками. Определять непосредственно энергию луча можно только по его тепловому эффекту, всего лучше—при помощи столбика Мелони, и все без исключения физики были того мнения, что в пределах видимого спектра наиболее нагревают красные лучи, но еще большее тепловое действие обнаруживается уже за пределами красной части в невидимых инфракрасных лучах. Мои опыты подтверждали первую по-

[1]) Я первый показал неточность его опыта.

[2]) Так как понятно, что белый свет, т.-е. сумма лучей, должен действовать сильнее, чем каждое из слагаемых.

[3]) Работа была издана на немецком языке; это было первое ботаническое исследование, где применялся графический прием; он так и остался непонятным немецким ученым: Саксу, Пфефферу, Рейнеке и их русским поклонникам, как будет показано ниже.

ловину предположения; они доказывали, что наибольшее действие в процессе разложения углекислоты играют красные, а не желтые лучи, так что в пределах видимого спектра теория о зависимости процесса от энергии луча оправдывалась. Как же быть с наиболее энергичными, инфракрасными лучами—теми, которым соответствует максимум энергии теплового эффекта? Здесь существовали прекрасные, но оставшиеся совершенно неизвестными ботаникам опыты физика Кальете [1]); он первый исследовал действие в этом процессе темных тепловых лучей солнца, проходящих через известную Тиндалевскую жидкость (раствор иода в сероуглероде), и убедился, что они вовсе не разлагают углекислоты в листьях. Таким образом, учение о зависимости разложения углекислоты от светящей силы солнца было моими первыми опытами опровергнуто, но нельзя было утверждать, что оно зависит от тепловой энергии, т.-е., разлагаясь всего лучше под влиянием красных, наиболее нагревающих из видимых лучей, она не разлагается в еще более нагревающих, невидимых инфракрасных лучах. Вопрос усложнялся, но я не думал сдаваться, и на этот раз мне пришлось иметь против себя всех физиков. Вопреки им я утверждал, что всеобщее убеждение в том, что максимум энергии наблюдается в инфракрасных лучах, основано на неубедительных опытах, что при более точной постановке опытов он, может быть, совпадет именно с теми красными лучами, которые наиболее деятельны в растении, и мы увидим далее, что мое предположение и на этот раз снова вполне оправдалось.

Но задача между тем еще более усложнялась: рядом с поставленным мною вопросом: от яркости или от энергии лучей зависит разложение углекислоты,—два физика, Жамен и Эдмонд Бекерель, почти в то же время поставили и другой вопрос: так как этот процесс происходит в зеленых листьях, то не будет ли он зависеть от лучей, поглощенных зелеными органами растения, т.-е. содержащимся в них хлорофиллом?

В фотохимии существовал закон, что физическое действие зависит в цветных телах от лучей цветности, комплементарной цвету изменяющегося вещества, или, выражаясь проще, что действие зависит от лучей, поглощаемых данным телом. Открытие этого закона обыкновенно приписывали Гершелю (в 1842 г.). Я первый в 1892 году обратил внимание на оставшиеся незамеченными фотохимиками и теоретиками фотографии исследования Гротгуса (в 1818 году в Митаве), в первый раз установившие этот закон [2]). Позднее Абней совершенно справедливо высказал мысль, что, собственно говоря, этот закон—только необходимый вывод из закона сохранения энергии, так что я был в основе прав, формулируя мысль, высказанную Жаменом и Бекерелем, как в приведенной выше цитате, что „необходимо проследить участь луча в растении до его уничтожения“, т.-е. до превращения в химическую работу.

[1]) Того самого, который позднее прославился сжижением водорода.

[2]) В первый раз я указал на Гротгуса в 1892 году, а в 1895 г. даже показывал на публичной лекции в проэкции на экран его опыт. Отмечаю это потому, что г. Лазарев и его сотрудники считают этот закон и его демонстрацию на экране основным фактом в фотохимии и приписывают его Лазареву; теперь и Лазарев сам себе его приписывает.



Бекерель на основании своих опытов не мог притти ни к какому определенному результату, а Жамен опытов не делал, но пришел к неверному заключению об опытах Дрэпера. Он полагал, что результат, полученный Дрэпером, будто бы объясняется свойствами хлорофилла, но это фактически не верно [1]). Как бы то ни было, переходя к более точной форме опыта, т.-е. в спектре, необходимо было ответить и на вопрос, не играет ли роль поглощение лучей хлорофиллом, так как это доставляло бы самое простое и согласное с законом сохранения энергии объяснение и в то же время объясняло бы бездействие желтых лучей.

Изучить при помощи спектроскопа закон поглощения света хлорофиллом в растворе и, далее, проверить это поглощение в самом микроскопическом органе, в котором происходит изучаемый процесс разложения углекислоты, в хлорофилловом зерне (позднее названном хлоропластом),—обе эти задачи были мною осуществлены в 1868 и 1871 г.г., и приборы, мною для этого предложенные, находятся во всеобщем употреблении, хотя снова приписываются другим ученым, выступившим с ними через десятки лет после меня,—обстоятельство, с которым в этом изложении приходится встречаться на каждом шагу [2]).

Моя первая работа, о которой я сам заявил, что она только предварительная, послужила сигналом к пробуждению оживленной деятельности немецких ученых на целые десять лет. Одни, как мой друг, талантливый и недостаточно оцененный немецкий ученый Николай Мюллер, хотели меня обогнать, другие, как ученик Сакса Пфеффер, желали во что бы то ни стало отстоять опровергнутое мною. Но с первым оправдалась пословица: поспешишь, людей насмешишь, а второй после двадцатилетних упорных попыток отстоять заведомо ложное, приписал это другим ученым, подтвердил мою работу, только в гораздо менее научной форме [3]). . . . .

В результате этой работы, произведенной со строго научными физическими и химическими приемами, оказалось, что наибольшее действие

[1]) Он утверждал, что красные лучи спектра, поглощаемые хлорофиллом, красно-оранжевые и сине-фиолетовые флуоресцируют и, следовательно, в итоге не поглощаются и не могут действовать; только, по его мнению, лучи, поглощаемые в желто-зеленой части, будто бы не флуоресцируют и потому наиболее энергично действуют в опыте Дрэпера. Это вдвойне не верно: все лучи, поглощаемые хлорофиллом, в растворе флуоресцируют, а с другой стороны—в растении флуоресценции вовсе не обнаруживается. Таким образом, мысль, что в пределах видимого спектра разложение углекислоты зависит не от яркости, а от энергии лучей, в первый раз была высказана и доказана мною в 1869 г. Мысль же, не зависит ли оно от поглощения хлорофилла, была высказана Жаменом и Бекерелем (1868). Наконец, немецкие ботаники и с их голоса некоторые русские, как, напр., г. Цвет, упорно приписывают обе идеи физику Ломмелю, выступившему после нас троих (1871), между тем как он сам сознается, что первая высказана мною, а о Жамене и Бекереле он ничего не знал, что для физика непростительно. Что же сказать о г. Цвете, который, вопреки моим неоднократным разъяснениям, упорно и сознательно говорит неправду, опровергаемую простой хронологией и словами самого Ломмеля (См. Цвет. Хромофиллы, Варшава 1910, стр. 352).

[2]) Прибор для изучения кривой поглощения света жидкостями (получения их спектрограмм) предложен мною в 1868 г., а в самом обширном трактате по спектроскопии Кайзера он приписывается Бэли и Дешу (в 1904 г.). Микро-спектроскоп (объективный) предложен мною в 1871 году, а приписывается обыкновенно Эдельману (в 1884 году).

[3]) На этом месте обрывается черновая рукопись автора. Далее следуют два отрывка из оставшейся незаконченной последней части предисловия.

производят не наиболее яркие—желтые лучи, а наиболее теплые (в пределах видимого спектра)—красные лучи. Таким образом, мое предположение, что фотохимическое действие есть функция энергии, а не яркости (светового напряжения) луча, получило первое экспериментальное подтверждение. Но для утверждения моей теории и в то же время для достижения того доказательства, которого требовали Майер и Гельмгольтц, этого было недостаточно. Требовалось объяснить, почему не действуют те лучи, которые обладают еще большей тепловой энергией—тепловые инфракрасные лучи, как это доказывал Кальете, а главное—доказать, что действуют те именно лучи, которые поглощаются растением. Средство для того давал именно тот метод, открытие которого составляло едва ли не главное приобретение науки той эпохи—метод спектроскопии.

На первый вопрос я отвечал отрицанием ходячего в физике воззрения, что наибольшим напряжением обладают темные инфракрасные лучи, воззрения, возникшего вместе с веком, благодаря Гершелю старшему, и к средине века, благодаря Гершелю младшему и, особенно, Меллони, Десену, Кноблауху и Тиндалю,—ставшего, как казалось, одной из наилучше доказанных физических истин.

Против этой истины я храбро восстал, утверждая, что наибольшей тепловой энергией обладают, очень возможно, не темные, а именно те красные лучи, которые, как показали только что произведенные мною опыты, наиболее энергично разлагают углекислоту в растении. А мог я рассуждать таким образом на основании соображения, ускользнувшего почти ото всех физиков.

Все перечисленные физики определяли тепловой эффект различных лучей исключительно в спектре призматическом. Но призматический спектр, как известно, не однороден во всех своих частях, а в зависимости от природы призмы представляет различное светорассеяние в различных частях спектра: в одних частях лучи скучены более, в других менее. Прямо сравнивать действие различных лучей спектра так же неточно, как сравнивать, например, количество населения одинаковых площадей, не принимая во внимание его густоту. Так и в спектре: в красной и инфракрасной части лучи более скучены, чем в фиолетовой и ультрафиолетовой, где они более рассеяны. Температура в каждой точке призматического спектра таким образом зависит от двух условий: от живой силы луча (измеряемой его нагревательной способностью) и от скученности лучей. Если принять во внимание последнее обстоятельство, то максимум теплового действия может переместиться в видимую часть. Это соображение давало мне право отрицать ходячее воззрение физиков, что наибольшим тепловым действием обладают темные инфракрасные лучи. В так называемом нормальном спектре, полученном не при помощи призмы, а при помощи решетки, где светорассеяние одинаково во всех частях, наибольшее тепловое действие могло очутиться в видимой части спектра, и я предсказывал в красной, где я нашел максимум разложения углекислоты, и, как увидим, мое пророчество вскоре оправдалось.

Но моего исследования при помощи цветных жидкостей было недостаточно; для доказательства зависимости разложения не от желтых,



а от красных лучей нужно было доказать неверность опыта Дрэпера, т.-е. показать, что и в спектре максимум разложения будет не в желтой, а в красной части спектра. Для этого нужно было убедиться, что результат, полученный Дрэпером таким точным, можно сказать, самым точным исследованием в этой области, был неверен; затем найти источник его ошибки и, наконец, найти и средство избежать этой ошибки. Все это мне удалось осуществить таким образом. . . . .

Спектр мы получаем, пропуская луч света (в настоящем случае—солнечный) через щель и призму. Для получения более резкого изображения спектра пользуются еще линзой. Спектр называется чистым, когда составляющие его цвета не налегают один на другой, что всего лучше можно обнаружить, загораживая щель одноцветным стеклом: красным, желтым, зеленым и т. д. При этом получаются одноцветные изображения, только соприкасающиеся одно с другим. Если затем значительно расширить щель, то будут получаться более широкие изображения, налегающие краями одно на другое. Еще нагляднее это обнаруживается, если, получив ясный, резкий спектр, затем значительно расширить щель; тогда в средине спектра получится бесцветное, белое пространство от совместного налегания всех частей спектра, и только края спектра будут ясно окрашены: с одного края—в красный, с другого—в сине-фиолетовый цвет. Спектр, полученный при помощи узкой щели со строго разграниченными чистыми цветами, мы называем чистым; спектр с набегающими один на другой, сливающимися цветами, пределом чего служит спектр с белой срединой, мы называем нечистым, т.-е. с нечистыми смешанными цветами. Чистые спектры получаются только при узкой щели, с широкой же щелью получается только спектр нечистый. Но в спектре чистом, т.-е. полученном через тонкую щель, как не трудно понять, свет очень ослаблен, потому что луч, прошедший через щель, потом (благодаря линзе и призме) развертывается в изображении спектра, площадь которого, может быть, в сто и более раз превосходит сечение щели. Другими словами, что мы выигрываем в силе света, мы утрачиваем в чистоте спектра, и наоборот. Точно так же, чем больше спектр, тем он слабее, чем меньше, тем он сильнее. Но с другой стороны размеры спектра не могут быть очень малы, т. к. в нем нужно расположить несколько стеклянных трубок с листьями (или еще лучше кусочками одинаковой величины, вырезанными из того же листа), при помощи которых мы изучаем разложение углекислоты листом в различных цветах спектра. Размеры этих приборов зависят от того, какими мы располагаем средствами для анализа газов. Если прием для анализа газов мало чувствителен, т.-е. нужны большие количества газа для его анализа и большие поверхности листа, а следовательно, и размеры спектра будут велики, тогда, чтобы свет его был достаточно силен, необходимо широко раскрыть щель,—что и сделал Дрэпер. Но тогда спектр будет не чист и притом не везде одинаково, а именно в красной части относительно чист и в желтой—не чист, т.-е. в красной части будут действовать действительно чистые красные лучи, а в желтой—смесь лучей, почти белый свет, только подкрашенный в желтый.

Таким образом, ошибка Дрэпера была найдена. Оставалось найти средство от нее освободиться.

Так как увеличение яркости спектра расширением щели привело к ошибке Дрэпера, то оставался другой путь—довольствоваться малым, но чистым спектром, увеличив чувствительность газового анализа. Если в первой работе я довольствовался своим приемом, допускавшим точность до $^1/_{10}$ кубического сантиметра, то на этот раз я придумал метод анализа, дозволявший измерять тысячные доли куб. сант. Позже я предложил свой микроэвдиометр, дозволяющий определять миллионные доли кубического сантиметра [1]).

Только благодаря этому приему явилась возможность работать в чистом спектре. Приступая на этот раз к работе, я задался уже двойной задачей—доказать в более точной форме, что действуют не наиболее яркие (желтые), а обладающие наибольшей энергией красные лучи, а во-вторых, доставить точное доказательство, требуемое Майером и Гельмгольтцем, что действуют те именно лучи, которые поглощаются растением.

Благодаря этим двум методам точного анализа газов, дозволявшим в первый и до сей поры единственный раз изучить явление в чистом спектре, а с другой стороны—благодаря обнаруженному закону поглощения света хлорофиллом [2]) можно было получить то доказательство, что именно те лучи, которые поглощаются зеленым листом, и в той мере, как они поглощаются, затрачиваются на разложение углекислоты. Таким образом было получено мною то экспериментальное доказательство, которого требовали Майер и Гельмгольтц, для возможности приложения их великого открытия к тому явлению, которое современный физиолог (см. эпиграф) справедливо считает едва ли не самым интересным во всей области естествознания.

Но немецкие ботаники Сакс и Пфеффер и по их стопам и наши упорно продолжают отрицать значение моих исследований, опровергнувших результаты их собственных работ. Те и другие были очень обрадованы, когда явился немецкий ученый Энгельманн (или, вернее, голландский, акклиматизировавшийся в Германии), который получил сходные с моими результаты совершенно негодным способом. Именно, вместо того, чтобы итти строго химическим путем, как это делал я, он вообразил, что нашел крайне чувствительный способ определять выделяемый растением кислород так называемым методом бактерий.

Я неоднократно указывал на полную негодность этого приема. Это не мешало немецким и русским ботаникам даже в своих позднейших произведениях (Иост, Лепешкин) приводить результаты именно этих Энгельманновских исследований [3]). . . . . .

[1]) Помню, как Бертло в шутку сказал: „каждый раз, что Вы приезжаете к нам (1870, 1877, 1884), Вы привозите новый метод газового анализа, в тысячу раз более чувствительный". Эти методы вошли в общее употребление, но приписываются различным немецким и русским ботаникам только на том основании, что они применяли их через двадцать, тридцать лет позже меня.

[2]) Правильнее сказать—его зеленой составной частью, названной мною хлорофиллином, а теперь упорно и немецкими и русскими учеными называемой хлорофиллом, так что не знаешь, о чем идет речь—о той ли смеси пигментов, которая находится в листе, или о том в первый раз выделенном мною зеленом теле, которое собственно только и играет роль в занимающем нас важном естественном явлении. О важном значении сопровождающих тел скажем после.

[3]) Любопытно, что Энгельманн, получив результат, несогласный с воззрениями немецких авторитетов, сам сначала усомнился и решил выступить с ними, только узнав о моих исследованиях.

# I. Растение и солнечная энергия.

## I. Круговорот углерода.

1.

Тем, кто бывал в Женеве, без сомнения, случалось прогуливаться в тени вековых каштанов La Treille—этой террасы, с которой открывается панорама ближайших предгорий Grand и Petit Salève. Полюбовавшись видом, турист обыкновенно спускается в расположенный у подножия террасы ботанический сад и там, перед главным фасадом теплицы, встречает ряд мраморных и бронзовых бюстов, воздвигнутых маленькой Женевской республикой ее гражданам, заслуги которых так или иначе связаны с успехами ботанических знаний [1]). Ботанику этот ряд имен невольно напоминает, что он стоит на классической почве, на которой, в исходе прошлого столетия, возникла и сложилась новая отрасль его науки, что он находится, так сказать, у колыбели физиологии растений. Но тому, кто мало интересуется ботаникой и еще менее ее историей, имена эти окажутся знакомы в весьма различной степени. Рядом с именем человека, чье страстное, жгучее слово прогремело до отдаленных пределов образованного мира, чьи идеи сообщили окраску целому веку,—рядом с именем Руссо, чье общечеловеческое значение до недавнего времени заслоняло его значение как ботаника, наш турист встретит знакомые хотя бы по наслышке имена Де-Кандоля, Соссюра, пожалуй, еще Бонне и, наконец, остановится перед совершенно незнакомым именем—Jean Senebier. А между тем имя это заслуживает более широкой известности не потому только, что Сенебье принадлежит первый систематический трактат по физиологии растений, но, главным образом, потому, что ему наука обязана одним из величайших открытий, когда-либо сделанных в области естествознания [2]). Я разумею открытие происхождения углерода растений.

[1]) В настоящее время вся эта местность перестроена, о чем нельзя не пожалеть, как о факте, доказывающем, как мало ценятся современными правящими классами заслуги науки.

[2]) Напоминать это необходимо потому, что некоторые немецкие ботаники, без малейшего основания, оспаривают у Сенебье эту заслугу, бесспорно признававшуюся за ним как современниками, так и потомством в течение целого века.

В настоящее время почти каждому образованному человеку более или менее известно, что углерод, эта основа всякого органического вещества, берется растением из атмосферы; что в форме растительного вещества он, прямо или косвенно, служит для питания всех животных и человека; что, окисляясь в их теле, он является источником той энергии, которая приводит в действие их механизмы; что, наконец, возвращаясь в продукте дыхания обратно в атмосферу, он снова становится доступным растению и, таким образом, вновь и вновь совершает свой круговорот, проходя последовательно чрез все три царства природы. Сенебье принадлежит открытие главного момента в этом круговороте—момента перехода углерода из неорганического мира в мир органический, т.-е. из атмосферы в растение. Мы так свыклись с мыслью о существовании этого кругового процесса, что при изучении истории этого учения только с большим трудом можем вполне оценить усилия научного творчества, научной фантазии, проявленные первыми основателями этого учения.

Попытаемся, тем не менее, взглянуть на занимающее нас открытие глазами современников; перенесемся мыслью в последнюю четверть восемнадцатого века, в эту эпоху лихорадочной деятельности во всех отраслях человеческой мысли, разрешившейся в области положительных знаний рождением новой науки—современной химии.

Итак, мы в 1783 году. Внимание ученых обращено на эту новую нарождающуюся науку, а она сосредоточилась, главным образом, на изучении третьего состояния материи, до тех пор почти ускользавшего от ее внимания,—на изучении газов. Еще недавно Пристли ознакомил нас с целым рядом газообразных тел. Не прошло еще десяти лет со времени открытия кислорода. Только десять лет тому назад Лавуазье, сжигая алмаз, показал, что он превращается в air fixe [1]), по нашему, в углекислоту, но самое название это еще не существует; оно появится в первый раз в печати в будущем 1784 году, а разложена эта углекислота будет еще только через десять лет [2]). Всего пять лет тому назад Лавуазье разъяснил состав органического вещества и, наконец, еще только через несколько месяцев, 25 июля, он возвестит изумленной академии поразительный факт, что вода не стихия, а соединение кислорода с горючим газом, air inflammable, который впредь будут звать водородом. Заметим еще, что все эти факты проникают в печать нередко через год, через два или три, и что только деятельная переписка, связывающая английских, французских, итальянских и шведских ученых, разносит эти вести во все края Европы. Прибавьте к этому ожесточенную борьбу двух лагерей: защитников блестящего, но отживающего свой век, учения о флогистоне и сторонников новой химии—химии Лавуазье, над которой официальная наука, устами Фуркруа, еще произнесет, обычный в таких случаях, приговор, что „она потрясает весь строй господствующего образа мыслей“. Взвесим все эти обстоятельства, и нам станет понятно, как еще туманен был научный кругозор и какою проницательностью нужно было обладать для того, чтобы пролагать новые, неизведанные пути, для того, чтобы прозревать факты, которые еще трудно было облекать в слова.

[1]) Воздух, находящийся в твердом виде в твердых телах.
[2]) Между прочим, одним из первых русских химиков—Мусиным-Пушкиным.



В это горячее время, т.-е. в 1782 году, в Женеве скромный труженик, даже не специалист ученый, а евангелический пастор, Сенебье, занимался изучением вопроса о действии солнечного света на тела всех трех царств природы,—вопроса, и до настоящего времени, несмотря на все блестящие успехи в области технических применений—фотографии, почти не подвинувшегося вперед с точки зрения научной теории. В первом из трех томов, посвященных этому предмету, появившемся в 1782 году, Сенебье коснулся вопроса о действии света на листья, составившего главную славу его научной деятельности, а в следующем, 1783, году посвятил ему целый новый том, в котором окончательно выяснил значение своего открытия. Посмотрим, в чем же заключалось это открытие.

Лет за сорок перед тем другой женевец и, как мы только что видели, сосед Сенебье по ботаническому саду, Бонне, заметил любопытный факт, что листья растений, погруженные в воду и выставленные на солнце, покрываются пузырьками воздуха. Бонне задался вопросом, откуда берется этот воздух—из растения или из воды? С этой целью он взял воду прокипяченую и, следовательно, не содержащую воздуха и повторил опыт: пузырьков на листьях не появлялось более, откуда Бонне заключил, что они выделялись не из листьев, а только на поверхности листьев из воды. Для проверки этого заключения, он несколько времени дышал через трубку в эту прокипяченую воду и заметил, что после этого листья снова покрылись пузырьками. Таким образом, Бонне неизбежно должен был притти к окончательному выводу, что растение не играет существенной роли в этом процессе, а потому и совершенно несправедливо приписывать этому ученому первый шаг в открытии этого отправления растения; напротив, несмотря на совершенно логический ход мышления, он должен был притти к отрицанию роли растения, и виною тому было, конечно, не отсутствие в нем таланта экспериментатора, а недостаточность сведений, которыми располагала наука его времени по отношению к газам. Как только химия пополнила этот пробел, вновь встал на очереди и этот физиологический вопрос.

В 1772 году Пристли открыл факт первостепенной важности; он показал, что растения способны восстановлять хорошие качества воздуха, „испорченного“ дыханием животных или горящим телом, т.-е. делать его вновь пригодным для дыхания и горения. От Пристли, однако, ускользнуло на первых порах одно условие его опытов, именно влияние солнечного света на это отправление растений, а потому, когда через несколько лет он пожелал повторить свои опыты, он потерпел неудачу. Но эта неудача не заставила его отказаться от первоначального мнения, так как, говорил он, одно положительное свидетельство важнее целого ряда отрицательных. К тому же, в дальнейших опытах, при которых предметами исследования служили не обыкновенные растения, а зеленый налет, появляющийся на стенках стеклянных сосудов с водою и состоящий, как позднее показал Сенебье, из водорослей, Пристли сам убедился в значении света. Эти опыты, а равно и знакомство с исследованиями Бонне дали возможность Ингенгузу, голландскому ученому, приехавшему в

Англию и выведавшему у Пристли о его последних опытах, повторить их, вооружившись приемом исследования воздуха, введенным в науку Пристли и усовершенствованным аббатом Фонтана. Ингенгуз показал в 1779 г., что улучшение воздуха растениями происходит только под влиянием света, а что при отсутствии света они, напротив, ухудшают воздух, подобно животным, на что уже ранее указывал, на основании своих опытов, Шеле [1]). Таким образом, выяснилось двоякое отношение растений к воздуху: одно совершенно сходное с соответствующим отправлением животных, т.-е. дыхание, портящее воздух, делающее его непригодным для дальнейшего дыхания или горения, и другое—исключительно свойственное растению под влиянием света, улучшающее воздух, делающее его вновь пригодным поддерживать жизнь и горение.

Главным образом с этой, так сказать, гигиенической точки зрения вопрос этот и обращал на себя внимание и служил предметом исследований целого ряда ученых. Пристли, Лавуазье, Магелан, Ингенгуз, Шеле, Фонтана, Спаланцани и др. предпринимали новые исследования в этом направлении или выказывали живое участие к результатам чужих исследований [2]). Сенебье первый взглянул на вопрос с совершенно новой точки зрения.

Он вернулся к опытам Бонне, но только применил к выделяющимся пузырькам воздуха приемы химического анализа газов, выработанные между тем наукой. Он погружал листья в воду в сосуде, имевшем форму опрокинутой воронки с глухой узкой частью; в этой глухой, т.-е. закрытой сверху, трубочке и собирался газ, выделявшийся с поверхности листьев. Оказалось, что собранный газ совершенно отличен от газа, растворенного в воде,—следовательно, он не был выделен из воды. Это не мог быть и газ, просто заключенный в листьях, так как объем его значительно более объема листьев. Отличие его от обыкновенного воздуха состояло в том, что он был гораздо „чище“ этого последнего, более способен поддерживать дыхание и горение, т.-е., как мы выразились бы теперь, богаче кислородом.

Таким образом, мнение Бонне оказалось, очевидно, несостоятельным: пузырки воздуха, появляющиеся на листьях, не брались просто из воды; они существенно отличались по своему составу от воздуха, растворенного в воде. Но, тем не менее, верен был и факт, что для того, чтобы на листьях появлялись пузырьки, вода должна содержать воздух. Но какой? Сенебье сосредоточил свое внимание на этом вопросе и вскоре убедился, что для выделения листьями „чистого воздуха“ (кислорода) необходимо, чтобы в воде находился не обыкновенный воздух, а именно воздух испорченный, содержащий air fixe, т.-е. углекислоту, всегда встречающуюся в воде минеральных источников, иногда даже в большом количестве, как, напр., в сельтерской воде. Сенебье умножил число своих опытов, разнообразя их в различных направлениях, и пришел к окончательному заключению, что именно присутствие этого, и только этого,

[1]) Ингенгуз поторопился напечатать свои результаты, чтобы обогнать Пристли, чем объясняется обыкновенно приписываемая ему роль в этом открытии.

[2]) В числе последних можно упомянуть и нашего соотечественника, князя Голицына.



газа необходимо; что с увеличением его содержания увеличивается и количество пузырьков кислорода. Он показал далее, что пузырьки выделяются не на поверхности листьев, а из глубины тканей, из зеленой мякоти листа. Стало ясно, что выделение „чистого“ воздуха происходит на счет air fixe, растворенного в воде; листья перерабатывают, превращают один газ в другой. Но в чем же состоит это превращение? Исследования Лавуазье уже давали ответ на этот вопрос. В настоящее время мы в несколько минут можем сжечь уголь в кислороде, превратить его в невидимый газ, в углекислоту, и вновь из этого газа выделить уголь в прежнем виде, т.-е. путем синтеза и анализа выяснить, в чем заключается взаимное превращение, взаимное отношение углекислоты и кислорода. Хотя воззрения Сенебье не могли быть так определенны, как наши, хотя в его первых трудах, заключающих его открытие, мы не встретим самых слов „углерод“, „кислород“, „углекислота“, которых и Лавуазье еще не употреблял в то время, но, благодаря Лавуазье, ему было известно, что „air fixe“ происходит при горении и тлении, что горючее вещество, соединяясь с кислородом, при этом переходит в чистый воздух, заражая его. Отсюда было очевидно, что при обратном процессе, когда „air fixe“ деятельностью растения превращается в „air pur“, „air éminemment respirable“ [1]), горючее начало должно оставаться, отлагаться в растении. Но это горючее начало ведь то самое вещество, из которого состоит растение,—следовательно, процесс этот должен иметь значение для растения; в него поступает то вещество, из которого оно состоит,—очевидно, это процесс питания. Для того, чтобы оценить всю смелость этой мысли, что растение „питается воздухом“, стоит вспомнить, что долго и после Сенебье, почти до нашего времени, многие ученые продолжали называть этот процесс дыханием—„дневным дыханием“—в отличие от настоящего дыхания, которое они называли „ночным“, так как у растения оно обнаруживается с полной ясностью только при отсутствии света. В самом деле, питание воздухом представляется чем то столь необычайным, так резко противоречит более понятному нам питанию животных, что нелегко было освоиться с этой мыслью.

Таким образом, между тем как предшественники Сенебье видели в этом процессе только средство, которым природа очищает атмосферу, он показал другое и гораздо более важное его значение: процесс этот питает растение, а через растение и весь животный мир. Не произнеся слова „углерод“, Сенебье открыл самый факт его круговорота и вполне сознавал все значение своего открытия, чем и объясняется та нескрываемая им тревога, с которой он торопился умножить число, разнообразить форму своих опытов, желая удостовериться, что им действительно найден закон природы такой колоссальной важности. „Когда полагаешь, что держишь в руках истину“,—скромно поясняет он,—„не жалеешь никаких трудов, чтобы вполне овладеть ею; когда идет дело о совершенно новых идеях, не может быть лишнего довода“. В этой симпатичной стороне Сенебье (так же, как и Пристли), в том, что он как будто боялся доверять себе, повторяя и разнообразя опыты, многие

[1]) „Чистый воздух“, „воздух, особено пригодный для дыхания“.

позднее полагали видеть только признак грубого эмпиризма, но он сам отражает это обвинение. „Частные выводы,—говорит он,—вытекающие из наблюдений, приобретают цену лишь тогда, когда они могут быть обобщены, могут послужить ключем для целого ряда явлений". „С другой стороны,—поясняет он,—и к самому факту мы приобретаем доверие только тогда, когда понимаем его смысл". Можно сказать, Сенебье почти сразу усвоил современную точку зрения на это явление, да и доводы, которые он приводил, существенно не отличаются от наших. Он говорит, что разложение углекислоты не только улучшает воздух, но, что важнее, питает растение, а через него животное. Он доказывает, далее, что это не только один из источников, а главный источник питания для того и другого, и приходит к этому выводу путем следующих рассуждений. Вещество растения должно происходить из окружающей его среды—но из какой: из земли, из воды или из воздуха? Что оно берется не из почвы, это доказывали еще классические опыты Ван-Гельмонта, а также возможность воспитывать растения в воде. Что не из воды,—это доказывалось ничтожностью того твердого вещества, которое растворено в воде, а также фактом, что кактусы и другие растения могут долго существовать без воды. Остается воздух, т.-е. его углекислота. Таким образом становится понятна возможность растительности на бесплодной каменистой почве, понятен и факт, почему растения, выращенные в почве или в воде, не отличаются по составу,—в том и в другом случае они черпают пищу из того же источника—из воздуха. В подтверждение этого факта Сенебье приводил и то соображение, что питание совершается именно в листьях. Без листьев растение не растет; соки, принимаемые из почвы, жидки, водянисты, соки, идущие из листьев, напротив, слизисты, богаты веществом; почки, плоды на растениях, у которых удалены ближайшие листья, не развиваются; наконец, у некоторых растений, как, напр., у Aloe, запасы питательных веществ образуются непосредственно в листьях. На основании всех этих соображений Сенебье еще в 1783 году положил основание учению о питании растения, в общих чертах сохранившемуся и до настоящего времени.

Не следует, однако, думать, чтобы идеи Сенебье немедленно были встречены общим сочувствием,—они были слишком оригинальны, питание воздухом шло слишком в разрез с ходячими понятиями. Главное затруднение заключалось в том, что долгое время продолжали смешивать процесс разложения углекислоты с ее образованием, т.-е. дыханием; в этом отношении особенно неясны были мысли его предшественника и соперника Ингенгуза. В последнее время некоторые немецкие ботаники (Сакс, Ганзен, Детмер, Визнер и др.) пытаются совершенно несправедливо заслонить заслуги Сенебье и, в ущерб ему, выдвинуть вперед Ингенгуза. Трудно себе представить, чем они при этом руководятся. Разве только, предвкушая близкое поглощение Голландии „обще-германским отечеством", задним числом уже считают Ингенгуза немцем? [1]) Как далек был Ингенгуз от истинного понимания основной мысли Сенебье, свидетельствует тот факт, что даже через 12 лет, в 1796 году, он

[1]) Сказано мною в 1883 году (Примеч. 1918).



утверждал, что выделение углекислоты, т.-е. дыхание, служит для питания растения, что „растения, образуя углекислоту, таким образом, сами приготовляют себе пищу", что „растения должны расти всего быстрее тогда, когда они вырабатывают наибольшее количество этой пищи, т.-е. тогда, когда они находятся в темноте". Из этих двух мест вполне ясно, что понятия Ингенгуза были до того смутны, что приход углерода (питание) он смешивал с его расходом (дыханием) [1]).

С другой стороны, высказывалось весьма веское сомнение, значение которого вполне допускал и Сенебье, именно указывалось на тот факт, что громадное большинство растений своими листьями приходят в соприкосновение с атмосферой, а не с водой, а между тем аббат Фонтана утверждал, что он исследовал до 700 растений и не мог показать, чтобы их листья разлагали углекислоту в газообразном состоянии. Сенебье сам предпринимал подобные опыты и не мог получить сначала вполне определенных результатов, в чем сам откровенно сознается, но уже во втором своем сочинении (относящемся к 1783 г.) упоминает, что ему удалось получить удовлетворительные результаты и в воздухе. Разъяснить окончательно это недоразумение привелось уже позднее его соотечественнику Соссюру.

Но самое резкое и неустранимое в то время возражение было предъявлено Гассенфрацом. Он доказывал, что теория Сенебье ложна в основании, что никакого усвоения углерода растением не происходит, и доказывал это следующим опытом, против которого его современникам трудно было что-либо возразить. Если растение питается углекислотой, говорил он, то стоит взять проросшее семя, поместить его в перегнанную воду, в изобилии снабженную углекислотой, и растение должно развиться. Но на деле этого не бывает,—растение не развивается, а погибает. Нам теперь очень хорошо понятны причины неудачи Гассенфраца. Мы знаем, благодаря Сенебье, что растение нуждается в углекислоте, но знаем также, благодаря уже позднейшим исследованиям, что растение нуждается и в составных частях золы, а их то не доставлял своим растениям Гассенфрац. Растение, сверх того, нуждается в кислороде для дыхания, а его, вероятно, не доставало в воде, в которой находились проростившия семена. Но, повторяю, для современников Гассенфраца его опыты, казалось, подтачивали в корне учение Сенебье.

Вообще Сенебье был талантливый экспериментатор и строго логический исследователь, но не обладал той особенностью гениальных новаторов, которая необходима для того, чтобы выставить новое учение во всеоружии истины, а главное, в то время он не обладал еще достаточными сведениями в новой химии, даже находился в противном лагере. Зато позднее он сам откровенно сознавался, что, когда ему удалось преодолеть „обычную косность человеческого ума", неохотно расстающегося со старыми воззрениями, он убедился, что его идеи стали для него самого более ясными при свете нового учения.

[1]) An essay on the food of plants and the renovation of Soils. (Опыт о пище растений и обновлении почв). И в этом то именно произведении, обнаруживающем всю несостоятельность воззрений Ингенгуза, немецкие ботаники видят зачатки современных воззрений!

В Европе в это время было два человека, которые могли бы довести вопрос до конца, выследить все его последствия, но они оба были насильственно отняты у науки, когда она могла от них всего более ожидать решения этой задачи. То были Лавуазье и Пристли. Пристли никогда не упускал из виду вопроса, возбужденного его открытием. Этим же вопросом, по-видимому, глубоко интересовался и Лавуазье, как можно судить по его позднейшим докладам в Парижской академии. Именно в своем докладе по поводу исследований Гассенфраца он, очевидно, становится на сторону Сенебье, говорит, что большинство ученых разделяет его взгляд, что углерод углекислоты переходит в растение, образуя органическое вещество, но, с другой стороны, останавливается в недоумении перед фактами Гассенфраца, предлагая академии их проверить, и приходит к заключению, что „едва ли какой другой научный вопрос более достоин ее внимания и изучения", как именно этот вопрос о происхождении углерода растений. Известно, что Лавуазье и ранее занимали опыты над выращиваньем растений в воде, а также и другие вопросы, находившиеся в связи с земледелием. Трудно себе даже представить, какое развитие получили бы физиология растений и рациональное земледелие, если бы Лавуазье, как позднее Либих, как в наше время Бертло, обратил внимание на их задачи. Как изменилась бы их судьба, если бы во главе своих деятелей они могли записать имя гениального химика, если бы творец современной химии стал бы и творцом физиологии растений и агрономической химии. Но через год после произнесения приведенных выше слов Лавуазье сложил голову на гильотине. Сохранилось предание, что он унес с собою почти сложившиеся идеи о каких-то новых открытиях, которых еще не успел осуществить на опыте. Кто не слыхал мрачных подробностей юридического убийства Лавуазье? Историки с известными тенденциями не раз эксплоатировали его в своих видах, указывая на него, как на яркое проявление республиканского вандализма, и охотно повторяя (апокрифические?) слова, сказанные будто бы на процессе Лавуазье—la République n'a pas besoin de science! [1]). Но те же историки менее охотно вспоминают о другом случае, местом действия которого, незадолго перед тем, была соседняя страна. Там другой гениальный химик, талантливый соперник Лавуазье, Пристли, только благодаря случаю спас жизнь от дикого самосуда уличной толпы. Вот как рассказывают этот эпизод его биографы. В Бирмингаме друзья Пристли, имевшие много связей во Франции,—сам он пользовался даже правом французского гражданства,—предполагали отпраздновать 14 июля 1792 г. годовщину взятия Бастилии. Враги Пристли, консервативные аристократы и клерикалы, давно ненавидевшие его за его независимый образ мыслей, политический и религиозный, воспользовались этим случаем, чтобы покончить с ним. Наущенная ими уличная толпа ворвалась в дом, где происходил обед, расправилась с собравшимися там и, не найдя между ними Пристли, направилась к его загородному домику с криком: „за церковь и короля!". Лаборатория, ценные инструменты, библиотека, рукописи—все было уничтожено, и дом сожжен до-тла. Предупрежденный во время друзьями, Пристли с женой и двумя детьми успел спастись от дикой расправы рассвирепевшей черни и из

[1]) Республика не нуждается в науке!



окон соседнего дома мог видеть, как гибли в пламени результаты целой трудовой жизни, быть может, надежды будущих великих открытий. Его биографы рассказывают, что даже в эти минуты ему не изменила обычная ясность духа и христианская кротость характера; ни одного слова укоризны не сорвалось у него по отношению к этой жалкой, темной массе, служившей только слепым орудием, но зато до конца своей жизни не переставал он громко обличать ту руку, которая управляла этими неистовствами. „Никакие соображения не могли его остановить, когда он считал своим долгом отстаивать то, что признавал за истину,—говорит один из его биографов, Кювье, и добавляет далее:—и это качество, столь почтенное само по себе, уничтожало результаты любезных сторон его характера и было причиной мук, истерзавших его существование". Под любезными сторонами характера (qualités aimables) Кювье, вероятно, разумел житейскую мудрость, умеющую смягчать жесткость всякой истины. Протянув еще несколько времени в Англии, не скрываясь от своих врагов, бешенство которых только росло от того, что они не имели ни малейшего повода к законному его преследованию, Пристли, наконец, изнемог в неравной борьбе и удалился в Америку. Благодаря случаю жизнь его сохранилась, но для науки он был потерян безвозвратно.

Таким образом, на расстоянии двух лет насильственно сошли с научной сцены два величайших деятеля, влияние которых могло бы изменить исторический ход развития нашей науки. Эта параллель между судьбой Лавуазье и Пристли не лишена поучительности для беспристрастного историка. Убийство Лавуазье справедливо считается одним из самых черных пятен на совести человечества, но оно бледнеет в сравнении с неудавшейся попыткой на убийство Пристли. В Лавуазье обезумевший от отчаяния перед иноземным вторжением и внутренней изменой, разоренный, но готовый на новые жертвы французский народ преследовал только одного из представителей ненавистного ему сословия откупщиков, в которых видел внутренних врагов и союзников внешнего врага. Лавуазье был одним из 26 fermiers généraux, откупщиков податей, взошедших в этот день на гильотину; он расплачивался за чужие грехи—за грехи целых поколений хищников, высасывавших из французского народа его жизненные соки. Он, несомненно, не был виновен в их преступлениях [1]). Но нельзя сказать, чтобы он не разделял с ними их выгод. Существует указание, что он просил у короля откупа, как средства покрыть значительные расходы, связанные с его опытами. Кто видел его приборы в Conservatoire des Arts et Métiers, конечно, поймет, как велики должны были быть эти расходы, и, конечно, не мы, благодарные потомки, помянем ему какие-нибудь сотни тысяч ливров синекуры, которые он с лихвой возвратил Франции и человечеству. Но современники могли и не обладать должным хладнокровием и чувством справедливости. В минуту общего народного бедствия, когда, казалось, все рушится и почва уходит из-под ног, могло найти, конечно, не извинение, но объяснение и то помрачение мысли и чувства, которое решило участь

[1]) Известно, что даже в своей деятельности откупщика Лавуазье проводил полезные и гуманные меры.

Лавуазье. Совсем иным представляется нам дело Пристли. Среди ничем не угрожаемого общественного спокойствия друзья порядка и поборники религии натравливают уличную чернь на человека самого кроткого и безобидного, вся вина которого заключалась в том, что он думал не так, как думали в то время правящие классы [1]). Если в Лавуазье, вследствие рокового ослепления, за предполагаемым расхитителем народного достояния не видели действительно гениального ученого, то в Пристли сознательно обрекали на мучительную смерть мыслителя—и только мыслителя. Но довольно этих мрачных картин вторжения человеческих страстей в ясную область науки. Поспешим отвернуться от этих диких взрывов красного и, быть может, еще более возмутительного белого террора и вернемся в мирную Женеву.

Рядом с Сенебье и ему на смену, уже на пороге XIX в., выступили два его земляка и, как мы видели, соседи его по ботаническому саду—Де-Кандоль и Теодор Соссюр. Де-Кандоль придал опытам Сенебье более наглядную, убедительную форму, а также доказал, что и багряные морские водоросли, следовательно, растения не зеленые, разлагают углекислоту. Исследования Соссюра, собранные в небольшом томике Recherches chimiques sur la végétation [2]), и до настоящего времени могут служить образцом строгого, точного физиологического метода. Приемы исследования изменились, усовершенствовались, задачи усложнились, но умение ставить вопросы и получать на них ясные, определенные ответы не было превзойдено и последующими поколениями. Соссюр устранил всякое сомнение по вопросу о возможности разложения газообразной углекислоты. Он взял несколько растений барвинка—Vinca, той самой Pervenche, которой Руссо посвятил такие патетические строки в своих Confessions [3]),—поместил их в искусственную атмосферу, содержавшую довольно значительное количество углекислоты, и по прошествии нескольких дней убедился, что количество углекислоты убыло, а кислорода—прибыло. Определив, сколько его растения могли заключать углерода до опыта, и определив, сколько его оказалось после опыта, он непосредственно доказал прибыль углерода, т.-е. его отложение из углекислоты в растение. Соссюру же наука обязана первыми, долгое время сохранившими свое значение количественными определениями углекислоты в атмосферном воздухе. Он показал, что содержание углекислоты в атмосфере в средних цифрах $^4/_{10000}$, и только сравнительно недавние, более точные исследования заставляют предполагать, что эта цифра должна быть немного уменьшена (до $^3/_{10000}$ или даже до $^2/_{10000}$?). Этим завершился ряд важных услуг, оказанных науке четырьмя женевцами по отношению к занимающему нас вопросу. Соссюру не по силам было разрешить последнюю задачу, устранить последнее сомнение, которое стояло еще на пути учения Сенебье: именно, может ли растение улавливать и разлагать углекислый газ, так скупо рассеянный в природе?

[1]) Религиозные воззрения Пристли были сходны с тем, что через сто лет повторил Л. Н. Толстой.

[2]) „Химические исследования над растениями".

[3]) „Исповедь". Современные художники изображают его на памятниках с этим цветком в руке.



А пока это не было доказано, скептики имели право утверждать, что все до сих пор доказанное еще не вязалось непосредственно с действительностью, с тем, что происходит в природе.

Эту задачу, требовавшую методов гораздо более тонких, разрешил уже в 1840 году Буссенго. Он доказал, что растение разлагает атмосферную углекислоту и—при благоприятных условиях освещения—почти начисто. До какой степени изумительною казалась современникам точность этого опыта (как и большинства исследований Буссенго), может лучше всего показать анекдот, который я слышал от самого Буссенго. „Мы предприняли исследование—рассказывал он—вместе с Дюма, но так, что каждый производил взвешивания, вел журнал опытов отдельно, не сообщая другому, для того, чтобы лучше контролировать полученные результаты. Сначала все шло хорошо; растение, как и следовало ожидать, разлагало углекислоту. Вдруг картина изменилась. Несмотря на ясные солнечные дни, оно закапризничало и вместо того, чтобы разлагать углекислоту, стало ее выделять. С недоумением подводили мы в своих записных книжках вечерние итоги, бросая друг на друга немые вопросительные взгляды. Обоим невольно приходила на память неудача, испытанная Пристли, когда он хотел повторить свой знаменитый опыт. Так продолжалось несколько дней. Наконец, в одно прекрасное утро Реньо (знаменитый физик), внимательно за нами следивший, видя наши вытянутые физиономии, разразился неудержимым хохотом и покаялся нам, что причиной нашего горя был он: каждый день, когда мы уходили завтракать, он подкрадывался к прибору и немного в него дышал „для того, чтобы убедиться, как он выразился, что вы не шарлатаните, а действительно можете учитывать такие малые количества углекислоты"! Реньо, проделывающий школьнические шалости над Дюма и Буссенго,—какой комический контраст с тем торжественным представлением, которое вызывали в нас имена этих научных олимпийцев, встречаемые на страницах учебника! Этот опыт над виноградной лозой, получивший такую неожиданную проверку, заслужил классическую известность; он окончательно разрешал сомнение о возможности происхождения углерода растения из атмосферы и, так сказать, завершал изучение вопроса с его химической, статической точки зрения. Позднее производившиеся, почти бесчисленные, опыты, в которых растение в течение всей своей жизни не получало другого источника углерода, кроме атмосферного воздуха, поставили этот вывод вне всякого сомнения.

Итак, самый существенный момент в круговороте углерода, подмеченный Сенебье, прослежен вполне. Полюбопытствуем узнать, как же быстро совершается этот круговорот. Зная, как велико содержание углекислоты в атмосферном воздухе, предположив (что не вполне верно), что содержание это равномерно во всей атмосфере, зная, наконец, среднее давление, следовательно вес атмосферы, мы можем определить, как велик запас углерода, носящегося в воздухе. С другой стороны, мы можем определить, как велико количество углерода, в форме растительного вещества ежегодно извлекаемое из атмосферы, напр., нашими сельскохозяйственными растениями, и, сопоставляя эти цифры, притти к грубо приблизительным, но, тем не менее, довольно любопытным

выводам относительно быстроты круговорота. Если бы можно было выделить столб атмосферы, стоящий над полем пшеницы, то заключающегося в нем количества углерода хватило бы на четыре с половиной года; для клевера хватило бы его только приблизительно на два года. Отсюда понятно, как быстро должно возобновляться это содержание углерода в атмосфере. Откуда же оно будет пополняться? Делались попытки вычислить, как велико количество углекислоты, освобождаемое главнейшими процессами окисления (горением, дыханием и проч.), пытались даже указать на равенство между этими процессами, но эти вычисления представляют слишком мало прочных данных.

Не следует забывать постоянный запас углекислоты, представляемый той частью атмосферы, которая находится над океаном, и самим океаном. Этот запас служит регулятором, обеспечивая общее постоянство состава атмосферы, если бы даже оказывалось местное нарушение в равенстве между приходом и расходом углекислоты. С другой стороны, несомненно, что в тропическом поясе потребление углерода растительностью должно совершаться гораздо энергичнее, но зато и процессы тления совершаются там также гораздо быстрее, так что, в общей сложности, при той подвижности, которой отличаются газы, едва ли есть основание полагать, что где бы то ни было на земном шаре мог оказаться недостаток в этом первом источнике питания. Точно так же и в будущем, при увеличении интенсивности производства, очевидно, усилится и потребление органического вещества, т.-е. в итоге только ускорится круговорот углерода. Высказывались и другого рода опасения; указывали на мощные толщи углекислой извести [1]), отложившейся, очевидно, на счет углекислоты атмосферы; этот процесс, конечно, имеет последствием устранение углекислоты из общего круговорота, переводя ее в неподвижную форму. Но и этот геологический процесс не встречает ли себе противовеса в другом геологическом же процессе, в потоках углекислого газа, извергаемых вулканами, на которые Буссенго давно указывал, как на важнейший источник атмосферной углекислоты. Эти соображения, я полагаю, могут нас избавить от преждевременных опасений даже за самое отдаленное будущее, без обращения к тем утешениям, которые недавно предлагал один американский ученый, убеждая, что, если б углекислоты когда-нибудь не хватило на нашей планете, она явилась бы к нам на выручку из глубины космических пространств.

Таким образом, девятнадцатый век завершил задачу, завещанную ему восемнадцатым, но он этим не ограничился и, в свою очередь, выдвинул новую задачу, о которой восемнадцатый мог только смутно гадать.

## 2.

В том же 1840 году, когда Буссенго производил свой классический опыт над лозой, на острове Яве молодой немецкий врач, находившийся на службе в каком-то голландском торговом доме, пуская кровь больному, заметил, что цвет крови был более яркий, алый, чем он привык видеть

[1]) Мела, известняков.



в Европе. Ничтожное наблюдение, которое в другом случае прошло бы даже незамеченным, стало исходной точкой целой цепи умозаключений, на другом конце которой, через два года, явилось провозглашение „закона“, по словам Фарадея, „высшего из всех, доступных человеческому пониманию, в области физических знаний—закона сохранения силы“. Этот молодой доктор был знаменитый и так жестоко поплатившийся за свою славу—Роберт Майер. Несоответственность между громадностью результата и ничтожностью ближайшего повода, так часто повторяющаяся в истории наук и даже утешающая толпу завистливой посредственности, убаюкивая ее мыслью, что все великие открытия обязаны своим происхождением только случаю,—эта несоответственность, конечно, и на этот раз не опровергала любимой аксиомы Майера: aequat causa effectum [1]). Не в факте кровопускания лежала причина открытия,—он играл только роль „освобождающей причины“, „Auslösung“, давшей прорваться наружу запасу потенциальной энергии, таившемуся в мозгу Майера и называемому гением [2]).

Но в чем же заключалось это сцепление идей, связывающее цвет венозной крови с самым широким обобщением, когда-либо высказанным в сфере физических наук, фактически обнимающим всю совокупность физических явлений? Майер руководился учением Лавуазье о горении и дыхании. Он рассуждал так: при более высокой температуре, окружающей организм, он менее охлаждается. Но если он менее охлаждается, то и менее нуждается в тех процессах, которые поддерживают его температуру. Менее высокая температура находится, следовательно, в связи с меньшей тратой как вещества организма, так и кислорода крови,—отсюда и более алый цвет венозной крови. Значит, трата вещества и проявление теплоты взаимно дополняются; чем менее тратится вещества, тем менее освобождается тепла. Значит, эта теплота была скрыта, таилась в этом веществе, а не возникла,—значит, физические силы не возникают и не исчезают, а только превращаются. Мысль Лавуазье о вечности вещества должна быть дополнена, обобщена, распространена и на силу. Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum [3]). Когда мы видим, что образуется вода, мы ищем, из чего она образовалась, и убеждаемся, что из водорода и кислорода; когда при горении исчезает уголь, мы ищем, во что он превратился, и убеждаемся, что в углекислоту. Точно так же, когда мы присутствуем при появлении или кажущемся исчезновении какой-нибудь физической силы—движения, теплоты, света, электричества, мы должны искать, откуда она взялась или во что обратилась. „В этом предположении, что сила может принимать скрытую неподвижную форму,—говорит Дюринг,—и заключается самобытная мысль Майера, самым очевидным плодом которой явилось выражение теплоты в единицах

[1]) Следствие равно причине.

[2]) Любопытно, что Майер, построивший всю аргументацию в своих знаменитых трудах на общей логической посылке о равенстве между причиной и следствием, в последние годы задумал большой труд, в котором старался разъяснить именно механизм „Auslösung“, т.-е. объяснить действие малых причин, вызывающих несоответственные следствия, и желал провести это положение чрез все сферы явлений, начиная с химии и кончая умственным творчеством и политическими движениями.

[3]) Ничто не происходит из ничего. Ничто не превращается в ничто.

механической силы". Майер не ограничился применением своего воззрения к неоживленной природе. В первый раз усмотрев его на жизненном явлении, он поспешил в 1845 г. развить его в применении к жизненным явлениям. Не задумываясь, высказал он основное положение, что или мы должны допустить, что в организмах сила не возникает сама собою, а лишь превращается, или должны признать безгранично царившую в то время „жизненную силу", т.-е. „должны пресечь себе всякий путь к дальнейшему исследованию; отказаться от мысли применить к изучению жизненных явлений законы точных наук" [1]).

Обращаясь к явлениям органической жизни, Майер прежде всего остановился на растении. Всякое растение представляет нам не только запас вещества, но и тепла, которое освобождается при его сжигании. Откуда же берется эта теплота? Она не возникает из ничего,—значит, она берется извне. Может быть, в форме теплоты же из окружающей среды? Но нет; для существования растения одной теплоты недостаточно. Для этого нужен свет. Мы, таким образом, получаем рациональное объяснение для открытия, что разложение углекислоты происходит только при солнечном свете. Но у Майера уже нет речи о каком-то непонятном влиянии света; нет, он прямо высказывает мысль, что солнечный свет затрачивается, исчезает, превращается, принимает твердую форму, слагаясь в запас и обнаруживаясь вновь в форме тепла же и света, когда мы сжигаем вещество растения. Здесь должно заметить, что мысли эти вполне определенно высказал Сенебье еще в 1791 году следующими словами: „Я вижу, как моя кровь образуется в хлебном колосе... а древесина (le bois) отдает зимою теплоту, огонь и свет, похищенные ею у солнца" [2]). Майер даже намекал на форму опыта, к сожаленню, и до сих пор превышающего экспериментальные средства науки,—опыта, который должен был бы непосредственно учесть это поглощение света. Всякий знает, что поверхность земли, покрытая растительностью, не так нагревается, как голая почва. Если бы мы могли точно определить, какую долю этого охлаждения должно приписать испарению воды, то избыток охлаждения указал бы нам на поглощение света растением.

Таким образом, в растении может отложиться лишь столько углерода, сколько принесено извне в форме углекислоты, и лишь столько тепла, сколько растение могло поглотить его в форме солнечного света. А так как это только две стороны одного и того же процесса, то мы можем сказать, что и количество принятого растением углерода будет зависеть от количества выпадающего на растение света, т.-е. мы приходим к выводу, что между самым существенным процессом раститель-

[1]) До чего доходили физиологические воззрения виталистов того времени, можно видеть из приводимого Майером мнения одного ученого, высказывавшего мысль, что животная теплота передается новорожденному по наследству. В награду за такое открытие, замечает Майер, стоило бы пожелать его автору „печку, которая передавала бы по наследству неистощаемую теплоту своей прародительницы печки". Можно пожелать и новейшим защитникам витализма почаще перечитывать приведенные выше слова Р. Майера.

[2]) Майер, конечно, не мог знать этого места из физиологии Сенебье, так как оно неизвестно даже современному, специально занимавшемуся этим вопросом, немецкому ботанику (Визнеру) и поющему с его голоса русскому (Арциховскому).



ной жизни и солнечным светом должно искать определенного количественного отношения.

Таковы основные мысли, высказанные Майером по отношению к занимающему нас процессу. Когда вспомнишь, что все свои гениальные идеи он высказал в краткий период трех лет, когда знаешь, как занимало его именно применение этих идей к органическому миру, то невольно спрашиваешь себя: чего могла бы ожидать от него наука в последовавшие затем тридцать три года его жизни, если б мелкая зависть цеховых ученых и невежество окружающей среды не превратили эту жизнь в ряд невыносимых страданий? Нельзя без гнетущего чувства читать подробности этой страдальческой жизни, раскрытые другим неудачником, Дюрингом, в его книге: Robert Mayer, der Galilei des neunzehnten Jahrhunderts [1]). До их появления в печати и немедленно после появления идеи Майера были встречены специалистами с крайнею враждебностью. „Физики, с которыми он был в сношениях, и слышать не хотели о нем, и едва мог он добиться, чтобы первое сжатое изложение его идей проникло в печать",—пишет Гельмгольтц и прибавляет: „то же, чрез несколько лет, пришлось испытать и мне" [2]). Затем, в течение долгих лет, к этим идеям был применен прием, так метко названный—„La conspiration du silence" [3]). Наконец, когда имя Майера было совершенно забыто, заслонено славой его более счастливых соперников, Джоуля и Гельмгольтца, и он выступил в защиту своих прав,—местные авторитеты снова обрушились на него оскорбительными газетными статьями. Он хотел возражать, но редакции не принимали его ответов. Тогда разнесся слух, что он сошел с ума, и вслед за тем,—что он умер в доме для умалишенных. Последний слух был так упорен, что Поггендорф в своем биографическом словаре так и уморил его заживо и уже в прибавлении исправил свою ошибку. Только в шестидесятых годах, главным образом, благодаря Тиндалю, напомнившему о его заслугах, о нем, наконец, вспомнили. Оказалось, что он еще жив, и не сумасшедший, а просто влачит темное существование практического врача в своем родном городе Гейльброне. Раз только, казалось, судьба ему улыбнулась. В 1869 году его уговорили явиться на съезд немецких натуралистов в Инсбруке. Он произнес речь; ему сделали овацию—позднее признание его заслуг. Но и это запоздалое торжество было отравлено новыми неожиданными врагами. Майер был искренно религиозный человек, и притом, по замечанию Дюринга, был им всегда, а не стал только под гнетом невыносимой жизни. В нем не было, однако, ни тени фанатизма или ханжества; на вопрос Дюринга он просто и чистосердечно ответил, на своем швабском диалекте: „Ich bin ein Chrischt" [4]). В своей Инсбрукской речи он позволил себе несколько фраз в религиозном смысле. Этого не могли ему простить люди противоположного лагеря, и Карл Фогт, в газетном отзыве об этой речи,

[1]) Роберт Майер, Галилей девятнадцатого столетия.

[2]) Этих слов, кажется, достаточно для того, чтобы избавить Гельмгольтца от тех подозрений, которые на него возводит Дюринг.

[3]) Заговор замалчивания.

[4]) Я христианин.

деликатно намекнул, что это говорит человек, выпущенный из дома для умалишенных! Такова, по обыкновенным рассказам, жизнь этого несчастного человека. Но Дюрингу, познакомившемуся с ним лично и вызвавшему его на откровенность, удалось разоблачить весь трагический ужас этого существования. Майер засвидетельствовал ему, что никогда не был сумасшедшим. Отвергнутый учеными, но сознавая значение своих идей, он вскоре сделался посмешищем и предметом преследований всех окружающих, начиная с ближайших членов своей семьи. Мало-по-малу сложилось мнение, что он страдает манией величия. Можно себе представить положение человека, обреченного на жизнь в ничтожном провинциальном городишке, окруженного завистливым злорадством мелочной среды, встречающего главных врагов в самых близких, в родственниках, в жене, находившей, что лучше бы ему бросить свои бредни и побольше заниматься врачебной практикой, в детях, которым внушали, что отец—полоумный сумасброд. Измученный этой мелочной, вседневной борьбой, не встречая нигде справедливости, Майер не выдержал и впал в тяжкую меланхолию. Этим воспользовались, чтобы уговорить его посоветоваться с психиатрами. Он сам добровольно поехал в одно лечебное заведение, в Винентале, и был там задержан, повидимому, не без содействия родственников. Ученый эскулап также сообразил, что его пациент страдает манией величия, а что его „механический эквивалент"—что-то вроде квадратуры круга. Он пустил в ход орудия пытки (Zwangsstuhl), которыми располагала наука того времени, при чем постоянно предлагал своему пациенту вопрос, не сознает ли он, наконец, своего заблуждения. Целый год выдержал Майер эту пытку, но не отрекся от своих идей. „Это ли не повторение истории Галилея в самой средине XIX столетия?"—восклицает Дюринг.—„Человека пыткой вынуждали отказаться от его идей, составляющих гордость, славу его века! Это ли не Галилей?—с тем только различием, что гонителями Галилея были невежественные монахи, а на этот раз—то были просвещенные профессора, а палачом служил ученый психиатр, вообразивший, что он призван быть цензором над произведением гения!"

Как бы то ни было, Майер вернулся из Винеталя нравственно и физически искалеченный, с разбитой волей, но с ясным, попрежнему, умом и неизлечимой мономанией—с убеждением, что открытие механического эквивалента не было делом сумасшедшего [1]). Дюринг ставит ему в укор только излишнюю его научную скромность и христианскую кротость. Боевой натуре Дюринга слишком чуждо это „непротивление злу", и он высказывает убеждение, что, обратись Майер во-время к суду общественного мнения, ответь он своим врагам резкой, язвительной брошюрой, дай он ей надлежащий ход, и роли изменились бы, его дело было бы выиграно, и вся жизнь его приняла бы иной оборот. Но скромность Майера, повидимому, превышала его гениальность. Ни в одном письме, ни в одном разговоре, приводимом Дюрингом, не встречаем

[1]) Повидимому, боязнь лишиться практики, т.-е. средств к существованию, вынудила разбитого борьбой Майера примириться скорее с мыслью прослыть за выздоровевшего сумасшедшего, чем потребовать к ответу своих родственников.



ни одной черты самоуверенности или гордости. Раз только в его разговоре проскользнуло нечто вроде похвальбы: „Ich habe doch wirklich populär geschrieben" [1]), сказал он Дюрингу, очевидно, сознавая, что обладал столь редким между учеными его соотечественниками даром не только понятного, но даже изящного изложения своих мыслей. С какой пользой и до сих пор многие ботаники могли бы читать эти блестящие шесть страничек, которые Майер посвятил растению в своей известной статье „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel" [2]),—а сколько еще потребуется труда, таланта и времени, чтобы осуществить на опыте все намеченные там идеи!

Подобно Пристли и Лавуазье, Роберт Майер был насильственно отнят у науки в момент полного расцвета своего таланта. Словно какой-то злой рок тормозил развитие занимающего нас вопроса, удаляя с научной сцены именно тех, кто всего более мог способствовать движению науки в этом направлении. Самые противоположные условия, самые враждебные течения мысли как будто тайно служили одной цели. Бирмингамские пожары и Винентальские холодные души, богатство Лавуазье и бедность Майера, уличное буйство невежественной толпы и затаенная зависть ученых профессоров, насилующая нетерпимость религиозных фанатиков и язвящая нетерпимость правоверного материалиста—все шло впрок, все, казалось, вступило в заговор для того только, чтобы обогатить мартиролог науки именами этих трех гениальных ученых и во всех отношениях безупречных людей. И не любопытна ли эта последовательность: Лавуазье ученый—пострадал за Лавуазье практического деятеля; Пристли ученый—за Пристли политического и религиозного мыслителя; наконец, Майер ученый—за то только, что был гениальным ученым в среде окружавшей его жалкой посредственности.

---

Рассматриваемый с точки зрения Майера процесс усвоения углерода приобретает новый и еще более широкий интерес [3]). До сих пор мы видели в нем только любопытный момент в круговороте углерода, теперь мы усматриваем в нем еще более любопытный момент в том превращении силы или, выражаясь современным языком, в том превращении солнечной энергии [4]), от которого зависит существование жизни на земле. В процессе разложения углекислоты солнечная энергия переходит в скрытое состояние, становясь достоянием живых существ. Усвоение углерода растением есть в то же время усвоение солнечной энергии.

Мы узнали в общих чертах, в какой степени растение утилизирует атмосферную углекислоту. Попытаемся определить, конечно, приблизи-

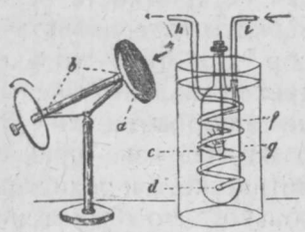
[1]) Я ведь действительно писал популярно

[2]) „Органическое движение в его зависимости от круговорота вещества".

[3]) Сходные воззрения высказывались почти одновременно и другими учеными, но никто ранее Майера не выражал его с такой определенностью и ясностью.

[4]) Я здесь не касаюсь основ учения об энергии; желающие с ним ознакомиться, найдут сжатое изложение в моей книге „Жизнь растения"—приложение: „Растение как источник силы". См. настоящий сборник, стр. 64.

тельно, в какой мере растение утилизирует солнечную энергию, без которой невозможна и утилизация углекислоты. Прежде всего укажем на громадный интерес подобной оценки. Мы видели, что запас углерода в соседстве с растением обеспечен подвижностью углекислоты; большее потребление его человеком только обеспечивает снабжение им растения,—только ускоряет круговорот. Точно так же во власти человека снабдить растение в форме удобрения и теми питательными веществами, которые неподвижны и, будучи однажды удалены из ближайшего соседства растения, сами уже не возвращаются. Только одно условие не лежит во власти человека, это—количество солнечной энергии, выпадающее на известную площадь земли, а от этого количества зависит, как учит Майер, и количество образующегося в растении органического вещества. Но как сравнить между собою эти, повидимому, столь разнородные величины? Очень просто. Мы можем их привести к одной и той же мере, выразить их в тех же единицах. Какую меру выберем мы для определения энергии солнечного луча? Конечно, не световое его напряжение, не степень его яркости, зависящую от свойства воспринимающего его физиологического аппарата, т.-е. глаза. Для определения энергии солнечного луча в ее совокупности мы имеем одно только средство. Мы превращаем ее в теплоту и измеряем в тепловых единицах — в калориях. Для этого, по мысли французского физика Пульета, мы выставляем на солнечный свет, всегда в одном и том же определенном положении по отношению к лучу, тонкий, плоский, металлический сосуд (a) с водой и термометром (b) [1]. Освещенная поверхность его вычернена, закопчена (a) для возможно полного поглощения света, т.-е. для возможно полного превращения его в теплоту [2]. Зная, сколько наш прибор содержит воды и на какое число градусов повышается его температура в минуту (конечно, соблюдая целый ряд поправок, о которых здесь не место говорить), мы узнаем, сколько калорий посылает солнце на известную нам поверхность нашего калориметра. Теперь посмотрим, как определить скрытую теплоту растения. Положим, мы вырастили растение, тщательно собрали его, вместе с корнем, разрезали и высушили, чтоб удалить воду. Полученное сухое органическое вещество мы помещаем в небольшую чашечку (g), зажигаем и быстро опускаем в стоящий рядом прибор (cf)—также калориметр. Он состоит из стеклянного сосуда с одной трубкой (i), чрез которую доставляют воздух или, лучше, кислород, и другой (d), образующей много оборотов и, наконец, выходящей над поверхностью воды в наружном сосуде (h). Чрез эту трубку продукты горения выходят охлажденными, предварительно нагрев на своем длинном пути окружающую воду. Зная опять, сколько воды было в калориметре, на сколько



Калориметр Пульета.

[1]) Для того, чтобы вода равномерно нагревалась, сосуд вращают, как показывает стрелка.

[2]) Полное поглощение световых лучей представляло бы, конечно, только такое тело, на которое нельзя было бы отбросить тени, но такого черного тела мы не знаем.



градусов повысилась ее температура, мы узнаем, сколько единиц тепла заключалось в скрытом состоянии в нашем растении и освободилось при его сжигании. Следовательно, и количество энергии, заключающейся в солнечных лучах, и количество скрытой энергии, заключенное в растении, мы измеряем тем же способом, при помощи тех же приборов — калориметров,—в тех же единицах тепла. Значит, и сравнение этих, как казалось сначала, разнородных величин разрешается весьма просто, то-есть весьма просто в теории, хотя много еще пройдет десятков лет, много потребуется сложных и тонких исследований, прежде чем удастся разрешить это уравнение вполне удовлетворительно. Но важно то, что уже предвидится возможность установления такой количественной связи между растительным процессом и солнечной энергией. Пока мы должны довольствоваться только первыми попытками в этом направлении—и вот каким путем мы их осуществляем. Положим, мы желаем узнать, какое количество солнечной энергии утилизируется известной какой-нибудь культурой. Для этого нам нет, конечно, надобности собрать жатву с целой десятины вместе с корневыми остатками и сжечь ее в калориметре; если мы знаем, сколько сухого вещества заключается в этом сборе и какой его химический состав, мы можем, на основании уже известных нам калориметрических данных, вычислить, какое количество скрытого тепла сгорания заключает это органическое вещество. С другой стороны, при помощи калориметра (пиргелиометра) Пульета, с которым мы познакомились выше, мы можем определить сколько солнечной энергии выпало на ту площадь, которая покрыта нашей культурой, за период вегетации [1]). На основании таких вычислений оказывается, что самые интенсивные культуры утилизируют около одного процента. Но мы имеем и другой, более точный, путь для вычисления количества солнечной энергии, утилизируемой растением. Мы можем прямо определить, сколько данный лист разложит углекислоты в известный период времени, напр., в час. Отсюда мы знаем, сколько тепла потребовалось растению для этого разложения, а пиргелиометр, попрежнему, даст нам другую цифру для сравнения. Такое вычисление более точно и приводит к более высокой цифре. До двух и даже пяти процентов [2]) солнечной энергии утилизируется зеленым листом, поставленным в самые благоприятные условия освещения,—и эту цифру мы, вероятно, должны считать близкой к пределу производительности зеленого листа. Повторяю, цифры эти только приблизительные; потребуется еще много поправок и данных для точного вычисления, но пока важны не цифры, а самая возможность цифр. Важно то, что уже может быть речь о числе и мере там, где царил произвол жизненной силы; точные же цифры—только вопрос времени. Интересна возможность вычисления раз-

[1]) К сожалению, это вычисление только приблизительное. В этом отношении метеорология заставляет еще многого желать. Новейшие любопытные исследования Крова в Монпелье и Савельева в Киеве скоро дадут физиологам необходимые данные для более точного вычисления (Примеч. 1883 г.). Позднее английский астроном Вильсон придумал упрощенный остроумный прибор, делающий возможным учитывать солнечное тепло (в калориях) сразу за целый день, что значительно упрощает дело (Примеч. 1918 г.).

[2]) Наиболее точное измерение дало 3,4%.

меров естественного процесса, едва ли не самого важного из совершающихся на поверхности нашей планеты. Вычисление это, в сущности, не что иное, как определение годичного бюджета жизни на земле. Мы можем доставить растению сколько угодно удобрений, сколько угодно воды, можем, пожалуй, оберегать его от холода в теплицах, можем ускорить круговорот углекислоты, но не получим органического вещества более того количества, которое соответствует количеству солнечной энергии, получаемой растением от солнца. Это—предел, переступить за который не во власти человека. Но раз мы узнаем этот предел, мы получим настоящую, строго научную меру для предела производительности данной площади земли, а в то же время будем в состоянии судить о том, насколько наши культуры приближаются к совершенству,—как в далеком будущем получим возможность судить и о том, насколько совершенны те искусственные процессы получения органического вещества, которые, конечно, рано или поздно, подражая растению, выработает физика и химия. Калориметр скажет сельскому хозяину, что он получил, а пиргелиометр,—что мог или должен был получить. Тогда станет понятно, что если последствия хищнического хозяйства, непроизводительно удаляющего из почвы питательные вещества, и поправимы тем или иным способом, путем удобрения земли, то окончательно непоправимо только расточительное неумелое пользование главным источником народного богатства—солнечным светом. Не утилизированный в данный момент, он утрачивается уже безвозвратно. Тогда станет понятно, что каждый луч солнца, не уловленный нами, а бесплодно отразившийся назад в мировое пространство,—кусок хлеба, вырванный изо рта отдаленного потомка, а вместе с тем станет понятно, что владение землей не право только или привилегия, а тяжелая обязанность, грозящая ответственностью перед судом потомства.

Но оставим пока эти соображения и заключения, которые двадцатый век несомненно выведет из той точки зрения, с которой девятнадцатый учит нас смотреть на вопрос о круговороте углерода, и вернемся назад в восемнадцатый, попытаемся еще раз отдать ему должное, попытаемся показать, что если он и не формулировал идей Майера в таких ясных выражениях, то уже смутно угадывал их содержание.

Если любопытно знать „последнее слово науки“, то не менее назидательно при случае знакомиться с ее первыми словами, хотя бы они и казались нашему высокомерию только детским лепетом.

Мы уже видели, что приверженность к отживавшему свой век учению о флогистоне препятствовала Сенебье оценить свои собственные открытия с тою ясностью, с которою они ему представлялись, когда со свойственным ему беспристрастием он из рядов противников перешел в ряды сторонников новой химии Лавуазье. Но зато старое учение дозволило ему заглянуть в сущность открытого им процесса глубже своих современников и ближайших преемников. Это учение о флогистоне, как известно, перешло в историю с не совсем лестной славой. Но потомство успело и к нему отнестись с должною справедливостью. История науки полна таких примеров. Колоссальная фигура Ньютона заслоняет на время



Гюйгенса,—но являются Юнг и Френель; Кювье давит своим авторитетом Ламарка,—но выступает вперед Дарвин [1]). Ограниченные люди, пожалуй, готовы из этого вывести заключение о непрочности научных построений. Но дело объясняется совсем иначе,—наука, как выражается Сенебье, „дитя своего времени“; быть слишком дальнозорким в науке почти так же опасно, как и быть слишком близоруким. Нечто подобное (хотя не в такой степени, как в двух приведенных примерах) оправдывается и по отношению к флогистону. Во второй половине девятнадцатого столетия целый ряд авторитетов (Майер, Гельмгольтц, Одлинг и др.) попытался обнаружить основную мысль, таившуюся в том, что считалось упорным заблуждением защитников флогистона. Это учение страдало тем, что хотело охватить в одном взгляде слишком многое и, по французской поговорке „qui trop embrasse mal entreint“ [2]), упустило из виду некоторые факты, а затем стало с ними в прямое противоречие. Что такое флогистон? Подставьте на место этого слова современные понятия,—химическое напряжение, потенциальная, скрытая энергия,—и сущность этого учения станет ясна [3]). При горении тела теряется, освобождается нечто — флогистон — говорили его защитники — и были правы. При горении тела приобретается, связывается нечто — кислород, говорил Лавуазье, и был еще более прав. Ошибка сторонников флогистона заключалась в том, что одним уравнением они хотели выразить и превращение вещества и превращение энергии. Эта скрытая энергия, освобождающаяся при горении, правда, представлялась им в форме материи, но вспомним, как долго и после них физики не могли расстаться с тепловой, световой, электрической материей [4]). Лавуазье на время ограничил вопрос, остановился на его исключительно химической стороне,—в этом и обнаруживается зоркость гения, понимающего задачу своего века. Сузив, таким образом, русло науки, он способствовал его углублению,—и вот только теперь, окрепнув на своем более ограниченном, но зато и более прочном фундаменте, химия возвращается вновь к более широким динамическим задачам. Но какую же услугу это учение о флогистоне могло принести Сенебье? А ту, что, благодаря этому учению, его воззрения существенно не отличаются от наших, что и для него, как мы видели выше, круговорот углерода был такой процесс, при помощи которого солнечный луч улавливается, слагается в запас в виде „флогистона“, освобождающегося потом в пламени свечи, топлива и т. д. „Флогистон,—говорит он в одном месте,—это свет потухший, но всегда готовый вспыхнуть вновь“, и в другом месте: „Мне кажется, что я вижу, как частицы света соединяются с телами,—мне хочется думать, что они вновь обнаружатся нашему глазу в пламени горючих веществ“, и еще далее: „Наконец, этот флогистон, который

---

[1]) Известно, что теория Гюйгенса, надолго вытесненная теорией Ньютона, нашла защитников в Юнге и Френеле и теперь всеми признана. Воззрения Ламарка, отвергнутые авторитетом Кювье, в значительной мере (хотя не во всем) нашли оправдание в учении Дарвина.

[2]) „Кто слишком много охватывает, плохо удерживает“.

[3]) Об энергии см. „Жизнь растения“.

[4]) Не забудем, что и для Лавуазье уравнение образования воды было: водород + кислород — теплород = вода.

свет образует в растении, не служит ли он источником и того, который обращается в других царствах природы?“ Не подлежит сомнению, что для Сенебье процесс усвоения углерода растением был в то же время и процессом усвоения солнечного света.

До сих пор мы имели в виду почти исключительно внешние факторы занимающего нас процесса и оставляли в стороне роль главного участника—растения. Мы узнали, что происходит с углекислотой, омывающей растение, узнали окончательную судьбу солнечного луча, падающего на растение, но пока еще ничего не сказали о том, что происходит в самом растении. Где совершается это превращение углекислоты—в органическое вещество, солнечного луча—в запас тепла? Первые шаги и в этом направлении, как мы увидим, принадлежат тому же Сенебье

## II. Почему и зачем растение зелено?

1.

Сент-Бёв, характеризуя одну из сторон деятельности Руссо, со свойственною ему меткостью замечает, что в обществе и литературе, совершенно ушедших в искусственно созданную ими жизнь, Руссо сумел пробудить—le sentiment du vert [1]). Люди, словно в первый раз, сознали в себе присутствие какого-то глухого инстинкта, какого-то неизведанного и вместе с тем как будто давно присущего им влечения; а для самого виновника этого внезапного просветления, гонимого, больного, нищего скитальца, умиротворяющий „зеленый шум“ [2]) стал единственным утешением и врачующим средством от угнетавших его тяжелых мыслей, тех честных мыслей, „в которых так много и злобы и боли, в которых так много любви“ [3]).

Сенебье, конечно, не обладал могучим, чарующим словом своего великого земляка; он не открыл глаза изумленному человечеству на новый источник высших и чистейших наслаждений, мимо которого оно проходило, казалось, того не замечая, но зато он один из первых задумался над вопросом: почему этот зеленый мир—зелен?

Часто приходится слышать очень верную мысль, что люди обращают внимание на ничтожные, случайные явления только потому, что они случайны, редки, и, наоборот, проходят без внимания мимо крупных, широко распространенных явлений потому только, что они слишком распространены, слишком обыкновенны. К числу таких фактов, конечно, должно отнести и зеленый цвет растительности.

Кто не знает, что с пробуждением растительной жизни весной вся природа одевается в этот зеленый наряд; что на какую бы точку земного шара мы ни перенеслись, несмотря на различие в почве и климате, при почти безграничной пестроте цветов и плодов, мы встретимся, в различных, правда, оттенках, но с тем же неизменным зеленым цветом листвы. Наконец, кто не знает, что утрата этого зеленого цвета осенью есть верный признак приближения зимней спячки или смерти. Все это так верно и так хорошо известно, что зеленый цвет даже стал эмблемой жизни и надежды [4]).

---

[1]) „Чувство зелени“, т.-е. чувство природы, любовь к природе, сознание ее красоты.
[2]) Слова Некрасова.
[3]) Слова Некрасова.
[4]) К сожалению, он стал цветом кадетов. Невольно вспоминаются слова Чернышевского: „Мухи знают, что сахар сладок, но зачем они его засиживают“.

Мало, я полагаю, найдется фактов более обыкновенных, а многим ли приходилось задавать себе вопросы: да почему же растение всегда и везде зелено? Имеет ли этот зеленый цвет какое-нибудь для него значение, или это действительно только случайный наряд? Чтобы это замечание не показалось укором, поспешу прибавить, что и сами ботаники недавно только стали серьезно задаваться этим вопросом.

Прежде чем перейти к тому ответу, который дал на этот вопрос опыт, то-есть сама природа, необходимо точнее поставить и рассмотреть самый вопрос.

Почему и зачем растение зелено? Вот в какой форме мы его поставим и, наверно, услышим от натуралистов старого поколения возражения, что ученый может ставить себе только первый вопрос, второй же слишком отзывается устарелой телеологией. Нужно ли объяснять, что, наоборот, именно это возражение является устарелым и не выдерживает критики. Современное эволюционное воззрение на происхождение организмов делает и второй вопрос вполне научным. Распространенность какого-нибудь органа или свойства прямо наводит на мысль, что они имеют какое-нибудь полезное значение для обладающего ими организма. Раскрыв, когда это окажется возможным, физические условия, при которых образуется то или другое строение, та или другая особеность организмов, мы объясняем, почему они возникли; раскрыв их пользу, их значение для обладающего ими организма, мы указываем, зачем, для чего эта особенность сохранилась, закрепилась и усовершенствовалась. Иногда бывает трудно ответить на первый вопрос, в других случаях, наоборот, на второй. Бэр, знаменитый натуралист, высказывал мысль, что биологии обыкновенно гораздо легче ответить на второй вопрос, т.-е. узнать, для чего существует та или другая особенность, чем ответить, почему, т.-е. какими физическими средствами она осуществляется. Но мне кажется, что замечание это более применимо к животным организмам, многие функции которых человек сравнительно легко угадывает из аналогии с своим личным опытом; по отношению же к растению эта руководящая нить аналогии может не только не содействовать, но, наоборот, нередко сбивает с пути. Что глаза животных служат для того, чтобы видеть, легкие—для того, чтобы дышать, понять было не трудно, но что растение поглощает воздух для того, чтобы им питаться, этого не могла подсказать простая аналогия; напротив, аналогия заставляла долго и упорно называть этот процесс газового обмена—дыханием. Мы вскоре увидим и другой пример подобного неудачного заключения по аналогии. Таким образом, ботанику нередко бывает сравнительно легко узнать, почему, как, при каких условиях, в зависимости от каких физических деятелей слагается та или другая особенность растительного организма, и гораздо затруднительнее объяснить, зачем она существует, т.-е. к чему клонится, чем полезна растению. К числу таких случаев, очевидно, относится и вопрос о зеленом цвете растения.

Почему растение зелено, т.-е. присутствию какого вещества оно обязано этим цветом, в каком виде отлагается это вещество, при каких условиях оно образуется, сохраняется или исчезает,—на все эти вопросы



мы можем получить ответы сравнительно легко; но гораздо сложнее представится нам другой вопрос: к чему служит растению этот зеленый цвет, и могло ли бы оно и не быть зеленым?

Займемся сначала первым вопросом. Зеленый цвет зависит от присутствия во всех растениях одного и того же вещества, названного хлорофиллом (листозеленью). Вещество это окрашивает зеленые органы растения не сплошь; оно обыкновенно распределено в клеточках этих органов в форме зернышек,—да и самые зернышки не состоят сплошь из хлорофилла, а, повидимому, только покрашены им с поверхности. Стоит вымочить какой-нибудь зеленый лист в спирте, и мы заметим, что спирт окрасится в зеленый цвет, а лист станет совершенно бесцветным. Следовательно, это зеленое вещество—хлорофилл—растворяется в спирте. Этот зеленый раствор представляет много любопытных особенностей; мы остановимся только на его своеобразном цвете. Известно, что если разложить луч света призмой, то он даст изображение, называемое спектром и состоящее из семи основных цветов радуги: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Если мы пропустим наш луч через сосуд с зеленою жидкостью, напр., с раствором хлористой меди, то вместо семи цветов спектра получим только узкую полосу зеленого цвета, все остальные лучи будут поглощены раствором. Но если мы поставим на пути луча сосуд с зеленым раствором хлорофилла, то получится не только зеленая полоса, но и узкая красная, отделенные одна от другой широким совершенно черным промежутком. Эта черная полоса в спектре представляет самую характеристическую особенность хлорофилла, к которой нам придется не раз возвращаться. Вследствие этого свойства его спектра, и самый зеленый цвет хлорофилла представляет особенность, отличающую его от других зеленых тел; он содержит, как мы только что видели, не только зеленые, но и красные лучи. Убедиться в этом можно очень легко; стоит на залитый ярким солнечном светом ландшафт посмотреть через особое синее стекло, которое пропускает красные и синие лучи, но задерживает зеленые, для того, чтобы пред нашими изумленными взорами вся природа совершенно преобразилась: под обычным синим небом мы увидим кроваво-красную растительность [1]). Не в этой ли особенности цвета хлорофилла лежат те трудности, с которыми, очевидно, приходится бороться ландшафтной живописи? На палитре живописца, повидимому, нет тех зеленых тонов, которые представляет вблизи ярко освещенная растительность. Не потому-ли ни у старых мастеров, начиная с отца ландшафтной живописи Тициана, ни у Сальватора Розы, ни у Клода Лоррена, ни у Рейсдаля, ни у новейших: Руссо, Каллама, Диаза, Шишкина и др., мы и не встретим попыток разрешения этой, повидимому, неразрешимой задачи—изображения ярко-зеленой растительности, и только у молодых, неопытных художников почти на любой выставке наталкиваемся на режущие глаза своим неестественным, малахитово-зеленым цветом луга и леса.

[1]) Еще проще тот же результат достигается, если смотреть чрез фиолетовые желатинные пластинки, которые употребляются для детских фонариков, завертывания конфект и пр.

Итак, совершенно своеобразный зеленый цвет растительности отличается тем, что в его спектре отсутствуют не все вообще красные лучи, а известная группа красных и оранжевых лучей. Лучи эти, следовательно, поглощаются растением, как бы потухают в нем.

Ботаники долгое время думали, что зеленый цвет растения зависит от смеси синего и желтого красящего вещества, дающей, как известно всякому художнику, зеленый цвет, но почти двадцать лет тому назад мне удалось показать, что предполагаемого синего пигмента в природе не существует, что хлорофилл—смесь зеленого же и всегда его сопровождающего желтого пигмента. Первое тело я предложил назвать хлорофилином, второе—ксантофиллом. Факт этот объясняет нам многие естественные явления, напр., осеннюю окраску листьев. Хлорофилин легко разлагается, разрушается светом; ксантофилл, напротив, менее чувствителен к свету. Если мы оставим на солнечном свете спиртовой раствор хлорофилла, то он вскоре пожелтеет—разрушится хлорофилин, и останется желтый ксантофилл. То же происходит осенью в листьях. Под влиянием света и температуры хлорофилин разрушается, а остается ксантофилл. Таким образом, удалось воспроизвести искусственно то разрушение хлорофилла, которое наблюдается и в природе осенью. Люди, желающие видеть печать таинственности во всем, что касается жизненных явлений, нередко делали ботаникам-физиологам возражение, которое не так давно предъявлялось, в еще более широких размерах, и химикам, именно: что исследователь в своей лаборатории умеет только разрушать, но бессилен создать вновь то, что разрушает. Давно ли еще считалось чуть не научным догматом, что химик может только анализировать органические тела, одна только природа обладает тайной их синтеза. Быстрые успехи синтетической химии опровергли это воззрение; молодому поколению оно представляется каким-то отголоском седой старины,—а ведь переворот этот совершился на наших глазах. Сходное возражение чуть не вчера еще высказывалось и по поводу хлорофилла. Вне растения, говорили, возможно разрушение хлорофилла, только растение обладает тайной его образования. Но мне удалось воспроизвести и это явление. Желтая жидкость, не имеющая никакого сходства с хлорофиллом, у нас на глазах в несколько минут зеленеет, превращаясь в хлорофилл со всеми его характеристическими свойствами—спектром и т. д., и происходит это явление при тех же условиях, как и в живом растении, т.-е. при окислении на счет кислорода воздуха. Таким образом, оказывается еще одной, так называемой жизненной, тайной менее: процесс образования хлорофилла, считавшийся исключительным уделом живого организма, может быть воспроизведен in vitro [1]).

Но знаем ли мы в точности, при каких условиях образуется хлорофилл в растении? Физиологи довольно тщательно изучили эту сторону

[1]) См. мои статьи в Comptes Rendus за 1886 и Nature за 1885 и 1886. Настоящий сборник, часть III. С тех пор мне удалось получить это вещество и из растения. Это последнее исследование помещено в Comptes Rendus за 1889, а самый способ производства опытов подробно показан мною на съезде естествоиспытателей в Петербурге в том же 1889 г. Несмотря на то, пять лет спустя Г. Монтеверде (на IX съезде в Москве) счел возможным приписать это открытие себе (См. мою статью в C. R. за 1895 г.). И ни один русский ботаник не возмутился этим дерзким плагиатом.



вопроса. Необходима обильная азотистая пища: растения, получившие азотистые удобрения, резко, на глаз, даже в поле отличаются ярким зеленым цветом, как мне самому случалось особенно ясно наблюдать это на известной Ротгамстедской опытной станции. Затем, необходимо доставить растению железные соли. Это доказывается опытом, одним из самых простых и изящных физиологических опытов, принадлежащим Кнопу. Стоит приготовить искусственную почву или раствор, содержащие все питательные вещества, в том числе и железо, а рядом другую почву или раствор, отличающиеся только отсутствием железа. В первом случае получится здоровое зеленое растение, во втором — хилое, с листьями белыми, как почтовая бумага. Смочим эти последние железным раствором, и они позеленеют.

Кроме этих двух веществ, доставляемых почвой, для образования хлорофилла необходимо еще присутствие кислорода воздуха. Чтобы доказать это, прорастим в темноте какие-нибудь семена. Известно, что ростки тогда получаются не зеленые, а желтые. Разделим полученные таким образом ростки на две кучки; одни оставим в обыкновенном воздухе, другие заключим в прибор с воздухом, лишенным кислорода, и вынесем все на свет. Первые через какие-нибудь четверть часа позеленеют и вскоре получат обычную зеленую окраску; вторые, сколько бы мы их ни держали на свете, останутся желтыми. Но допустим к ним кислород, и они немедленно позеленеют [1]).

Таковы химические условия, при которых образуется хлорофилл. Но мы только что видели, что этого еще мало; необходимо, чтобы были удовлетворены еще известные физические условия, без чего хлорофилл также не будет образовываться. К числу этих условий должно отнести два: теплоту и свет. Зависимость образования хлорофилла от света еще в XVII веке доказал ботаник Рей в Кембридже. Если растение, выдержанное в темноте и обыкновенно желтое, вынести на свет, то оно позеленеет только в том случае, если будет находиться при достаточно высокой температуре. По наблюдениям Сакса, для этого нужно обыкновенно более +5 градусов. При температуре ниже этой оно не позеленеет, сколько бы времени мы его ни подвергали влиянию света, как это показал Эльфинг. Наоборот, как бы благоприятна ни была температура, растение не позеленеет, если будет оставаться в темноте [2]). Света, однако, для этого достаточно самого ничтожного; растение начинает зеленеть даже при освещении, недостаточном для чтения крупной печати. Света газовой горелки или лампы уже вполне достаточно для того, чтобы вызвать появление хлорофилла. Даже оказывается, что слишком сильный свет вреден, что он замедляет зеленение. Это объясняется уже знакомым нам явлением—разрушением хлорофилла под влиянием света. Таким образом, зеленый цвет растения является результатом известного равновесия между двумя противоположными процес-

[1]) Опыты эти были произведены молодым, талантливым, рано умершим русским ботаником Дементьевым.

[2]) Существуют, впрочем, немногочисленные исключения из этого правила, верного, однако, для громадного большинства растений.

сами, зависящими от света: процессом образования и процессом разрушения хлорофилла.

Мы узнали, что растение обязано своим зеленым цветом хлорофиллу, что этот хлорофилл имеет вид зернышек, только окрашенных тем веществом, которое извлекается спиртом; познакомились с главнейшим свойством этого вещества, его спектром, и зависящим оттого своеобразным цветом; ознакомились, наконец, с химическими и физическими условиями образования и разрушения этого вещества в растении и вне растения. Посмотрим теперь, можем ли мы найти какую-нибудь связь между присутствием хлорофилла и жизненными явлениями растения.

Исследования Сенебье и уже отчасти Ингенгуза дают самый определенный ответ на этот вопрос,—ответ, безусловная верность которого подтверждена целым столетием исследований. Присутствие хлорофилла необходимо для того, чтобы растение могло разлагать углекислоту. Только зеленые растения или, выражаясь точнее, только растения, содержащие хлорофилл,—хотя бы скрытый, замаскированный другим пигментом (как во многих наших пестролистных растениях или в морских водорослях),—способны разлагать углекислоту. Сенебье показал, что и в зеленых листьях именно только зеленая их ткань, а не другие части, вызывает это разложение. Растения, не содержащие хлорофилла, как, напр., грибы или некоторые паразиты, углекислоты не разлагают, как не разлагает ее и ни одно молодое растение, пока оно не позеленеет. Наконец, если мы сравним между собою различные зеленые растения, то убеждаемся, что, чем зеленее они, тем более разлагают углекислоты. Словом, с какой бы стороны ни проверяли мы это положение, везде встречаем его подтверждение. Хлорофилл есть орган растения, в котором происходит самый существенный жизненный процесс растения — разложение углекислоты, усвоение углерода, сопровождаемое, как мы уже знаем, и усвоением солнечной энергии.

Нечувствительным образом от вопроса, почему растение зелено, мы уже почти перешли к другому,—зачем оно зелено, т.-е. какую роль, какое отправление играет в нем этот зеленый хлорофилл, и убедились, что роль эта самая существенная, что ни один орган в растительном организме не может сравниться по важности с хлорофиллом. Я выразился осторожно, что мы почти затронули второй вопрос, и это совершенно верно. Тех фактов, с которыми мы ознакомились, достаточно для того, чтобы ответить, зачем растению нужно присутствие хлорофилла, но они не дают нам ответа на вопрос, нужно ли для растения, чтобы это вещество было именно зеленого цвета. Факты эти не отвечают нам на вопрос, потому ли именно хлорофилл полезен, что он зелен, или этот цвет только побочное обстоятельство, случайное совпадение. Только тогда, когда нам удастся доказать, что именно в зеленом цвете и заключается значение хлорофилла, только тогда мы ответим на вопрос, зачем растение зелено, т.-е. почему ему полезно быть именно такого, а не иного цвета.



## 2.

Французская поговорка учит reculer pour mieux sauter, т.-е. пятиться для того, чтобы с разбега дальше прыгнуть. Этим мудрым правилом должен бы всегда руководиться физиолог. Для разрешения своих сложных задач он должен прежде попятиться,—познакомиться с более простыми химическими и физическими процессами, лежащими в основе изучаемых им жизненных явлений. Только несоблюдением этого основного требования можно себе объяснить то неудовлетворительное состояние, в котором еще находятся многие отрасли физиологии растений.

Прежде всего остановимся на вопросе: эта физиологическая роль хлорофилла,—т.-е. его участие в процессе разложения углекислоты,—связана ли она вообще с его цветом? а вслед за тем уже зададим себе другой, более определенный вопрос: могло ли бы это вещество в такой же степени исполнять свою роль в растении, если б оно было иного цвета?

Для разрешения этой двойной задачи мы должны, как только что сказали, на некоторое время покинуть область физиологии растений и вступить в более общую область фотохимии, т.-е. того отдела физической химии, который трактует о химическом действии света и который, как мы заметили ранее, несмотря на значительные технические успехи, еще очень мало подвинулся с точки зрения своей теории.

Разложение углекислоты светом, очевидно, только частный случай фотохимического действия, случай самый важный из всех нам известных, потому что от него зависит существование органического мира, — но, до настоящего времени, далеко не достаточно понятый и известный, главным образом, потому, что большинство ботаников, бравшихся за его изучение, не обладали необходимыми для того знаниями физики, а химики и физики недостаточно знакомы с фактами, уже приобретенными в ботанике [1]).

Фотохимия пока еще очень бедна определенными, точными законами, но, тем не менее, они уже начинают выясняться из прежнего нестройного хаоса фактов. Первый закон, в настоящее время не подлежащий сомнению, тот, что не существует, как еще недавно полагали, каких-либо особых химических лучей, а что, напротив, все лучи спектра, как видимые, так и невидимые, простирающиеся по обеим сторонам видимого спектра, в известных случаях способны вызывать химическое действие. Теперь в этом уже никто не сомневается, но еще не так давно существовало убеждение, что химическое действие вызывают только лучи синие, фиолетовые и так называемые ультра-фиолетовые, т.-е. невидимые, лежащие за фиолетовым концом спектра. Это мнение возникло из того факта, что внимание химиков и физиков было сосредо-

[1]) Как на доказательство справедливости этих слов, могу указать на „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ (Учебник общей химии) Оствальда. Книга эта считается лучшим трактатом по физической химии, а между тем параграфы, посвященные этому вопросу, указывают на недостаточное знакомство автора с литературой предмета и на отсутствие критической оценки приводимых фактов.

точено исключительно на небольшом числе химических явлений, вызываемых светом, и, главным образом, на тех явлениях, которые лежат в основе искусства фотографии, т.-е. на явлениях химического разложения, вызываемого светом в хлористых, бромистых и иодистых солях серебра. Кто заглядывал в темную комнату фотографа, знает, что фотограф может производить свои обыкновенные операции только при желтом свете, т.-е. при свете фонаря с желтым стеклом; в этом желтом свете отсутствуют синие, фиолетовые и ультра-фиолетовые лучи, вызывающие фотографическое действие. Еще нагляднее то же явление зависимости известного химического действия от синих и прочих лучей можно показать при помощи реакции соединения хлора с водородом. Эти два газа под влиянием света соединяются с сильным взрывом. Всего нагляднее производится опыт следующим образом: под черным сукном находится стеклянная клетка, четыре стороны которой состоят из разноцветных стекол: первое — красное, второе — желтое, третье — зеленое, четвертое—синее. Под клеткой стеклянная трубочка со смесью хлора и водорода. Если поднять сукно со стороны красного стекла и поднести зажженную проволоку магния, — никакого результата не оказывается. Повторяют то же, поднося горящий магний последовательно к желтому и зеленому стеклу,—результата нет. Но как только поднесут горящую проволоку к синему стеклу, раздается взрыв, подобный пистолетному выстрелу, и если поднимем теперь клетку, то увидим, что под ней не осталось и следа стеклянной трубочки, — она разбилась в мельчайшие дребезги. Вот эти-то и подобные им случаи привели первоначально ученых к убеждению, что только половина спектра, проходящая через синее стекло (т.-е. лучи синие, фиолетовые и темные за их пределом), вызывает химическое действие, — желтая же его половина, проходящая через желтое стекло (т.-е. зеленые, желтые, красные и темные за их пределом), неспособна его вызывать. Но позднее целый ряд явлений вынудил отказаться от этого воззрения. Стоит указать на самый разительный пример. Мы только что говорили, что фотографическое действие обыкновенно обнаруживается исключительно в синей половине спектра, но новейшие успехи фотографии доказали возможность фотографировать и при помощи зеленых, желтых и красных лучей. Мало того, известный английский теоретик — фотограф Абней — достиг того, что мог сфотографировать в совершенной темноте котелок с горячей водой. Следовательно, даже те невидимые лучи, которые испускаются в темноте нагретым телом, могут уже, при известных условиях, вызывать фотографическое действие. Значит, не существует специальных лучей, которые исключительно вызывали бы химическое действие, и эту роль совершенно напрасно долго приписывали только синим, фиолетовым и т. п. лучам. Но, пока были в этом убеждены, считали очевидным, что от этой же синей половины спектра (условимся ее так называть для краткости) должно зависеть и разложение углекислоты. Это мнение высказывали в сороковых годах Дюма и Буссенго и, несколько позднее, Гельмгольтц; это воззрение можно было встретить в химических и физических сочинениях еще недавно, несмотря на то, что уже в тридцатых и сороковых годах два ученых, англичанин Добэни и американец Дрэпер,



доказали, что разложение углекислоты зависит от другой половины спектра,—будем ее называть желтой,—т.-е. именно от того желтого света, который не оказывал действия в фотографии.

Когда убедились в невозможности установить аналогию между разложением углекислоты и фотографическим действием света, обратились за сравнением в другую сторону,—прибегли к другой и, как оказалось, еще менее удачной аналогии. Не действует ли свет на растение именно как свет, т.-е. так, как он действует на глаз? не будут ли наиболее действительными именно те лучи, которые представляются и глазу наиболее яркими? Известно, что относительная яркость различных лучей возрастает, начиная с красного конца спектра, достигает наибольшей силы в желто-зеленой части и оттуда снова убывает к сине-фиолетовому концу. Самыми яркими, следовательно, представляются желто-зеленые лучи, и если свет разлагает углекислоту в силу своей яркости, то именно эти лучи должны оказывать наибольшее действие. Дрэпер предпринял ряд опытов и полагал, что ему удалось доказать справедливость этого предположения, что разложение углекислоты зависит от яркости света и происходит всего сильнее в желто-зеленой части, быстро ослабевая к обоим концам спектра, т.-е. как в сторону красной, так и в сторону сине-фиолетовой части.

Это мнение господствовало в науке более четверти века, т.-е. до 1869 года, когда, убедясь в его теоретической несостоятельности, я доказал на опыте его фактическую неверность. Нетрудно убедиться в теоретической несостоятельности этого воззрения. Именно его я имел в виду, говоря несколько выше о том, как опасны при изучении жизненных явлений растения слишком поспешные аналогии с явлениями животной жизни. В самом деле, понятие о яркости света чисто субъективное, вне глаза, в природе не имеющее смысла. Даже различные глаза выносят совершенно различные впечатления об относительной яркости цветов,—стоит вспомнить дальтонистов, глаза которых нечувствительны к известным цветам; мало того, всякий нормальный глаз после приема сантонина [1]) становится менее чувствителен к синему цвету. Итак, световое, в тесном смысле слова, напряжение лучей, или их относительная яркость, в природе, помимо глаза, не существует; это — только субъективное впечатление нашего зрительного аппарата, откуда совершенно нелогично ожидать, чтобы это свойство играло роль в объективных явлениях внешнего мира — в химическом процессе, совершающемся в растении. Для растения света, как света, не существует, а следовательно, и не существует степеней яркости. Прилагая к растению наши представления о свете, мы впадаем в невольную, но, тем не менее, грубую логическую ошибку, по привычке, безотчетно перенося известные понятия из одной области явлений в другую, к которой они совсем неприменимы. В упомянутом исследовании я не только доказал неверность результатов Дрэпера, но и объяснил причину его ошибки, а своими опытами показал, что главное действие на разложение углекислоты оказывают не самые яркие, желтые, как утверждал Дрэпер, а гораздо менее

[1]) Вещество, получаемое из так называемого цытварного семени.

яркие — красные лучи. Позднее Бонье подтвердил ту же мысль очень наглядным образом; он показал, что невидимые для глаза ультрафиолетовые лучи, сконцентрированные собирательным стеклом, могут, хотя и очень слабо, разлагать углекислоту в растении—значит, между яркостью и даже видимостью света и его действием на разложение углекислоты, как и следовало ожидать, не существует никакой связи.

Итак, разложение углекислоты зависит не от тех лучей, которые действуют в фотографии, и не от тех, к которым особенно чувствителен глаз,—а от лучей красных и смежных с ними оранжевых. Но если различные лучи спектра вызывают различные химические явления, то от чего же зависит, что в одном случае действуют одни лучи, в другом—другие,—в фотографии синие, в растении красные. Очевидно, что причину этого различия должно искать в природе самого изменяющегося или, как выражаются, чувствительного к свету вещества. Здесь выясняется второй основной фотохимический закон. От природы самого тела, т.-е. от его цвета, зависит, какого рода лучи будут оказывать на него действие. В тридцатых годах Гершель, а еще ранее Гротгус высказали основное правило, что действовать могут только лучи, поглощаемые данным телом. А если эти лучи поглощаются, потухают, то, очевидно, они будут отсутствовать в том свете, который пропускается или отражается этим телом, — этот свет будет цвета суммы остальных лучей спектра, т.-е. цвета дополнительного. Так, напр., если тело желтого цвета, то это значит, что лучи дополнительного цвета, т.-е. синего, поглощены телом, и мы должны ожидать, что именно эти лучи будут действовать на него химически, и т. д. Правило это очевидно само по себе; оно вытекает, как необходимое следствие, из закона сохранения энергии. Световая энергия, производящая работу, должна затрачиваться, следовательно, исчезать как свет; те же лучи, которые прошли чрез тело и вышли из него не затрачиваясь, очевидно, не могли и произвести химической работы. Утверждать противное, значило бы отрицать закон сохранения энергии, и, однако, подобные заявления могут еще встречаться в ходячих ботанических сочинениях [1]).

Таким образом, зная цвет тела, мы можем вперед сказать, какие лучи будут вызывать в них химические изменения, какие не будут. Если тело желтое, оно будет разлагаться синими и смежными с ним лучами; если оно синее, то на него будет, наоборот, действовать желтая половина спектра. Пример этого правила мы только что видели: хлор—газ желтого цвета, потому и соединение его с водородом зависит от лучей дополнительного цвета, т.-е. синих. Но еще точнее узнаем мы, какие лучи действуют, изучая спектр тела. Если мы перед спектроскопом поставим раствор какого-нибудь цветного тела, то на месте тех лучей, которые задерживаются, поглощаются этим телом, в спектре получаются перерывы, темные полосы,—это полосы поглощения. Зная положение этих полос, мы можем вперед сказать, что именно в этих лучах

[1]) Напр., Детмер, развивая теорию Сакса о роли света в явлениях гелиотропизма (т.-е. влияния света на искривления растений), утверждает, что свет мог бы действовать в абсолютно прозрачном теле, т.-е. вовсе не поглощаясь.



спектра должно ожидать химического действия света. Это правило особенно убедительно оправдалось по отношению к растению. В 1873—75 годах при помощи исследования процесса разложения углекислоты листьями в спектре,—исследования, в котором мне удалось избежать ошибок предшествовавших (и последующих) наблюдателей,—я мог объяснить результаты, полученные мною, как мы видели, еще в 1869 году, т.-е. объяснить, почему именно разложение происходит всего сильнее в красной части спектра. В этой части спектра хлорофилла лежит самая черная, самая характеристическая его полоса поглощения. Мы можем в этом убедиться и под микроскопом, если получим в поле микроскопа маленький спектр. Зерно хлорофилла, прозрачно-зеленое в зеленой части спектра, становится черным, как уголь, как только мы его передвинем в известную полосу красной части спектра. Эти лучи хлорофилл поглощает; эти лучи он и затрачивает на разложение углекислоты в живом растении, и при этом, чем сильнее поглощение, тем сильнее разложение. Но, как мы видели, своеобразный зеленый цвет хлорофилла от того и происходит, что он поглощает известные лучи,—значит, зеленый цвет и есть то свойство, которое определяет отправление хлорофилла. Значит, мы нашли звено, связывающее цвет растения с его главным отправлением — его способностью разлагать углекислоту при помощи света. Зеленый цвет и усвоение углерода растением не два эмпирически только связанные факта, как это тщетно пытаются еще утверждать некоторые ботаники, а два явления, находящиеся в необходимой, вполне нам понятной и точными опытами доказанной причинной связи [1]).

Но, строго говоря, высказанная в такой форме эта связь между поглощением света хролофиллом и действием света на углекислоту представляет еще логический пробел. Когда мы видим, что желтый, следовательно, поглощающий синие лучи хлор под влиянием этих самых лучей вступает в реакцию, смысл этой связи нам понятен, но еще спрашивается, какая связь между цветом хлорофилла — одного тела и разложением углекислоты — совсем другого и к тому же бесцветного тела? Аналогия пока, очевидно, еще не полная. Этот пробел, этот скачок мысли был заполнен успехами новейшей фотографии, почему, вслед за открытием этих фактов в фотографии, я и поспешил указать на их важное значение для физиологии растений. Фогель открыл любопытнейший факт, сделавший переворот во всей практике фотографии. Если к обыкновенным фотографическим препаратам, т.-е. серебряным солям, прибавить какое-нибудь цветное тело, поглощающее и такие лучи, по отношению к которым серебряные препараты сами прозрачны, то фотографическое действие обнаруживается и в тех лучах, которые поглощаются подмешанным цветным телом. Другими словами, оказывается, что действие света может как-то передаваться от одного тела к другому. Поглощается свет одним телом, а разлагается другое тело.

[1]) Позднее мне удалось доказать тот же факт и еще иным способом. См. мою книгу „Усвоение света растением“ и статью в Comptes Rendus Французской академии 23 июня 1890. Настоящий сборник, III часть.

Движение, сотрясение, сообщенное частицам одного, сообщается и частицам другого. Бекерель показал далее, что таким цветным телом может быть и спиртовой раствор хлорофилла, и в настоящее время существует даже особый фотографический прием, основанный на этом свойстве хлорофилла. Но если хлорофилл в фотографическом процессе может передавать действие поглощаемых им лучей частицам серебряной соли, вызывая ее разложение, то естественно, что он может оказывать такое же действие и в растении на частицы углекислоты, вызывая их разложение. Все такие тела, передающие световое действие другим телам, делающие их чувствительными к лучам, к которым сами по себе эти тела не чувствительны, называются оптическими сенсибилизаторами [1]). Хлорофилл, очевидно, должен быть отнесен к числу этих сенсибилизаторов. Благодаря открытию этой роли хлорофилла, как сенсибилизатора, оправдалась и та аналогия, которую, как мы видели, пытались установить, но безуспешно, еще в сороковых годах Дюма, Буссенго и Гельмгольтц. Эти ученые полагали, что те же лучи должны действовать и в фотографии и в растении, но это предположение не оправдалось. Теперь, как я показал, оно оказывается вполне верным; если сенсибилизатором, чувствительным веществом, в фотографическом процессе будет хлорофилл, то фотографический процесс будет зависеть от тех же самых лучей, от которых зависит физиологический процесс в живом листе.

Значит, первый из поставленных вопросов уже нами разрешен: цвет хлорофилла—зеленый цвет растительности—не случайное, побочное какое-нибудь свойство, а именно то из физических средств растения, с которым существенно связано физиологическое его отправление [2]).

Теперь этот факт нам представляется чем-то даже очевидным a priori [3]), чем-то таким, чего и следовало ожидать: в самом деле, если главное отправление растительного организма зависит от света, то очевидно, что и главную особенность растения должно искать в его оптических свойствах.

Значит, важнейшее из отправлений растения находится в прямой связи с его цветом, но из этого еще не следует, что этот цвет должен быть именно зеленый. Вопрос, таким образом, еще суживается и сводится к следующему: могло ли бы растение быть и какого иного цвета, или этот именно зеленый цвет, т.-е., выражаясь точнее, этот именно характеристический спектр хлорофилла представляет особое для него значение.

Лучи, поглощаемые хлорофиллом, т.-е. соответствующие черной полосе в его спектре,—отличаются ли они чем-нибудь от остальных

---

[1]) В отличие от химических с., ускоряющих химическое действие света, не поглощая последний. Ботаники, как, напр., проф. Лепешкин, до сих пор этого различия не понимают (см. его „Курс физиологии растений“).

[2]) Этим я не хочу сказать, чтобы и другие, напр., химические, свойства хлорофилла не играли роли в его отправлении, а только желаю указать на то, что оптическому свойству, цвету, следует приписать существенную роль, определяющую самое отправление его. В пигменте крови, напр., цвет является свойством побочным, сопровождающим, а не определяющим его отправление.

[3]) Заранее, т.-е. на основании чего-нибудь уже установленного, доказанного.



лучей спектра, и может ли отличающее их качество послужить ключем для объяснения их роли в процессе разложения углекислоты?

До сих пор мы рассматривали, от какого свойства тел зависит их способность разлагаться под влиянием света; теперь посмотрим, от какого свойства самого луча зависит его способность вызывать это разложение. Мы уже видели неудачу и логическую несостоятельность попытки найти связь между этой способностью лучей и их яркостью. Оставалось другое объяснение, то, которое я высказал еще в 1869 году и которое, несмотря на его прямое противоречие с известными тогда эмпирическими фактами, оказалось совершенно верным. Случай сам по себе назидательный. В науке, особенно в физиологии растений, нередко существует какой-то суеверный страх перед тем, что величают названием факта. Теория, самая очевидная, отбрасывается в сторону, как только на ее пути становится самый ничтожный факт. Не дают себе труда пристально вглядеться в этот факт; не разбирают, что в этом факте—фактического и что составляет только толкование наблюдателя. Забывают, что всякая теория (я разумею серьезную научную теорию, а не те, лежащие за пределом опыта, фантастически трансцедентные построения, какими изобилуют произведения современных немецких физиологов)—забывают, говорю, что всякая научная теория не только факт, но и совокупность многих фактов, а свидетельство многих всегда заслуживает большего доверия, чем свидетельство одного. Теория, т.-е. совокупность наших знаний о химических явлениях, заставляла предполагать, что разложение углекислоты, как явление, сопровождаемое энергическим поглощением тепла, будет зависеть именно от теплового напряжения лучей. Но, когда я приступил к изучению этого вопроса, против такого предположения говорили решительно все факты. Ботаники утверждали, что разложение углекислоты зависит от желтых лучей, а физики принимали, что наибольшим тепловым напряжением обладают темные, невидимые лучи, лежащие за красным концом спектра. Ботаникам я возражал, что их факты основаны на экспериментальной ошибке, — и, произведя точное исследование, избежав этой ошибки, действительным фактом доказал, что самое энергичное разложение углекислоты вызывается не желтыми, а красными лучами. Физикам я напоминал, что господствующее воззрение, будто наибольшим тепловым напряжением обладают темные лучи, основывается на недоразумении, что на основании имеющихся в науке данных еще нельзя заключить, какие лучи или, точнее, какие световые волны обладают наибольшим тепловым напряжением, т.-е. в состоянии вызвать наибольший тепловой эффект. Я утверждал, что это еще открытый вопрос и что обладающими наибольшим тепловым напряжением могут оказаться именно те красные лучи, которые, поглощаясь хлорофиллом, вызывают разложение углекислоты. Появившиеся почти десять лет спустя исследования американского физика Ланглея и английского Абнея вполне подтвердили верность моего предположения. Но для того, чтобы объяснить, как могло случиться такое коренное изменение в воззрениях физиков, полезно несколько ближе, хотя по необходимости очень кратко и поверхностно, разъяснить сущность дела. Для разрешения

вопроса, какой световой волне соответствует наибольший тепловой эффект, мы должны белый луч света разложить на его составные части—волны различной длины, из которых он состоит, т.-е. получить спектр. Спектр можно получить двумя путями: при помощи призмы или при помощи так называемых решеток. В последнем случае заставляем луч проходить чрез стекло, покрытое тончайшими штрихами, или заставляем его отразиться от зеркальной металлической поверхности, также изборожденной параллельными тончайшими штрихами. Подобная решетка, изготовленная под руководством американского физика Роланда и представляющая одно из чудес современной механической техники, на протяжении каждого дюйма имеет 14.500 штрихов. Отраженный от нее луч дает в средине белое изображение щели, через которую пропущен этот луч, и по обе стороны ряды блестящих спектров, яркость которых убывает по мере удаления от этого среднего изображения щели. Рядом с этим спектром решетки, или нормальным, как его называют физики, отбросим на тот же экран спектр, полученный при помощи призмы. Прежде всего мы увидим, что призматический спектр, полученный от того же источника света, чрез ту же щель, гораздо ярче, чем любой из нормальных спектров,—что и понятно, так как то же количество света, которое дает здесь один спектр, там пошло на образование целого ряда спектров. Но, присматриваясь внимательнее, мы заметим, что спектр нормальный и спектр призматический представляют не только различие в яркости, но и следующее качественное различие. Между тем как в спектре нормальном красная часть почти так же широка, как и синяя, в призматическом красная сравнительно узка, а синяя очень широка, очень растянута. Это значит, что сноп цветных лучей, выходящий из призмы, рассыпается не во всех своих частях в одинаковой степени, а в синей части гораздо сильнее, чем в нормальном спектре, в красной, наоборот, слабее. Постараюсь пояснить сравнением. Представим себе сделанный из черной и цветной бумаги веер. Слева черная бумага — это, положим, темные тепловые лучи, затем идут по порядку слева направо, как в спектре, цвета: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый и опять черная бумага, изображающая невидимые лучи другого конца спектра, т.-е. ультра-фиолетовые. Веер сделан так, что, когда он распущен равномерно во всех частях, протяжение различных цветов соответствует их протяжению в спектре нормальном; таков, следовательно, сноп лучей, образующих на экране спектр нормальный. Для того, чтобы подражать тому снопу лучей, который выходит из призмы, я должен значительно собрать красную часть моего веера (и смежную с ней черную) и, наоборот, распустить синюю и фиолетовую (и смежную с ней черную) его часть. Какую бы мы ни взяли решетку, какой бы спектр мы ни исследовали, такой ли, который образован лучами, прошедшими через стеклянную решетку, или такой, который образован лучами, отразившимися от зеркальной решетки,—относительное протяжение различных частей спектра будет одно и то же. Наоборот, относительное протяжение частей спектра призматического будет изменяться с изменением вещества призмы. В первом лучи располагаются



только в зависимости от их природы (длины волны), во втором же—еще в зависимости от природы призмы, — отсюда первый и получил название нормального. Всякий призматический спектр отличается от нормального тем, что вследствие влияния призмы лучи красной (и смежной темной) части более сближены, скучены, лучи же синей (и смежных) части более растянуты, рассеяны, чем в спектре нормальном. Отсюда понятно, что если мы желаем узнать тепловое действие отдельных световых лучей, то мы не можем для этого пользоваться спектром призматическим,—все равно, как мы не могли бы определить количество труда, произведенного отдельным рабочим, зная только совокупный труд целых артелей и не обращая внимания на то, сколько в каждой из них находится рабочих. До самого недавнего времени физики изучали распределение тепла только в призматическом спектре, и в нем наибольшее нагревание наблюдалось в темной части за красным концом, но, как мы теперь знаем, не потому, чтобы эти лучи вызывали сами по себе большее нагревание, а потому, что они здесь более скучены. Когда, благодаря усовершенствованию приемов исследования (изготовлению решеток, изобретению новых приборов для измерения малых разностей температуры и пр.), стало возможным изучить распределение тепла в спектре нормальном, тогда и обнаружилось, как я предсказывал, что наибольшее нагревающее действие оказывают волны красного цвета и именно того красного, который поглощается хлорофиллом [1]).

Таким образом, как и следовало ожидать на основании теоретических соображений, разложение углекислоты вызывается теми лучами спектра, теми световыми волнами, которые вызывают наибольшее нагревание. Не теория разбилась о враждебные факты, а неверные факты подчинились верной теории. Факт зависимости фотохимического действия от тепловой энергии луча, повидимому, применяется не к одной углекислоте. По всей вероятности, мы должны видеть в нем третий основной закон фотохимии, что действие луча зависит от его энергии [2]).

Эта зависимость разложения углекислоты от энергии луча может быть выражена в еще более наглядной и поразительной форме.

Физика учит нас, что свет есть не что иное, как волнообразное движение. Волны света, ударяясь о тела, вызывают в них то движение частиц, которое мы называем теплотой. Когда это сотрясение частиц тела достигнет известного предела, оно может иметь еще более глубокие последствия: будет нарушаться связь между составными частями химических соединений, наступит разложение этих соединений. Но какие же волны всего вероятнее будут вызывать это разрушение? Мы знаем, что буря тем опаснее, чем выше валы, чем учащеннее их удары. Оказывается, что то же буквально верно и в применении к действию света на разложение углекислоты. Физикам давно была известна длина световых волн, скорость их распространения, а следовательно, и число волн в секунду, но только после упомянутых уже исследований о ра

---

[1]) То же самое достигается и путем вычисления на основании точных о ний тепла в спектре призматическом.

[2]) См. мою статью „Фотохимическое действие крайних лучей видим Труды Физич. отд. Общ. Люб. Ест., т. V.

пределении тепла в нормальном спектре явилась в первый раз возможность определить их относительную высоту (или, выражаясь научным языком, их относительную амплитуду). Сделав такое вычисление, я получил поразительный результат, что самые высокие волны оказываются именно в той красной части спектра, которая вызывает самое энергичное разложение углекислоты, т.-е. в той части, которая поглощается хлорофиллом. Таким образом, оказывается, что растение опередило открытие физиков; из бесчисленных световых волн, бегущих от солнца и ударяющихся о поверхность нашей планеты, оно улавливает своими хлорофилловыми зернами именно те, которые обладают наибольшей высотой и вследствие этого наиболее способны вызывать химическое действие—разложение углекислоты.

Значит, лучи, поглощаемые хлорофиллом, отличаются от всех остальных наибольшею пригодностью для потребностей растения. Значит, хлорофилл не выполнял бы своего отправления с таким же совершенством, если бы поглощал не те лучи, которые поглощает. Значит, отправление хлорофилла прямо зависит от его своеобразного спектра, то-есть, другими словами, от его характеристического зеленого цвета. Мы получаем, следовательно, вполне определенный ответ на наш вопрос. Зеленый цвет не случайное только свойство растения. Оно зелено потому, что от этого именно цвета зависит его важнейшее отправление. В зеленом цвете, этом самом широко распространенном свойстве растения, лежит ключ к пониманию главной, космической роли растения в природе [1]).

Можем ли мы, однако, вполне удовлетвориться этим ответом? Может ли физиолог сложить руки, почесть свою задачу исчерпанной? Сказано ли этим последнее слово о хлорофилле? Конечно, нет. Потребуются еще поколения ученых, быть может, второе столетие, пока будет сказано это последнее слово. Но что же будет означать это последнее слово? А вот что: физиологи выяснят в малейших подробностях явления, совершающиеся в хлорофилловом зерне, химики разъяснят и воспроизведут вне организма его процессы синтеза, имеющие результатом образование сложнейших органических тел, углеводов и белков, исходя из углекислоты; физики дадут теорию фотохимических явлений и выгоднейшей утилизации солнечной энергии в химических процессах; а когда все будет сделано, то-есть разъяснено, тогда явится находчивый изобретатель и предложит изумленному миру аппарат, подражающий хлорофилловому зерну,—с одного конца получающий даровой воздух и солнечный свет, а с другого — подающий печеные хлебы. И тогда всякому станет понятно, что находились люди, так настойчиво ломавшие себе головы над разрешением такого, казалось бы, праздного вопроса: почему и зачем растение зелено?

Но единственная ли это будет польза, которую принесут эти вековые исследования? Точно ли в одних открытиях, увеличивающих

[1]) Достойно удивления, как мало еще известно это важное значение зеленого цвета растений. Даже такой выдающийся ученый, как Уоллес, в своей книге „Darwinism“ говорит, что зеленый цвет растений такой же простой факт, как и цвет минералов, и, очевидно, никакого биологического значения не имеет.



материальное благосостояние, сумму жизненных удобств, заключается высшее оправдание и доказательство полезности изучения природы? Так думают, конечно, только те, кого не коснулась эта строгая школа, эта высшая дисциплина человеческого ума. Не так думал Сенебье, о котором мы так часто упоминали. В его научной деятельности есть еще замечательная черта. Занимаясь исследованием частных явлений, делая свои открытия, он никогда не упускал из виду методологической стороны экспериментального изучения природы, как высшей практической школы логики. Первым его литературным произведением было появившееся в 1767 г. исследование, под заглавием: „Essai sur l'art d'observer et de faire des expériences“ [1]), излагающее общие приемы исследования природы, поясненные многочисленными примерами из классических трудов знаменитых натуралистов. Сделавшись сам блестящим исследователем, он снова возвращается к излюбленной теме, но на этот раз небольшая книга разрастается до трех томов. „Более четверти столетия самостоятельных исследований,—говорит он в предисловии, — отделяют эти два издания и ручаются за бóльшую зрелость высказываемых мыслей; действительно, производя все свои отдельные исследования, я никогда не терял из виду их отношения к общим методам научного исследования,—мысль, которая едва ли часто приходит в голову исследователям, всецело поглощенным интересом задачи“. Конечно, чтение этой книги в настоящее время не представляет такой пользы, как изучение позднейших и более талантливых произведений Гершеля, Милля, Клода Бернара и др., но, тем не менее, она содержит много полезных и светлых мыслей. Особенно симпатична заключительная глава, где Сенебье, как позднее Кювье, обращаясь к молодому поколению, увещевает учащихся,—независимо от того, для какой практической деятельности они себя готовят,—закалить свой ум, воспитать в себе чувство правдивости в этой школе изучения природы, где мысль на каждом шагу контролируется фактом, где человек вернее, чем в какой иной области знания, научается высшему из искусств, искусству, равно необходимому и в науке и в жизни,—искусству искать и находить истину.

[1]) Об искусстве наблюдать и делать опыты.

# II. Растение как источник силы [1]).

Разве заронился
Втуне хоть единый
Солнца луч на землю?
Или не возник он,
В ней преображенный,
. . . . . .
В изумрудных листьях.

*Щербина.*

Всякому известно и не только известно, но и вполне понятно, что если человек будет голодать, то он похудеет. Этот факт не только общеизвестен, но и общепонятен, потому что, путем простейшего рассуждения, легко логически связать эти два явления—исхудание с отсутствием пищи. Тело человека, как все на свете, изнашивается, расходуется; этот расход покрывается пищей. Не трудно себе представить, что вещество пищи превращается в вещество нашего тела, хотя, быть может, пройдет еще много времени прежде, чем наука объяснит все подробности этого превращения.

Не менее известна, но уже далеко не так понятна, другая сторона действия пищи, другое ее влияние на организм. Отсутствие или недостаток пищи вызывает упадок сил. Голодное животное, голодный человек бессильны. С пищей возвращается и сила. Пища подкрепляет. Чем значительнее работа, которую производит организм, тем более он нуждается в пище. Всякий знает, что если лошади предстоит усиленная работа, то этому можно помочь, увеличив дачу овса. Факт общеизвестен, но для его объяснения уже недостаточно одной сообразительности.

Итак, мы видим, что пища не только служит для построения живого механизма нашего тела, но она же приводит в движение этот механизм. Питаясь, человек или животное не только поддерживают свое тело, что само собою понятно, но и свои силы, что уже требует пояснения. Спрашивается: какая сила может быть скрыта в куле овса, в куске хлеба или мяса? Ответ на этот вопрос далеко не так прост, да и самый вопрос, быть может, не всякому приходил в голову.

Чтобы получить удовлетворительный ответ на этот вопрос, необходимо познакомиться со свойствами растительного вещества и с условиями его происхождения. Мы говорим—растительного вещества, так как

[1]) Публичная лекция, читанная в И. Техническом Обществе в С.-Петербурге в 1875 году.



понятно, что животная пища косвенно происходит из растительной. Мясо не что иное, как переработанная животным организмом трава или зерно.

Но прежде чем приступить к нашей задаче, необходимо условиться относительно точного значения некоторых употребленных нами выражений. Во-первых, что мы разумеем под словом сила? Постараемся выяснить это на нескольких примерах. Такой способ изложения научных истин, конечно, нельзя считать самым точным, но зато это самый легкий и скорый и потому в настоящем случае самый желательный.

Понятие о силе человек выносит из собственного опыта, из личных своих ощущений. Силой он называет сознаваемую в себе способность вызывать или останавливать движение или вообще преодолевать препятствия. Распространяя это понятие на внешнюю природу, он называет силою или силами неизвестные ему причины явлений, т.-е. вообще движения. Познакомимся с несколькими примерами проявления силы, начиная с наиболее нам знакомой, с силы наших мышц.

Представим себе два шара, удерживаемые в положении C и $O^2$ посредством двух стальных пружин, на которые они насажены.

Для того, чтобы раздвинуть эти шары, привести их в положение C′ и $O'^2$, я должен сделать усилие, затратить силу. Преодолевая сопротивление пружин, отрывая один шар от другого, я, как выражаются в механике, произвожу работу. Подобную же работу я произвожу, когда, подымая тяжесть, преодолеваю ее стремление упасть на землю, так сказать, отрываю ее от поверхности земли. Поднятие тяжести представляет нам простейший пример работы; такова, например, работа крючника. Известно, что в подобной работе истрачивается тем более сил, чем больше поднимаемая тяжесть и чем более высота, на которую ее нужно внести. Поднятие единицы веса, т.-е. фунта, пуда, килограмма, на единицу высоты, т.-е. фут, метр и проч., служит единицей работы: пудо-фут или килограммометр будут, следовательно, единицами механической работы, с которыми мы стараемся сравнить, к которым мы приводим всякую другую работу.

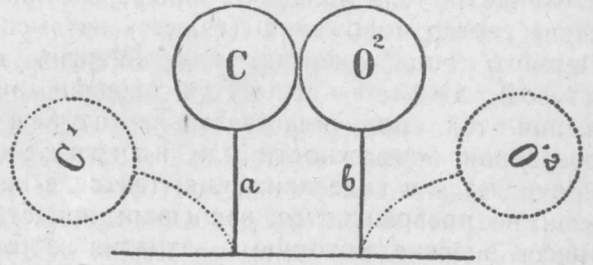


Рис. 1.

Итак, раздвинув эти шары, я произвел работу и при этом затратил известное количество силы, которое измеряется производимою работой. Эти шары на пружинах представляют нечто вроде простейшего динамометра, т.-е. прибора, служащего для измерения силы. Но посмотрим, что произошло с нашими шарами. Изменилось их взаимное положение, а вместе с тем в них появилась возможность притти в движение без всякой посторонней силы. Я только отнимаю руки, следовательно, не делаю никакого усилия, и шары приходят в движение и, возвращаясь в прежнее свое положение, с силой ударяются друг о друга. Очевидно, в том положении, в которое я привел их своими руками, в них заклю-

чается сила, которой в первоначальном положении в них не было; она находится в скрытом состоянии и в каждый момент готова обнаружиться в виде движения.

Этот простой пример наглядно показывает нам два различных состояния, два, так сказать, типа силы: силу явную, открытую, активную, проявляющуюся в движении (моей руки, шаров), и силу скрытую, покоящуюся в виде запаса, одним словом, силу натянутой пружины. Озираясь вокруг, мы на каждом шагу замечаем подобные же явления: сила падающей тяжести и сила тяжести, могущей упасть, сила спущенной и сила натянутой тетивы — вот примеры явной и покоящейся силы; наконец, упавшая тяжесть, свободно висящая тетива не заключает вовсе силы ни в действии, ни в виде запаса.

Но очевидно, что эти два типа силы существенно между собою отличны; во втором случае собственно нет силы, а только возможность ее проявления. Для избежания неясности вследствие обозначения одним словом двух различных понятий лучше употреблять более общее выражение—энергия. Под энергией мы будем вообще разуметь способность тела произвести работу. Но этою способностью, как мы только что видели, тела обладают или вследствие своего движения, или вследствие своего положения (тяжесть на высоте, наши раздвинутые шары). Первого рода энергия, т.-е. энергия движения, получила название явной, действительной энергии; энергия же, зависящая от положения тел, получила название потенциальной, т.-е. энергии в состоянии возможности или напряжения. Таким образом, энергия проявляется в виде движения, таится в виде напряжения. Оба вида ее взаимно превращаются; наши шары представляют наглядный тому пример. Явная энергия, которую я затратил на разъединение шаров, не исчезла, а превратилась в потенциальную энергию, в напряжение пружин. В таком виде я могу ее запасать, сохранять и затем, когда понадобится, истрачивать, превращая обратно в явную энергию, в движение, и притом вдруг или исподволь. Подобный запас энергии мы делаем каждый день, заводя свои часы; явная энергия заводящей руки превращается в потенциальную энергию часовой пружины, которая затем исподволь в течение суток принимает форму явной в движении стрелок. Нечто подобное же производит человек, делающий запас на старость или на черный день; он превращает избыток явной энергии, механической или умственной, в потенциальную с тем, чтобы воспользоваться ею, расходовать ее, когда истощится его явная энергия. Куда бы мы ни взглянули, везде в природе мы встречаем те же явления превращения движения в напряжение и наоборот. Имея постоянно в виду это превращение, мы вскоре убеждаемся, что энергия вообще не возникает, не исчезает, что она вечна. Другими словами, мы убеждаемся, что все количество работы, которое в каждый момент совершается и может быть совершено во вселенной силами природы, не прибывает и не убывает, а пребывает одно и то же. Это самое широкое физическое обобщение, получившее название закона „сохранения силы“ или, правильнее, „сохранения энергии“, представляет едва ли не величайшее научное приобретение XIX века.



Нередко представляется случай, где, повидимому, этот закон не оправдывается; кажется, что энергия уничтожается, движение не превращается в напряжение, а исчезает бесследно. Именно такой случай мы имеем в наших шарах. Я их разъединяю и затем отпускаю руку; они ударяются, и в этом ударе, повидимому, расходуется вся энергия, сообщенная им моею рукой; нет в них более движения, нет и возможности движения, т.-е. напряжения; очевидно, энергия исчезла. Но это только так кажется. В тот момент, когда шары ударились, когда исчезло движение, возникла, проявилась другая сила—теплота. Ударившись, шары нагрелись. Доказать это в настоящем частном случае было бы несколько хлопотливо, потому что повышение температуры незначительно, но в том что тела от удара нагреваются, не может сомневаться никто, когда-либо высекавший огонь. Примеры этого перехода попадаются на каждом шагу: при сверлении металла металл, стружки и сверло сильно нагреваются; трением куска дерева о кусок дерева можно их воспламенить; из-под тормаза быстро остановленного поезда сыплются искры; пуля, ударяясь о твердую преграду, отчасти сплавляется. Эти явления превращения механической силы в теплоту давно обращали на себя внимание; они побудили, например, знаменитого Бойля, более, чем два века тому назад, высказать мысль, получившую полное научное развитие только в настоящее время. „Когда мы вгоняем большой гвоздь в деревянную доску,—пишет Бойль,—то замечаем, что ему нужно сообщить значительное число ударов, чтобы заметно нагреть его; но, когда мы его вогнали в дерево до головки, так что он не может более подаваться вперед, нескольких ударов достаточно, чтобы сделать его горячим; пока с каждым ударом молотка гвоздь уходит глубже и глубже в дерево, мы вызываем общее поступательное движение всей его массы; но когда это движение будет задержано, тогда толчек, сообщаемый ударом, не будучи в состоянии вогнать гвоздь далее или раздробить его, должен расходоваться на сильное внутреннее сотрясение частиц, а из подобного движения, как мы видим, состоит теплота“. Современная физика действительно учит, что теплота—не что иное, как весьма быстрое, невидимое, но ощущаемое нами сотрясение частиц тела. Таким образом, движение моей руки чрез посредство видимого движения шаров превратилось в невидимое движение частиц шаров. Это движение, т.-е. теплота, сообщилось сначала ближайшим телам и затем, распространяясь далее и далее, рассеялось в пространстве. Рассеялось, но не уничтожилось. Сила, затраченная мною на разъединение шаров, не исчезла бесследно. В конечном результате, произведя эту работу, я согрел вселенную на неуловимую, неизмеримо малую величину, но все же согрел. Целый ряд исследований показал, что при этом превращении механической работы в теплоту или, наоборот, теплоты в механическую работу, наблюдается постоянное строго количественное соотношение. Известное количество механической работы, превращаясь, дает начало одному и тому же количеству теплоты, и наоборот. Величину, выражающую это постоянное соотношение, называют механическим эквивалентом теплоты. Его определяют различным способом. Вот простейший и самый понятный, хотя и не самый точный. Он принадлежит известному французскому ученому Гирну. В общих

чертах он состоит в следующем: тяжелый железный молот заставляют падать с известной высоты на наковальню, на которой лежит кусок свинца; этот кусок свинца от удара нагревается. За единицу работы, как мы видели, мы принимаем килограммо-метр; за единицу тепла принимают нагревание одного килограмма воды на один градус стоградусного термометра. Зная вес молота и высоту его падения, зная вес свинца и определив, насколько он нагрелся, обладая, далее, еще некоторыми данными, о которых здесь излишне упоминать, можно вычислить, сколько единиц работы затрачено и во сколько единиц тепла они превратились. Точные определения дают для механического эквивалента теплоты цифру 427. Эта цифра показывает то постоянное отношение, в каком теплота превращается в механическую работу или наоборот. Она означает, что единица тепла, превращаясь в работу, дает 427 единиц механической работы, т.-е. может произвести работу, равную поднятию 427 килограммов на один метр или одного килограмма на 427 метров. Наоборот, затратив 427 единиц механической работы на нагревание воды, мы можем повысить температуру одного килограмма ее на один градус.

Мы видим много примеров превращения механической силы в теплоту; примеры обратного также часто встречаются. Паровая машина служит самым разительным тому примером. Теплота, развиваемая сгорающим топливом, превращается чрез посредство пара в механическую работу машины. Солнечная теплота испаряет воду с поверхности земли, заставляет ее подняться на значительную высоту и затем, падая на землю, сбегать с высот в равнины и океан, производя на пути механическую работу, например, приводя в движение наши мельницы. Та же солнечная теплота, вызывая местное нагревание атмосферы, производит те ужасающие проявления механической силы, которые мы называем вихрем, ураганом и пр.

Итак, теплота превращается в механическую работу и наоборот, и при этом превращении сохраняется строго количественное отношение. Но то же справедливо и относительно других сил природы: света, электричества, химического сродства. Все они способны ко взаимному превращению непосредственно или принимая скрытую форму напряжения и затем проявляясь в ином виде. Только постоянно имея в виду эту возможность взаимного превращения сил, мы убеждаемся в общей справедливости закона сохранения энергии.

Остановимся некоторое время на соотношении между теплотой и химическим сродством, так как это нечувствительно вернет нас к поставленному нами вопросу. Современная химия учит, что атомы разнородных тел одарены притяжением друг к другу и притом в весьма различной степени. Атомы разнородных тел стремятся друг к другу, как падающие тела стремятся к земле, как эти шары действием пружин стремятся друг к другу. Наша модель собственно и должна наглядно изобразить нам этот химический факт. Шар, означенный буквой С, представляет нам углерод, шар О—кислород. Атомы углерода и кислорода стремятся ко взаимному соединению и при этом образуют углекислоту, в которой на один атом углерода приходится два атома кислорода ($CO_2$). Также атомы водорода (Н) стремятся соединиться с атомами кислорода



и образуют воду ($H_2O$), где на два атома водорода — один кислорода. Напротив, атомы углерода и водорода одарены сравнительно слабым притяжением друг к другу и потому, будучи соединены, при первой возможности стремятся каждый соединиться с кислородом, образуя углекислоту и воду.

При этом соединении атомы так же, как и эти шары, должны ударяться друг о друга. Но когда тела ударяются друг о друга, развивается теплота. То же должно оправдываться и относительно ударов атомов. Этот удар, это столкновение частиц углерода и водорода с частицами кислорода и есть то, что мы называем горением. Как при ударе стали о кремень проявляются теплота и свет, так при ударе частиц кислорода воздуха о частицы углерода и водорода, из которых состоит наш светильный газ или наш керосин, развиваются теплота и свет, наблюдаемые в их пламени. Все различие состоит в том, что в первом случае мы видим движение, удар, и сопровождающие его явления—свет и теплоту; во втором же только видим эти явления, о существовании же столкновения заключаем из его последствий. В самом деле, до горения мы имеем углеводород (т.-е. соединение углерода с водородом), светильный газ или керосин, и кислород,—после горения имеем углекислоту и воду.

Следовательно, каждый атом углерода, водорода или их соединений находится по отношению к кислороду в положении шара С′ относительно шара О′². Как эти шары, они находятся в напряженном состоянии, представляют запас скрытой потенциальной энергии, которую мы и называем химическим сродством или химическим напряжением. В разрозненных атомах углерода и кислорода мы видим новый пример скрытой энергии положения, которая при столкновении их, в явлениях горения, переходит в энергию движения—в теплоту и свет.

Это напряженное состояние атомов или частиц углерода, это стремление их навстречу частицам кислорода не поражает нас, не бросается нам в глаза в повседневной жизни, потому что обыкновенно для того, чтобы вызвать это соединение, необходимо сообщить им толчок. Для того, чтобы сжечь кусок угля, его нужно поджечь, т.-е. процесс горения должен ему сообщиться извне. Но это присущее углероду стремление соединяться с кислородом нагляднее проявляется в явлениях самовозгорания. Давно было, например, известно, что сопревшее в стогах сено способно само собою загореться, но только в недавнее время один подобный случай был ближе исследован в Германии. При раскопке больших куч сена, начало самовозгорания которого обнаружилось выходившим из него дымом, оказалось, что внутри кучи оно уже совершенно обуглилось, и что этот рыхлый, блестящий, на подобие графита, уголь вспыхивал при первом прикосновении с воздухом. Затем оказалось, что подобный самовозгорающий уголь может быть приготовлен искусственно, если обугливать сено в отсутствии воздуха, например, в запаянной стеклянной трубке. Приготовленный таким образом уголь воспламеняется, как только придет в прикосновение с воздухом. Эти и подобные примеры наглядно показывают, что горение, т.-е. соединение

с кислородом, может происходить само собою, т.-е без предварительного поджигания.

Углерод и водород способны каждый порознь соединяться с кислородом, развивая при этом теплоту и свет; следовательно, они представляют нам запас энергии в виде химического напряжения. Но то же справедливо и относительно соединения углерода и водорода, относительно всякого вообще тела, способного соединяться с кислородом, т.-е. способного гореть. Тела, из которых состоят растения и животные,—все органические тела,—способны гореть, следовательно, представляют запас скрытой энергии.

Этим запасом мы пользуемся, сжигая дрова или уголь в наших машинах. При этом скрытая энергия химического напряжения превращается в явную энергию, в движение частиц, т.-е. теплоту, которая в свою очередь переходит во внешнюю механическую работу, в видимое движение масс, например, в движение нашего локомотива.

Но это столкновение атомов углерода и водорода с атомами кислорода может и не сопровождаться таким очевидным освобождением силы, как в процессе горения; они могут соединяться, не обнаруживая света, не развивая очень высокой температуры. Это происходит, когда соединение совершается не вдруг, а медленно, исподволь. Как в том, так и в другом случае количество тепла, освобождаемого сгоранием известного количества углерода, будет одно и то же; но так как в последнем случае оно распределяется на более продолжительное время, то оно будет менее заметно; примером такого тихого горения может служить дыхание. Все, что дышит, человек или животное, медленно сгорает. В этом не трудно убедиться, стоит только поставить под стеклянный колокол горящую свечу или посадить живую мышь или птицу, и вскоре увидим, что последствия будут одни и те же: свеча погаснет, животное умрет, а в воздухе, содержавшем прежде кислород и не содержавшем углекислоты, появится углекислота, а количество кислорода соответственно уменьшится. Следовательно, углерод всякого животного организма постоянно соединяется с кислородом воздуха, сгорая в углекислоту. Мы вдыхаем кислород, выдыхаем углекислоту.

Для покрытия этого постоянного расхода своего тела, человеку необходимо принимать новыя количества вещества в виде пищи. Часть пищи играет в организме такую же роль, как топливо в машине, т.-е. сгорает, конечно, не прямо, а сначала превратившись в вещество нашего тела. То, что теряется для организма как вещество, выигрывается как сила. Мы можем, говорит знаменитый физиолог Клод Бернар, считать физиологическою аксиомой следующее положение: всякое проявление деятельности в живом организме необходимо связано с уничтожением части вещества организма. В организме, как в очаге машины, часть вещества сгорает; при этом обнаруживается теплота или эта теплота превращается в механическую работу, например, в работу мышц. В одном фунте пшеничного хлеба, по определению Франкланда, заключается запас скрытой энергии, равняющийся приблизительно 75.000 пудо-футов. Конечно, организм так же, как и машина, не в состоянии превратить в полезную работу



весь запас энергии, представляемой его топливом, т.-е. окисляющимися частями организма; физиологические опыты показывают, однако, что в этом отношении он далеко превосходит все паровые машины.

---

Мы подвинулись в разрешении поставленного нами вопроса настолько, что уже знаем, какого рода сила заключается в пище: это скрытая энергия ее углерода и водорода, всегда готовых соединиться с кислородом воздуха. Здесь на пути нашего исследования сам собою возникает новый вопрос. Дрова горят, животные горят, человек горит, все горит, а между тем не сгорает. Сжигают леса, а растительность не уничтожается; исчезают поколения, а человечество живо. Если бы все только горело, то на поверхности земли давно не было бы ни растений, ни животных, были бы только углекислота да вода.

Очевидно, в природе должно существовать явление, обратное горению, т.-е. превращение веществ вполне сгоревших в вещества вновь способные к горению. Рядом с образованием углекислоты должен существовать и обратный процесс разложения этой углекислоты, образованной повсеместным горением.

Первый, кого поразила логическая необходимость существования в природе подобного процесса, был знаменитый Пристли; но само собою понятно, что эта мысль не могла представиться ему в такой форме, с такою определенностью, с такою очевидностью, как она представляется нам, и тем более возбуждает удивление та блестящая дедукция, тот гениальный скачек мысли, которому мир обязан одним из величайших открытий, касающихся жизни органического мира. Пристли целым рядом опытов убедился, что продолжительное горение или продолжительное дыхание в ограниченном объеме воздуха делают этот воздух негодным для дальнейшего горения, для дальнейшего дыхания; свеча в нем тухнет, животное умирает. Таким образом, рассуждал Пристли, вся атмосфера должна была бы вскоре сделаться непригодною для горения, для жизни, а между тем сколько уже веков существует мир, а этого незаметно. Очевидно, в природе должен существовать процесс, который этот испорченный воздух вновь превращает в хороший. Не принадлежит ли эта роль растению? В 1772 году 18 августа Пристли сделал следующий опыт: под стеклянный колпак помещенный над водой, под которым потухла свеча или задохлась мышь, он ввел растение (мяту) и оставил его несколько времени; растение не только не погибло, но даже продолжало развиваться, и когда, по прошествии нескольких дней, под колпак была помещена мышь или горящая свеча, то оказалось, что воздух действительно изменился получил вновь способность поддерживать горение и дыхание. Едва ли когда-либо в какой-либо области знания более простой опыт сопровождался более колоссальным результатом. Одним разом определялись самые характеристические стороны жизни растений и животных и взаимное отношение двух царств природы. Современники оценили всю важность открытия Пристли. Королевское общество присудило ему большую Коплейскую медаль, и президент Общества, Прингль, в следующих

красноречивых, хотя несколько витиеватых, выражениях пояснил всю громадность заслуги Пристли: „Это открытие, — сказал он, — убеждает нас, что не существует бесполезных растений. Начиная с величественного дуба и кончая последнею мелкою былинкою, все полезны для человека. Если не всегда бывает возможно усмотреть частную пользу отдельного растения, то во всяком случае, как часть общего целого, оно участвует в очищении атмосферы; в этом отношении и благоухающая роза и ядовитая волчья ягода имеют одинаковое назначение; в самых отдаленных, необитаемых краях света нет ни одного луга, ни одного леса, которые не находились бы в постоянном с нами обмене; ветер постоянно уносит к ним испорченный у нас воздух, поддерживая их рост и обеспечивая нашу жизнь". Растение делает испорченный дыханием воздух вновь пригодным для дыхания,—вот был вывод из опыта Пристли. Последовавшее затем открытие кислорода и разъяснение состава углекислоты дозволили выяснить природу этой связи между двумя органическими царствами. Животное поглощает кислород и выдыхает углекислоту; растение поглощает углекислоту и выдыхает кислород, удерживая углерод при себе. Растение и животное представляют химическую антитезу. Вслед за тем целый ряд исследований показал, что этот процесс разложения углекислоты, очищающий воздух, имеет еще другое, даже более важное значение. Его следует рассматривать как процесс питания растения. Углерод, остающийся в растении, образует его органическое вещество, т. - е. служит для построения его тела. Следовательно, в атмосферной углекислоте мы должны видеть главнейшую пищу растения, хотя еще долгое время эту роль продолжали приписывать черным перегнойным веществам почвы, но несостоятельность этих воззрений доказана несомненными опытами. Пристли, однако, пришлось испытать одно из самых горьких разочарований, какое только может выпасть на долю ученого. Желая впоследствии повторить опыт, доставивший ему такую громкую и заслуженную славу, он потерпел неудачу; он не мог получить прежних результатов; растения упорно не хотели разлагать углекислоты; не выделяли из нее кислорода. Хотя эти неудачи не пошатнули его собственного доверия к прежним опытам, но тем не менее стало очевидно, что от его внимания ускользнуло какое-то существенное условие опыта, и потому он не мог его воспроизвести. Это условие, упущенное Пристли, было вскоре открыто Ингенгузом; но для того, чтобы оценить это открытие по достоинству, остановимся сначала несколько подробнее на природе самого явления.

Обратимся снова и в последний раз к нашим шарам. Мы сравнивали химическое соединение или горение с ударом двух шаров; теплота и свет, при этом освобождающиеся, и служат мерой сродства или напряжения, то-есть взаимного стремления этих тел (что у нас представляется натяжением пружин). Для того, чтобы их вновь разъединить, разорвать связь между ними, для того, чтобы привести шары в прежнее свободное положение, нужно, напротив, затратить силу, столько же силы, сколько освободилось при столкновении. Таким образом, становится очевидным, что явление, обратное горению, должно сопровождаться не освобождением, не развитием силы, а, напротив, поглощением, затратой силы. Между тем как соединение, горение, совершается само собою, разложение, восстановление требует участия посторонней силы. Для того, чтобы сжечь кусок угля, его нужно только поджечь, и затем он горит уже без постороннего действия. В некоторых случаях мы видели, что уголь может даже загореться сам собою, как только придет в прикосновение с кислородом воздуха. Напротив того, для разложения углекислоты или воды нужно подвергать их действию очень высокой температуры. Прежде даже полагали, что разложение таких прочных соединений невозможно иначе, как при содействии третьего тела, которое было бы одарено большим сродством к кислороду и отнимало бы его у водорода и углерода. Но в сравнительно недавнее время химики обратили внимание на явления разложения без участия третьего тела, на явления распадения, или, как их называют, диссоциации. Для того, чтобы подвергнуть диссоциации углекислоту или воду, их нужно пропускать чрез раскаленные трубки. Под влиянием сообщаемого их частицам движения, то-есть теплоты, соединения как бы расшатываются и распадаются на свои составные начала, которые должны быть удаляемы по мере появления, иначе они могут вновь соединиться, и мы не получим полного разложения. Отношение между теплом, выделяемым при соединении, и теплом, поглощаемым при разложении, строго определенное. Сколько единиц теплоты выделяется при сгорании фунта углерода в углекислоту, ровно столько же единиц должно поглотиться при восстановлении этого фунта углерода из углекислоты.



Этим путем мы прямо приходим к заключению, что разложение углекислоты, совершающееся в растении, должно сопровождаться поглощением теплоты или вообще энергии и что мерой этого поглощения должно служить количество углерода, отлагающееся таким образом в растении. Но откуда же возьмет растение эту необходимую для него энергию? Само создать оно не может,—энергия не созидается. Очевидно, оно должно получить ее извне. Разложение углекислоты в растении может происходить только под условием постоянного притока энергии из внешнего источника. Вот это-то условие и ускользнуло от внимания Пристли; открытие этого условия составляет заслугу Ингенгуза. Ингенгуз показал, что разложение углекислоты в растении происходит не иначе, как под влиянием солнечного света. Растения в последних опытах Пристли, вероятно, не получали достаточно света, потому они и не разлагали углекислоты.

Солнце, солнечный луч, и есть та сила, которая расшатывает и разъединяет частицы углерода и кислорода, когда в растении происходит разложение углекислоты. Для непривычного слуха может показаться странным выражение: солнечный луч—сила. Из ежедневного опыта мы знаем только, что очень приятно погреться на солнце, что порою эта теплота становится, пожалуй, более, чем приятною, но нужно длинное сцепление умозаключений и вычислений, чтобы убедить нас, что это не только сила, но и громадная сила, мало того, что это почти единственная сила, которою человек пользуется для своих целей. В самом деле, кроме силы морского прилива, которым пользуются в нескольких портах Европы и который зависит от притяжения луны (и

солнца), все остальные двигатели, все остальные источники силы прямо или косвенно зависят от силы солнечных лучей. Падение воды в реках, движение воздуха в атмосфере, приводящие в движение мельницы и ветрянки, обязаны своим происхождением солнцу. Скрытая энергия, представляемая топливом, как мы только что успели увидеть и увидим еще подробнее, происходит от солнца. Даже столь отдаленные, повидимому, явления, как явления электрические, которыми мы пользуемся для своих практических целей, могут быть связаны с деятельностью солнца. В вольтовой дуге, получаемой при помощи гальванической батареи, нам светит солнце, и это не трудно доказать. Электрический ток, накаливающий угли, зависит от того, что в батареях окисляется, сгорает известное количество металлического цинка. Но этот цинк не находится в природе в металлическом состоянии, он встречается в соединении с кислородом, то-есть вполне сгоревшим; для того, чтобы его раскислить, сделать вновь способным к горению, нужно отнять у него кислород; этого достигают при помощи угля, который отнимает у цинковой руды кислород, а сам сгорает в углекислоту. Но этот уголь, древесный или каменный, произошел в растении из углекислоты, разложенной солнечным лучом. Вот длинный путь, соединяющий луч солнца с лучом электрического света. Явная энергия солнечного луча, потраченная на разложение углекислоты в растениях, приняла форму скрытой потенциальной энергии, какою обладает освобожденный из углекислоты углерод; эта потенциальная энергия углерода, в процессе восстановления цинковой руды, перешла в цинк; углерод сгорел, но получился металлический цинк, способный гореть. В гальванической батарее цинк окислился, сгорел, и его потенциальная энергия приняла форму явной в виде электрического тока, который, накалив угли, проявился в виде света. Такова сложная цепь превращений энергий, связывающая явления, совершающиеся на земле, с деятельностью солнца. Но мы можем составить себе более определенное понятие о значении солнечного лучеиспускания, сделав примерную оценку того количества силы, которое доставляется нам солнцем. Мы можем определить, какое количество единиц тепла солнце посылает на известную квадратную площадь земли, а зная механический эквивалент теплоты, мы в состоянии выразить энергию солнечного луча в единицах механической работы. По вычислениям Мушо, солнечный свет, выпадающий в Париже в ясный день на поверхность одного квадратного метра, может в течение восьми или десяти часов производить работу, равняющуюся, примерно, работе одной лошадиной силы. Эриксон вычислил, что если бы можно было утилизировать всю солнечную теплоту, выпадающую на крыши филадельфийских домов, то ее было бы достаточно для 5.000 паровых машин в 20 сил каждая. Вычисляя далее, какие колоссальные цифры представляет количество тепла, выпадающего на квадратную милю, он восклицает „Архимед при помощи рычага брался поднять мир. Я же утверждаю, что, концентрируя солнечную теплоту, можно получить силу, способную остановить землю на ходу“. Мушо и Эриксон не ограничились, впрочем, только цифрами: они представили опыты, наглядно показывающие, какой запас силы представляют солнечные лучи. Мушо сделал несколько очень простых приборов, в которых, при помощи одной солнечной теплоты, можно кипятить воду, варить суп и овощи, печь хлеб; наконец, они сделали несколько паровых и воздушных машин, приводимых в движение солнцем. Из всех применений солнечного света, предлагаемых Мушо, едва ли не всего интереснее солнечные насосы для орошения полей. Эти насосы не только действуют даровою силой, но и действуют вполне целесообразно, то-есть регулируются самою потребностью в воде, так как дают тем более воды, чем сильнее освещение, а следовательно,— чем сильнее засуха *).



Всего сказанного достаточно, чтобы убедить нас, что солнечный свет представляет могучий источник силы и что эта сила разлагает в растении углекислоту. Самое растение не в состоянии дать необходимую для того силу; оно служит, если можно так выразиться, только механизмом, приводом для приложения силы солнца.

Следовательно, и в физическом, как и в химическом, отношении растение представляет совершенную противоположность животному. Жизнь растения представляет постоянное превращение энергии солнечного луча в химическое напряжение; жизнь животного, наоборот, представляет превращение химического напряжения в теплоту и движение. В одном заводится пружина, которая спускается в другом.

---

Не следует, однако, думать, чтобы значение солнечного света стало понятно, как только Ингенгуз открыл факт его участия в процессе разложения углекислоты. Прошло более полстолетия, прежде чем выработалось настоящее научное, механическое представление об этом процессе. Этим успехом наука, главным образом, обязана Майеру и Гельмгольтцу. Между тем как прежде могла быть речь только о каком-то непонятном благотворном влиянии света, Майер первый ясно высказал мысль, что солнечный свет при этом не только влияет, но и в буквальном смысле затрачивается, расходуется, поглощяется растением, что живая сила луча при этом превращается в химическое напряжение, что этим запасом солнечной энергии мы пользуемся в нашем топливе, в жизненных процессах нашего организма и т. д. Но предоставим лучше ему самому говорить своим несколько витиеватым, но красноречивым, образным языком. „Природа, — говорит он, — повидимому, поставила себе целью уловить на лету изливающийся на землю свет и, обратив эту подвижнейшую из всех сил в неподвижную форму, в таком виде сохранить ее. Для достижения этой цели она облекла земную кору организмами, которые в течение жизни поглощают солнечный свет и на счет этой силы образуют непрерывно накопляющийся запас химического напряжения. Эти организмы — р а с т е н и я. Растительный мир представляет склад, в котором лучи солнца задерживаются и запасаются для дальнейшего полезного употребления. От этой экономической заботливости природы зависит физическое существование человечества, и уже один взгляд на роскошную растительность вызывает инстинктивное чувство благосостояния“.

*) См. мою брошюру: „Борьба растений с засухой“. Москва, 1893 г. Новое издание 1922 г.

Таким образом, в разложении углекислоты и образовании органической массы растения мы имеем все условия какого-нибудь технического производства. Мы имеем двигатель — солнечный луч, машину, к которой прилагается этот двигатель,—растение, сырой материал — углекислоту, обработанный продукт—органическое вещество растения.

Рассмотрим поближе самый механизм этого процесса.

Познакомимся прежде всего с источником силы, с солнечным лучем. Известно, что луч солнечного света или какого другого белого источника не однороден; он состоит из множества разнородных лучей, отличающихся между прочим своим цветом. Обыкновенно различают лучи семи цветов. Цвета эти—цвета радуги: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Это разложение белого цвета на его составные семь цветов производится всего проще при помощи стеклянной призмы. Если в оконной ставне на солнечной стороне сделать небольшое отверстие, то проникающие чрез него солнечные лучи дадут на полу изображение солнца в виде светлого солнечного пятна; но если пред отверстием поставить призму ребром вниз, то изображение переместится на стену, и, вместо круглого пятна, получится полоса, окрашенная в только что перечисленные семь радужных цветов: с одного края будет красный, с другого — фиолетовый. Эта радужная полоса называется спектром. Когда луч белого цвета падает на поверхность какого-нибудь тела, он отчасти или вполне поглощается. Если все лучи будут поглощены телом, то поверхность будет черною; если все лучи будут отражены в одинаковой степени, то поверхность будет белою. Если же часть лучей будет поглощена, часть отражена, то тело будет окрашено в цвет тех лучей, которые, отражаясь от тела, попадут нам в глаз. То же справедливо и относительно прозрачных тел: если тело поглощает все лучи, оно не прозрачно, черно; если оно пропускает все лучи, оно вполне прозрачно, бесцветно, как вода или стекло. Если же тело задерживает одни лучи и пропускает другие, то оно будет окрашено в цвет тех лучей, которые оно пропускает. Если луч, отраженный от цветного тела или прошедший чрез цветное тело, будем разлагать призмой, то, очевидно, получим уже не полный семицветный спектр, а такой, в котором поглощенные лучи будут отсутствовать.

Подобное явление представляет нам растительность. При ярком, белом солнечном свете лес или луг представляются нам зелеными; ясно, что, получая белый свет, отражая зеленый, лист должен был поглотить, удержать часть полученного света.

Прежде чем делать из этого факта какой-нибудь вывод, посмотрим ближе, от чего зависит зеленый цвет листьев. Какую бы зеленую часть растения мы ни стали исследовать под микроскопом, мы вскоре убеждаемся, что она сама по себе бесцветна; она состоит из пузырьков, называемых клеточками, стенки которых прозрачны, как стекло, а наполняющая их жидкость бесцветна, как вода. Но в этой жидкости заключены тельца или крупинки ярко-изумрудного цвета. Эти тельца, носят название хлорофилла или листо-зелени. Этим крупинкам хлорофилла растение обязано своим зеленым цветом, подобно тому как кровь обязана своим цветом плавающим в бесцветной пасоке кровяным шари-



кам. Теперь посмотрим, что станется с лучем солнца, когда он упадает на поверхность зеленого листа; какие лучи пройдут через лист, какие задержатся в нем? Для этого стоит только пропустить луч света через лист и затем разложить этот луч призмой, и тотчас увидим, какое изменение произойдет в спектре. Те лучи, которые будут отсутствовать в спектре, то-есть те, вместо которых в спектре будут черные промежутки, очевидно, остались в листе, поглотились его веществом. Мы можем сделать этот опыт еще точнее: так как цвет растения зависит от хлорофилла, мы постараемся изучить поглощение света хлорофиллом. Хлорофилл можно извлечь из листьев спиртом. Всякому известно, что настойка на зверобойных, полынных и других листьях окрашивается в превосходный зеленый цвет; это — цвет хлорофилла. Следовательно, вместо почти непрозрачных листьев, мы можем взять для опыта совершенно прозрачный настой хлорофилла. Этот раствор в стеклянном сосуде мы поместим на пути светового луча и затем разложим этот луч призмой. Вот какой спектр представит нам луч света, прошедший чрез яркий зеленый раствор хлорофилла. Крайние красные лучи (от A до B рис. 2) пройдут, не поглощаясь; на месте же самых ярких красных, оранжевых и части желтых в спектре будет черная полоса (рис. 2 от B до D) [1]); зеленые лучи (от D и немного правее b) не будут поглощены, в спектре будет яркая зеленая полоса; синие и фио-

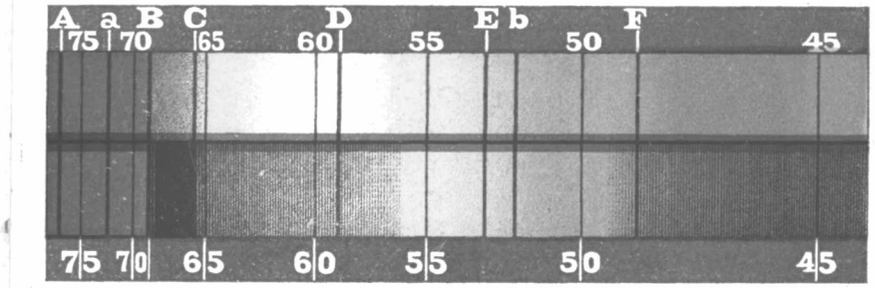



Рис. 2.

летовые лучи будут также поглощены. Следовательно, вместо всех семи цветов, в спектре хлорофилла мы увидим только полосу темно-красного цвета и другую — ярко-зеленого цвета; обе полосы будут разделены черным промежутком. Из этого мы можем заключить, что получаемый нами от растения зеленый цвет не чисто зеленый, а смесь зеленого и красного. В справедливости этого можно убедиться весьма простым и любопытным опытом. Самое обыкновенное, встречающееся в продаже синее стекло, поглощая зеленые лучи, пропускает часть красных. Понятно, что если смотреть чрез стекло на зеленую растительность, то оно, поглощая посылаемые в наш глаз зеленые лучи, будет допускать

[1]) Рис. 2 представляет изображение солнечного спектра и спектра поглощения хлорофилла. Самая черная часть лежит в красной части спектра. Фотографирование этих спектров до последнего времени представляло значительные трудности. Летом 1893 года мне удалось получить вполне удовлетворительные фотографии, которые и были мною показаны на съезде естествоиспытателей и врачей в Москве, в январе 1894. Буквы обозначают так называемые Фрауенгоферовы линии солнечного спектра.

до него только красные. Немецкие оптики воспользовались этим фактом для того, чтобы предложить публике, под несколько замысловатым названием эритро-фитоскопа, довольно забавный инструмент. Это просто синие очки, но стоит их только надеть, и весь мир представляется „в розовом свете“. Под ясным синим небом развертывается фантастический ландшафт с кораллово-красными лугами и лесами. На этот факт не мешало бы обратить внимание иным живописцам, нередко угощающим в своих ландшафтах невозможною, никогда не виданною малахитовою зеленью. По всей вероятности, в этих неудачных попытках художники стремятся изобразить возможно чистый зеленый цвет, между тем как цвет растительности именно смешанный, зелено-красный [1]).

Но вернемся к нашей цели. Мы желали узнать, какие лучи света поглощаются растением, и узнали, что хлорофилл поглощает известные красные, оранжевые и желтые лучи, вследствие чего в его спектре на этом месте появляется черная полоса. Тот же факт можно проверить над отдельным хлорофилловым зерном под микроскопом. Вместо того, чтобы прокладывать спектр на стене, можно при помощи собирательного стекла получить его под микроскопом, и в этом спектре, величиною с булавочную головку, рассматривать крупинку хлорофилла. Мы тогда увидим, что эта крупинка представится прозрачною зеленою в зеленой части спектра, прозрачною красною в крайней красной и совершенно непрозрачной, черной как уголь, в тех красных лучах (обозначенных на рис. 2 буквами ВС), которые поглощаются раствором. Значит, и живые крупинки хлорофилла поглощают эти лучи.

Итак, известные солнечные лучи, упав на растение или, точнее, на заключающиеся в его клеточках крупинки хлорофилла, поглощаются, скрываются, перестают быть светом. Но ведь энергия не исчезает, она может только превращаться, производить работу, переходя при этом в состояние напряжения. Какую же работу будут производить эти лучи в растении? Вспомним, что мы пришли только что к заключению, что солнечные лучи должны производить в растении работу разложения углекислоты. Естественно рождается вопрос, не будет ли эта работа происходить именно на счет лучей, поглощаемых хлорофилловыми зернами? Это предположение приобретает еще более вероятия, когда узнаем, что хлорофилловое зерно и есть тот орган, тот прибор, в котором происходит разложение углекислоты. Уже Пристли заметил, что разложение углекислоты, выделение кислорода, происходит только в зеленых частях растения, то-есть в листьях или в зеленых стеблях. Он мог даже прямо указать, что это действие принадлежит зеленому веществу. Если оставить в светлом месте сосуд с водою или каким-нибудь настоем, то на стенках этого сосуда вскоре появляется зеленый налет. Теперь мы знаем, что этот налет состоит из микроскопических растений, водорослей; во время Пристли это не было известно, и налет этот так

[1]) Не обладая необходимыми техническими сведениями, конечно, трудно дать в этом отношении какой-нибудь определенный совет. Из всех минеральных зеленых красок хромовая зелень всего ближе подходит по спектру к хлорофиллу, так как ее зеленый цвет состоит из смеси красных и зеленых лучей. Очевидно только то, что из смеси желтой и синей (спектрально синей) краски нельзя получить зеленый цвет, сходный с зеленью листвы.



и называли „материей Пристли“. Пристли мог показать, что эта материя выделяет кислород. Этот опыт уже показывал, что и вне листа или стебля зеленое вещество разлагает углекислоту, что именно ему следует приписать эти отправления. Но потом возникли новые сомнения: существуют растения не зеленые и тем не менее разлагающие углекислоту; таковы многочисленные красные, черные и другие пестролистные растения, в последнее время более и более завоевывающие наши цветники и оранжереи; таковы также бурые и красные водоросли, населяющие морское дно. Но и здесь дело объяснилось очень просто. В пестролистных растениях цвет зависит от присутствия в соке клеточек ярких растворов, которые маскируют, скрывают зеленые зерна хлорофилла, но под микроскопом эти зерна не трудно обнаружить. Еще легче обнаружить их следующим образом: стоит обмакнуть красный или почти черный лист какого-нибудь Coleus или другого пестролистного растения в слабый раствор сернистой кислоты, и он тотчас позеленеет. Это зависит от того, что сернистая кислота, обесцвечивая красный раствор, не действует на хлорофилл. Несколько труднее было доказать присутствие хлорофилла в морских водорослях. В них и под микроскопом нельзя было найти зеленых крупинок, все они окрашены в бурый или красный цвет, но химическим путем можно было доказать, что эти крупинки содержат зеленый хлорофилл, только скрытый другим веществом. Впрочем, гуляя по берегу моря, не трудно в этом убедиться простейшим наблюдением. Выброшенные на берег и разлагающиеся водоросли нередко представляют все переходы от свойственных им цветов к зеленому; это зависит от того, что в мертвых растениях яркие цветные вещества вымываются водой, между тем как хлорофилл не растворяется. Итак, разложение углекислоты происходит только в частях, заключающих хлорофилловые зерна. Это правило не представляет исключения. В хлорофилловом зерне мы должны видеть, как сказано выше, тот аппарат, тот механизм, к которому прилагается сила солнечного луча. Весьма любопытно было проверить на опыте справедливость высказанного предположения, не будет ли разложение углекислоты происходить именно на счет лучей, поглощаемых хлорофиллом. Для этого стоило только повторить опыт Пристли одновременно в различных

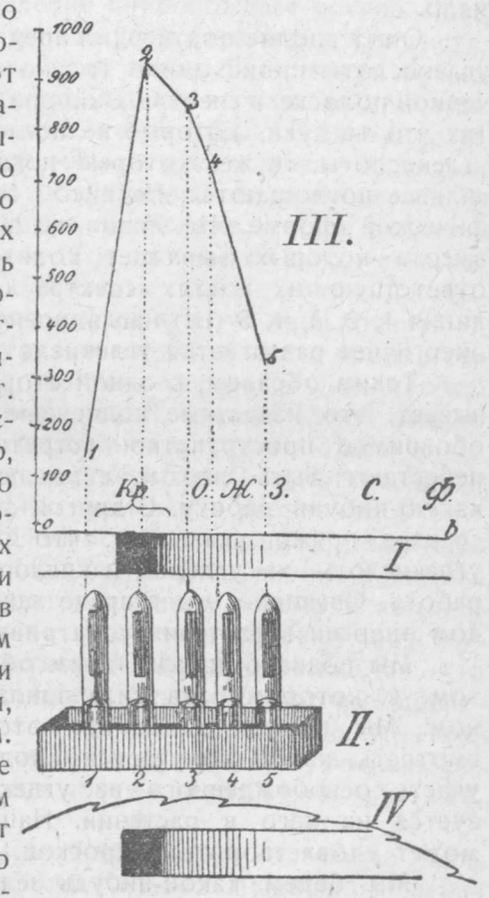



Рис. 3.

частях спектра. Опыт произведен был следующим образом: взят ряд стеклянных трубочек (рис. 3, II, 1, 2, 3, 4, 5), наполненных смесью воздуха с несколькими процентами углекислоты и заключавших по одному зеленому листу одинаковой величины и с одного и того же растения; этот ряд трубочек выставлен в солнечный спектр, полученный в совершенно темной комнате, и, по прошествии нескольких часов, посредством анализа газов определено, в каких трубках разложилась углекислота, в каких нет, в каких разложилось ее много, в каких мало.

Опыт вполне подтвердил предположение. Оказалось, что разложение углекислоты происходило только в тех лучах, которые соответствуют черной полоске в спектре хлорофилла (рис. 3 I, кр.—и рис. 2 между B и D), так что те лучи, которые не поглощаются хлорофиллом, не разлагают углекислоты, те же, которые поглощаются, разлагают тем сильнее, чем сильнее поглощаются. На рис. 3 III это показано в так называемой графической форме. На линии ab восставлены (точками) перпендикуляры, высота которых выражает количество углекислоты, разложенной в соответствующих частях спектра (I) в трубках 1, 2, 3, 4, 5 (II). Ломаная линия 1, 2, 3, 4, 5 (III) наглядно показывает, в какой части спектра всего энергичнее разлагается углекислота.

Таким образом, с одной стороны, спектральное исследование показывает, что известные солнечные лучи, пролетевшие без изменения необозримое пространство, встретив на своем пути зерно хлорофилла, перестают быть светом, скрываются, производя при этом, конечно, какую-нибудь работу. С другой стороны, только что описанный опыт в спектре прямо указывает, что именно эти лучи вызывают разложение углекислоты на углерод и кислород, затрачиваются на эту химическую работу. Очевидно, мы в праве заключить, что между приходом и расходом энергии в растении усматривается полная соответственность.

Мы познакомились, таким образом, с источником силы и с аппаратом, к которому эта сила прилагается, то-есть с хлорофилловым зерном. Мы видели, какая при этом производится работа, остается посмотреть, какой получается продукт; остается проследить дальнейшую участь освобожденного из углекислоты углерода, узнать, что образуется из него в растении. Нашему любопытству в этом отношении может удовлетворить микроскоп.

Мы берем какой-нибудь зеленый орган, например, лист, и отрезываем от него пробу для исследования под микроскопом или, еще лучше, берем такое растительное тело, которое можно прямо наблюдать под микроскопом, таковы, например, зеленые водоросли, так называемая тина. Убедившись, что в зернах хлорофилла не заключается никаких посторонних тел [1]), мы выставляем исследуемый зеленый орган на солнце, в воздухе или искусственной атмосфере, содержащей углекислоту, то-есть помещаем его в такие условия, при которых он может разлагать углекислоту. После более или менее продолжительного действия солнца

[1]) Что достигается обыкновенно предварительным, более или менее продолжительным, выдерживанием растения в темноте.



мы вновь подвергаем хлорофилловые зерна микроскопическому исследованию и находим в них какие-то бесцветные крупинки, которых в них прежде не было. Эти крупинки состоят из крахмала, как в этом не трудно убедиться. К числу особенностей крахмала принадлежит его способность окрашиваться под действием раствора иода в темно-синий цвет. По этому-то признаку мы и узнаем его в зернах хлорофилла. В отсутствии света или углекислоты описанного появления крахмала не замечается, откуда мы в праве заключить, что появление его есть следствие разложения углекислоты. В подтверждение этого взгляда говорит еще и та быстрота, с которой одно явление сопровождает другое. Чрез несколько секунд после того, как луч солнца упал на поверхность листа, можно обнаружить разложение углекислоты, и чрез пять минут можно уже заметить появление крахмала в хлорофилловых зернах. Но эта связь двух процессов становится еще очевиднее, когда обратим внимание на химический состав крахмала. Крахмал может служить представителем, типом группы растительных веществ, получивших название *углеводов*. Углеводы состоят из углерода, водорода и кислорода; свое название они получили потому, что в них водород и кислород находятся в таком же отношении, как в воде, так что они как бы состоят из угля и воды. Для того, чтобы из углекислоты и воды образовать углевод, очевидно, нужно только отнять весь кислород углекислоты, то-есть произвести именно то, что происходит в растении, когда разлагается углекислота. Углеводы, следовательно, имеют именно такой состав, какой можно ожидать от веществ, образующихся в растении из углекислоты и воды.

Таким образом микроскоп вполне подтверждает результаты, полученные путем анализа. Когда в хлорофилловом зерне разложилась углекислота, в нем образуется углевод. Самым убедительным доказательством этой связи служит следующий опыт. На лист живого растения, предварительно лишенный крахмала, отбрасывают в темной комнате яркий солнечный спектр. Чрез несколько часов лист срывают, обесцвечивают спиртом и обрабатывают раствором иода; оказывается, что крахмал образовался только в тех частях спектра, которые поглощаются хлорофиллом, и тем обильнее, чем сильнее поглощение,—другими словами, на листе получается отпечаток спектра хлорофилла, состоящий из крахмала, окрашенного иодом почти в черный цвет (рис. 3 IV, сравни с рис. 2 и 3 I).

Группа углеводов представляет преобладающую составную часть растительной пищи: так, крахмал составляет $^3/_4$ веса пшеничного зерна и $^4/_5$ сухого вещества картофеля. Кроме крахмала, к этой группе относится много других веществ, как, например, сахар и клетчатка, то-есть то вещество, из которого состоит весь твердый остов растений, начиная с тонких былинок и кончая стволами деревьев. Все эти тела имеют сходный состав и различаются только большею или меньшею степенью уплотнения и другими физическими свойствами. Сахар, например, растворим в воде, крахмал не растворим, но сильно разбухает, образуя клейстер; клетчатка мало разбухает. В известном смысле можно сказать, что крахмал—уплотненный сахар, клетчатка—уплотненный крахмал. Из крахмала легко могут произойти другие углеводы. Сахар мы получаем

из него даже искусственным путем, приготовляя картофельную патоку. Клетчатка еще не получена из него искусственно, но, несомненно, происходит из него в растении: так, например, при прорастании хлебных зерен их крахмал превращается в клетчатку, из которой построен росток.

Вторую, после углеводов, преобладающую группу растительных веществ представляют *белковые* вещества, так названные по их сходству с яичным белком. Пшеничная мука, которую мы опять возьмем за образец растительной пищи, содержит около 17% белкового вещества, так называемой клейковины. Значит, за вычетом крахмала и белковых веществ, все остальные вещества в хлебных зернах составляют всего несколько процентов. В состав белковых веществ, кроме углерода, водорода и кислорода, входит еще азот.

Если, как мы видели, крахмал не может образоваться иначе, как при содействии света, то образование белковых веществ в растении не нуждается в свете или вообще в постороннем источнике силы. Зато оно находится в зависимости от присутствия углеводов. Стóит доставить некоторым растениям какой-нибудь углевод, например, сахар, и какой, нибудь источник азота, например, аммиак, и они вырабатывают из них хотя бы в совершенной темноте, белковое вещество. Не касаясь неразрешенного еще химиками вопроса об отношении углеводов к белковым веществам, стоя на почве строгого опыта, мы в праве сказать, что растения в состоянии произвести белковое вещество из углевода и аммиака. Физиолог может сказать химику: дайте мне сахар и аммиак и одну клеточку, и я вам дам сколько угодно белкового вещества. Конечно, такое производство может быть не было бы особенно выгодно, но для нас в настоящую минуту важен только факт, что оно теоретически возможно.

Не вдаваясь в подробности относительно происхождения других растительных веществ, менее существенных для человека, чем белковые, мы можем распространить на них то, что сказали о белковых, и, таким образом, приходим к заключению, что участие солнечного света необходимо только для образования крахмала или вообще углеводов из углекислоты и воды; все же остальные тела могут произойти и в отсутствии света.

Теперь только мы в состоянии вполне оценить значение процессов, совершающихся в хлорофилловом зерне под влиянием света.

Во-первых, с химической точки зрения, это—тот момент, когда неорганическое вещество, углекислота и вода, превращаются в органическое,—здесь лежит источник и начало всех разнородных веществ, из которых слагается весь органический мир. С другой, с физической точки зрения хлорофилловое зерно представляет тот прибор, в котором улавливаются солнечные лучи, превращающиеся в запас для дальнейшего употребления.

Растение из воздуха образует органическое вещество, из солнечного луча—запас силы. Оно представляет нам именно ту машину, которую обещает в будущем Мушо и Эриксон,—машину, действующую даровою силой солнца. Этим объясняется прибыльность труда земледельца: затратив сравнительно небольшое количество вещества, удобрения, он получает большие массы органического вещества; затратив немного



силы, он получает громадный запас силы в виде топлива или пищи. Сельский хозяин сжигает лес, стравливает луг, продает хлеб, и они снова возвращаются к нему в виде воздуха, который, при содействии солнечного луча, вновь принимает форму леса, луга, хлеба. При содействии растения он превращает не имеющие цены воздух и свет в ценности. Он торгует воздухом и светом.

Изложенными соображениями сами собою разрушаются высказываемые иногда учения о том благосостоянии, которое ожидает человечество, когда химики откроют тайну синтеза сложных органических веществ, когда они откроют способ искусственного приготовления питательных веществ. Судя по тому, что уже осуществила синтетическая химия, едва ли можно сомневаться, что будущее, может быть отдаленное будущее, осуществит эти ожидания. По крайней мере, между тем, что уже сделано, и тем, что предстоит сделать, нет такого коренного различия, которое делало бы эту надежду невероятною. Но если пища будет получаться искусственно, то не падет ли земледелие? Не утратит ли земля всякую цену? Не изменится ли весь экономический строй? Посмотрим, справедлива ли такая догадка. Мы видели, что образование органического вещества требует затраты силы. Фунт хлеба, сгорая, освобождает около 890 единиц тепла; следовательно, на его образование, все равно—естественным или искусственным путем, нужно затратить, по крайней мере, такое же количество тепла или вообще силы. Откуда же взять ее? Единственным даровым источником силы остается все то же солнце. Следовательно, нашим отдаленным потомкам для получения их искусственных питательных веществ придется все же подражать растению, покрыв поверхность земли искусственными поглотителями солнечных лучей. И нельзя сказать, чтобы это подражание было очень легко, потому что растение, с этой точки зрения, представляет весьма совершенный прибор. Простой взгляд на густую луговую траву уже убеждает, что почти всякий клочок почвы идет в дело, но вычисление доставляет еще более красноречивые данные. Так, например, вся листовая поверхность клевера в 26 раз превосходит площадь земли, занимаемую этим растением, так что десятина, засеянная клевером, представляет для поглощения лучей солнца зеленую поверхность в 26 десятин. Другие растения дают более высокие цифры. Эспарцет имеет листовую поверхность в 38, а люцерна в 85 раз более занимаемой ими площади. Смешанные травы, по всей вероятности, дали бы еще более высокие цифры.

Здесь сам собою возникает другой любопытный теоретический вопрос: можем ли мы при посредстве растения беспредельно увеличивать количество органического вещества, собираемого с известной площади? Можем ли мы надеяться, что при помощи новых улучшений будем беспредельно увеличивать производительность нашей почвы, или для нее существует предел?—Это вопрос о будущих судьбах человечества. Имеющиеся у нас данные дозволяют разрешить этот вопрос утвердительно: предел есть, и мы в состоянии даже приблизительно определить, насколько мы к нему близки. Вот каким путем достигаем мы

этого вывода. Мы уже неоднократно повторяли, что при образовании органического вещества в растении необходимо поглощается столько же тепла, сколько выделяется при сжигании этого вещества. Так, например, если какое-нибудь растение выделяет при сгорании 1.000 единиц тепла, то мы можем заключить, что при его образовании затратилось, по крайней мере, это же количество солнечной теплоты, и как бы мы ни удобряли и ни возделывали землю, если солнце не доставит этих 1.000 единиц тепла, мы не получим нашего растения.

Таким образом, зная, с одной стороны, сколько горючего вещества заключает урожай, полученный с известной площади (а это мы узнаем из анализа), зная, с другой стороны, какое количество тепла посылает солнце на эту площадь, мы имеем все необходимые данные для суждения о приходе и расходе солнечной энергии на нашем поле и, следовательно, можем заключить, какою ее частью мы пользуемся, какою еще предстоит воспользоваться. Производя такие вычисления для культур, дающих наибольшее количество органического вещества, наиболее богатую жатву, приходим к тому заключению, что наибольший ежегодный прирост вещества леса заключает в себе около $^1/_{700}$ всего количества тепла, посылаемого на соответствующую площадь земли за шестимесячный период растительности. При этом не принят во внимание прирост корней. Одна из наиболее интенсивных полевых культур—культура земляной груши — утилизирует таким образом $^1/_{180}$ всей получаемой от солнца энергии. Органическое вещество сена (райграс) и корневых остатков при самом большом сборе представляет в виде запаса $^1/_{135}$ получаемой солнечной энергии. Наконец, самые большие урожаи овса и ржи (зерно, солома и корневые остатки) представляют $^1/_{80}$ всей полученной энергии. Таким образом, при помощи растения, мы в состоянии воспользоваться примерно от $^1/_{1000}$ до $^1/_{100}$ всего количества солнечных лучей, которые выпадают на поверхность наших лесов или полей за период деятельной растительности [1]). В праве ли мы заключить из этого, что, усовершенствовав культуру, мы будем в состоянии увеличить свои сборы в 100, в 1.000 раз прежде, чем достигнем предела производительности? В состоянии ли растение превращать в запас всю получаемую энергию? Конечно, нет. Мы знаем, что никакие машины и организмы не составляют исключения из этого правила, не превращают всей получаемой силы в полезную работу, и одного этого соображения достаточно, чтобы убедить нас, что физиологический предел производительности растения не может совпадать с физическим. Против приведенных цифр, основанных на результатах различных культур, можно сделать то возражение, что хотя полевая растительность, как мы видели, и представляет очень развитую поверхность поглощения, но, тем не менее, нельзя считать, чтобы она улавливала весь падающий свет Более надежные цифры может дать в этом отношении следующий опыт. Выставляя на солнце зеленые листья с точно измеренною поверхностью, определив посредством анализа, какое количество углекислоты будет разложено этим листом при самом выгодном освещении, положим, в один час, определив, наконец, какое количество тепла выпадает в этот час на взятую поверхность листа, мы получим все данные для вычисления соотношения между приходом силы и расходом ее на разложение углекислоты. Оказывается, что на разложение тратится средним числом $^1/_{100}$ всей получаемой энергии, а в более благоприятном случае—$^1/_{55}$. По некоторым новейшим исследованиям эти цифры могут доходить до $^1/_{20}$. Эту последнюю цифру мы, вероятно, должны считать близкою к пределу физиологической производительности, так как растения были поставлены в наиболее благоприятные условия. Итак, мы видим, как близки самые интенсивные наши культуры к тому, что мы назвали физиологическим пределом, то-есть к тому наибольшему количеству органического вещества, которое можно получить с данной площади земли при посредстве растения.

[1]) Само собою понятно, что приведенные цифры не могут считаться строго точными. В особенности цифра, показывающая количество тепла, выпадающего на известную площадь, и вычисленная из данных Пулье, только приблизительно верна.



Но даже при этом пределе утилизируется всего $^1/_{100}$ и в самом выгодном случае $^1/_{20}$ получаемой энергии, и мы этому не будем удивляться, если обратим внимание, что, кроме этой единственно производительной, с точки зрения человека, работы, в растении совершаются и другие работы, для человека совершенно непроизводительные [1]). Во-первых, в течение всей своей жизни растение испаряет воду, — такие громадные количества воды, что, услыхав прямо итог, почти отказываешься верить. Для испарения этого количества воды требуется, повидимому, значительно более тепла, чем сколько затрачивается на разложение углекислоты. Следовательно, рядом с производительною работой, образование органического вещества, растение затрачивает еще более энергии на бесполезную для человека работу — испарения. Но это не единственная, хотя и самая значительная, затрата энергии в растении. Эту воду растение берет из почвы и, следовательно, должно поднять ее на известную высоту; эту работу можно выразить в пудо-футах. В наших полевых растениях она, конечно, не велика, но в древесной растительности она составляет значительную величину [2]). Можно себе представить, какую громадную работу представляет поднятие масс воды, испаряющейся в лесах каких-нибудь исполинов, вроде ново-голландских евкалиптусов, макушки которых, по словам одного ботаника, могли бы бросать тень на вершину Хеопсовой пирамиды. Конечно, не вся энергия, потребная на испарение и поднятие, происходит на счет непосредственного нагревания солнечными лучами, но все же значительная ее часть доставляется ими. К этим источникам бесполезной траты солнечной энергии должно присоединить еще следующий. Мы не в состоянии воспользоваться всем запасом органического вещества, выработанного растением в течение его жизни, потому что оно само расходует, сжигает

[1]) Еше важнее принять во внимание, что лист и не может поглощать всего солнечного света: иначе он был бы не зеленым, а черным. Новейшие исследования показывают, что лист поглощает средним числом 25% всей солнечной энергии — это физический предел; в физиологических опытах утилизируется 5%, а в поле—1%.

[2]) Поднятие соков на значительную высоту можно считать непроизводительным только с точки зрения количества получаемого вещества, зато оно важно с точки зрения качества,—оно дает нам, например, строевой и мачтовый лес.

часть этого вещества. Можно считать, что таким путем тратится до 1/20 всего вещества, так что растение, в отношении накопления органического вещества, делает постоянно двадцать шагов вперед и один назад. Все перечисленные источники траты солнечной энергии представляют нам, так сказать, издержки производства органического вещества посредством растения. Мы видим, следовательно, что растение хотя и очень совершенный аппарат для утилизирования солнечной силы, но все же оставляет еще многого желать, так как при самых благоприятных условиях оно превращает в полезную для человека работу всего 1/100 или 1/200 всей получаемой от солнца энергии. Человеку предстоит или усовершенствовать в этом отношении растение, или изобресть, взамен его, искусственный прибор, который утилизировал бы больший процент получаемой энергии и притом работал бы круглый год. Насколько успеет он на этом пути, вопрос будущего. Одно только достоверно, что, когда при помощи своих искусственных приборов он получит со всей свободной площади земли раз в 100 более органического вещества, чем сколько заключается в самой обильной жатве в настоящее время, тогда он может себе сказать, что дошел до предела; далее уже некуда итти. Тогда напрасно стал бы он просить у земли, у своего искусства еще топлива, еще пищи,—он не получит их, потому что солнце не в состоянии ему более дать. Тогда-то закон Мальтуса обнаружится во всей своей зловещей очевидности: человечеству придется вести строгий бюджет жизни и смерти; производя себе подобных, человечество будет справляться с таблицами смертности, как это уже так обязательно и предупредительно советуют заботливые экономисты. Тогда, в буквальном смысле, ни один лишний рот не найдет себе места за трапезой природы. Достигнет ли когда-нибудь человечество такого предела? Какими новыми процессами синтеза облагодетельствуют его будущие Бертло? Какими солнечными машинами снабдят его будущие Мушо и Эриксоны? Кто знает? Несомненно только одно, что земля представит тогда очень грустное зрелище. Когда человек будет утилизировать не часть, как теперь, а всю солнечную энергию, тогда вместо изумрудной зелени лугов и лесов наша планета покроется однообразною, погребально-черною поверхностью искусственных поглотителей света. Томсон предвещает, что нашей вселенной грозит неминуемая холодная смерть, что наш мир окоченеет в ее ледяных объятиях, и это предсказание, я полагаю, мало кого встревожило. Ведь это сбудется, когда нас уже не будет, а известно — aprѐs moi le déluge [1]). Но каково будет жить, когда вся земля превратится в одну всеохватывающую фабрику, из которой никогда, даже в праздник, на часок, нельзя будет вырваться in's Grüne!

Отвернемся от этой мрачно-фантастической картины, по счастию, еще очень отдаленного будущего и вернемся к поставленному нами в начале этой статьи вопросу, на который можем теперь дать полный, категорический ответ. Мы можем всего лучше это сделать в виде следующего примера. Когда-то, где-то на землю упал луч солнца, но он упал не на бесплодную почву, он упал на зеленую былинку пшеничного

[1]) После меня хоть потоп.



ростка или, лучше сказать, на хлорофилловое зерно. Ударяясь о него, он потух, перестал быть светом, но не исчез. Он только затратился на внутреннюю работу, он рассек, разорвал связь между частицами углерода и кислорода, соединенными в углекислоте. Освобожденный углерод, соединяясь с водой, образовал крахмал. Этот крахмал, превратясь в растворимый сахар, после долгих странствий по растению отложился, наконец, в зерне в виде крахмала же или в виде клейковины. В той или другой форме он вошел в состав хлеба, который послужил нам пищей. Он преобразился в наши мускулы, в наши нервы. И вот теперь атомы углерода стремятся в наших организмах вновь соединиться с кислородом, который кровь разносит во все концы нашего тела. При этом луч солнца, таившийся в них в виде химического напряжения, вновь принимает форму явной силы. Этот луч солнца согревает нас. Он приводит нас в движение. Быть может, в эту минуту он играет в нашем мозгу.

Приведенный пример — самый подробный, самый обстоятельный ответ, который в состоянии дать наука на поставленный нами вопрос. Мы можем выразить его и короче, тремя словами. Пища служит источником силы в нашем организме потому только, что она — не что иное как консерв солнечных лучей.

Глубокое научное значение этого результата говорит само за себя, но его, конечно, оценят и люди наиболее равнодушные к научным истинам. Поэт-мечтатель, с грустью взирающий на прозаический труд ученого, с удовольствием услышит от него, что он сам, поэт, такое же эфирное существо, сотканное из воздуха и света, как и бесплотные создания его фантазии. Человек спесивый, гордящийся сознанием знатности своего рода и не без презрения относящийся к скромной доле деятелей науки, получит, конечно, некоторое уважение к этой науке, услыхав, что благодаря ей „он в праве, наравне с самим китайским императором, величать себя сыном солнца“ [1]).

[1]) Helmholtz. Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte, S. 127.

# III. Растение—сфинкс [1]).

Nil sale et sole utilius.
*Plinius* [2]).

Over and again have nations and civilization been confronted with problems, which, like the riddle of the Sphynx, not to answer was to be destroyed.
*Henry George. Social problems* [3]).

Давно сделано справедливое замечание, что в воображении человека, на яву или даже во сне, не может возникнуть ничего такого, что в своих элементах не слагалось бы из впечатлений реального мира. Когда смелая фантазия художников или поэтов, желая вызвать чувство поклонения или священный ужас, создавала чудовищ, результат этот достигался только умножением числа, искажением или перетасовкой, в причудных сочетаниях, известных органов, известных живых существ. Многоголовый, многорукий индусский идол или более стройные создания мифологии запада, крылатые амуры, центавры, сирены, наконец, этот Эдипов сфинкс или его более древний египетский прототип — не очевидные ли все это доказательства бессилия человеческой мысли отрешиться от доступной наблюдению действительности? Но сегодня мы зададимся совершенно обратным вопросом: не может ли, наоборот, реальная действительность порой оправдать фантазию поэтов и художников, не найдется ли в каком-нибудь забытом уголке природы чудовищных, сложных существ, представляющих такое сочетание или агломерат двух совершенно разнородных организмов, каковы эти мифологические полугады полуптицы, полулюди полузвери?

Натуралисту, на первый взгляд, такой вопрос должен показаться чем-то невозможным, просто абсурдом. И потому понятно было изумление ботаников, когда несколько лет тому назад такое загадочное существо, подобно сфинксу, представляющее полное слияние совершенно разнородных и самостоятельных организмов, относящихся к двум различным классам, нашлось в природе, — когда оказалось, что мы все его давно знаем, что оно встречается решительно на каждом шагу. Некоторые ботаники и до сих пор не могут очнуться от впечатления, вызван-

[1]) Лекция, читанная в Политехническом музее весной 1885 года.
[2]) Нет ничего полезнее соли и солнца. *Плиний.*
[3]) Снова и снова перед народами и цивилизацией встают тревожные вопросы, на подобие загадки сфинкса. Не дать ответа на эти вопросы значит уничтожить самого себя. *Генри Джорджс. Социальные проблемы.*



ного этим поразительным открытием, и предпочитают закрывать глаза перед очевидностью—скорее, чем примириться с фактом, идущим в разрез с установившимися понятиями. Изумительность факта не умаляется тем, что он относится к области микроскопических явлений, хотя продукт слияния, этот сложный организм, как сейчас увидим, далеко не микроскопических размеров.

Об этом любопытном предмете, если не ошибаюсь, едва ли когда-нибудь упоминалось в нашей популярной литературе, а между тем он должен быть отнесен к числу наиболее поразительных и неожиданных открытий биологической науки за последнюю четверть века и, конечно, заслуживает того, чтоб остановить на нем ваше внимание.

Прежде всего позвольте ввести вас в совершенно своеобразный уголок растительного мира, по которому, без сомнения, не раз скользили ваши взоры, не останавливаясь, однако, на нем настолько, насколько заслуживает представляемый им глубокий научный интерес. Перед нами, в значительно увеличенном виде, кусочек древесной коры [1]).

На изрытой трещинами и бороздами поверхности его торчат небольшими кустиками, свисают всклокоченными бородами или расстилаются причудливо вырезанными пластинками или розетками серые, серовато-зеленые, желтые или бурые растеньица. На некоторых из пластинчатых форм нам бросаются в глаза там и сям разбросанные, особые, более ярко покрашенные органы, вроде блюдца или тарелочки (рис. 1). Все эти мелкие растеньица мы в обыкновенной речи и, как сейчас увидим, совершенно неверно называем мхами, на языке же ботаников они носят очень неблагозвучное название лишаев, лишайников или реже—ягелей.

Рис. 1.

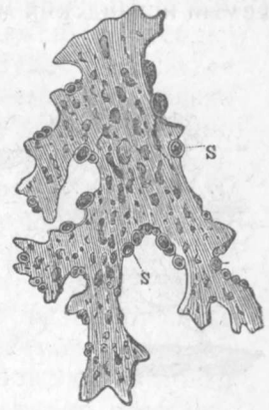



Рис. 2.

Познакомимся прежде всего с их формами и местонахождением в природе, а затем определим их положение в растительном царстве, т.-е. по отношению к другим растениям.

Формы их почти бесконечно разнообразны. Иногда большая часть организма почти скрыта от невооруженного глаза; привлекают его внимание только органы размножения, соответствующие указанным только что блюдцам, но принимающие форму темных пятен или полосок, пестрящих поверхность покрытой ими коры как будто еврейскими или клиновидными письменами.

Чаще лишайники принимают вид пенок или как бы накипи, плотно приставшей к поверхности скал и валунов, или пластинок, прикрепленных

[1]) Проложенный на экране при помощи электрического света и так называемой wunder camer, дозволяющей демонстрацию и непрозрачных предметов.

только в середине при помощи так называемых корневых присосок, но с краями приподнятыми и более или менее причудливо вырезанными (рис. 1). Такие формы лишайников попадаются на камнях, заборах, древесной коре и прямо на земле. Таковы мелкие серые и желтые лишайники, попадающиеся на любом старом заборе (Physcia, рис. 1); таков один из самых крупных лишайников, встречающихся нередко по лесам и особенно после дождя, обращающий на себя внимание своими величиной в ладонь и более кожистыми, стелющимися между травой и мхами, пластинами, словно капустными листьями, только тускло синевато-зеленого цвета с темно-бурыми, круглыми, уже знакомыми нам блюдцами (Peltigera). Почти таких же размеров достигает и другой нередко попадающийся на деревьях лишайник с изрытой ячеистой поверхностью (Sticta, рис. 2). Еще более распространены формы в виде кустиков (рис. 4), растущих прямо на земле или на стволах деревьев, или, наконец, плакучие формы, свисающие со старых сучьев длинными седыми бородами (рис. 3); к этим формам относится наиболее известный, так называемый исландский мох, с его бурыми, прямо стоячими, угловато-лопастными разрезанными пластинками (Cetraria), или, наконец, знакомый всякому жителю севера, покрывающий громадные пространства олений лишайник (Cladonia, рис. 4), с его тонко ветвящимися кустиками, во влажную пору образующими упругие серовато-зеленые, а в засуху – хрустящие под ногами, хрупкие как сухарь; почти белые подушки. Изо всех лишайников этот последний приносит человеку едва ли не самую очевидную, непосредственную пользу—он служит пищею северному оленю, отрывающему его из под глубокого снежного покрова. Дюшалью в своем путешествии на крайний север изображает оленей, зарывшихся в снег до того, что над его поверхностью торчат только их короткие хвостики.

Рис. 3.

Рис. 4.

Положение лишайников, по отношению к другим растениям, мы выясним следующим рядом сравнений. Все растения мы делим на такие которые приносят цветы и семена, и на такие, которые их не приносят—это будут растения бесцветковые, или споровые, так как вместо семян они образуют так называемые споры, т. е. клеточки, рассыпающиеся, как пыль. Такова, напр., пыль, осыпающаяся с усеянной бурыми кучками изнанки листьев некоторых папоротников; такова желтая, напоминающая серный цвет, пыль, осыпающаяся из торчащих прямо желтоватых колосков обыкновенного стелющегося плауна, в изобилии каждую осень встречаемого на наших рынках и употребляемого вместе с мхом и



лишайниками для украшения при вставке зимних рам. Этот порошок, неправильно называемый плаунным семенем, — эти споры плауна образуют ту присыпку, которой аптекаря пересыпают пилюли. Лишайники не производят ни цветов, ни семян; мы их, следовательно, отнесем к растениям споровым. Но споровые растения в свою очередь представляют нам два крупных отдела. У одних, как, напр., у только что упомянутых папоротников и плаунов, а также и у мхов, сложность организации выразилась в том, что они представляют нам ясно обособленные стебель и листья. Ничего подобного не встретим ни у грибов, ни у наших водорослей, ни у лишайников, — отсюда понятно, как ошибочно называть их мхами, смешивать их с настоящими мхами, у которых мы всегда можем различить стебель и зеленые листочки. Как не верно применяется к лишайникам название мха, так точно и слово водоросль для ботаника имеет гораздо более определенный и ограниченный смысл, чем тот, который придается ему в обыкновенной речи.

Для неботаника водоросль — все то, что растет в воде; для ботаника класс водорослей заключает в себе только те водяные растения, которые размножаются спорами и не имеют ясно выраженных стеблей и листьев. В пресной воде наших рек и прудов сюда будет относиться то, что в обыкновенной речи мы разумеем под огульным и несколько презрительным названием тины. Но кто бывал на берегу моря, особенно теплого моря, конечно, знает, как бесконечно разнообразна эта подводная флора водорослей, представляющая нам то хрящеватые, вилообразно ветвящиеся, желто-бурые, тесьмовидные формы, заходящие далеко на север и в Балтийское море (Fucus), то бесформенные, прозрачно зеленые лоскутья, которыми нередко убирают устрицы, так называемый морской салат (Ulva), то, наконец, бесчисленно разнообразные в своих грациозных очертаниях и окраске так называемые багрянки (Florideae) со всеми оттенками пурпура, от нежно розового до почти черного, со всеми формами, от плоских листовидных до тонко рассеченных и легких, как пух. Грибы, водоросли и лишайники имеют, следовательно, то между собою общее, что размножаются спорами и лишены ясно выраженных листьев и стеблей. Такие растительные тела, в которых не выражено различие между листом и стеблем, мы обозначаем термином — слоевище. Значит, все разнообразные формы лишайников, как плоские, так и ветвистые, будут слоевища. Таким образом, положение лишайников в общей системе растений мы определяем, говоря, что это растения споровые и слоевцовые. Эти же признаки с ними разделяют ближайшие их соседи, грибы и водоросли.

Постараемся теперь еще ближе охарактеризовать лишайники, указав на черты их сходства и различия с этими их соседями, грибами и водорослями.

Грибы—но, прежде чем приступим к их описанию, мы снова должны оговориться, напомнив, что и это слово вызывает в ботанике совсем иное представление, чем то, которое мы привыкли с ним связывать в жизни. Между тем как слово водоросль имеет в науке более ограниченный,—слово гриб имеет гораздо более широкий смысл, чем в обыкновенной речи. Для неботаника грибы—это те произведения природы,

которые, состоя обыкновенно из пенька и шляпки, делятся на две общих категории — съедобных и „поганок". Но ботаник, во-первых, в этих грибах видит только часть целого грибного организма, а во-вторых, кроме этих грибов и им подобных, включает в этот класс и множество таких организмов, которые в обыкновенной речи носят название плесени, а еще чаще остаются вовсе без названия, удостоиваясь его разве только в тех случаях, когда приносят особый вред, каковы ржавчина, головня и др. болезни наших культурных растений. Съедобная часть гриба—это только орган размножения гриба, растительная же часть его состоит из той белой, похожей на плесень, массы, которая пронизывает своими нитями всю почву в ближайшем соседстве с приподымающимся над ней пеньком. Эта сеть, так называемая грибница, разрастается во все стороны, так что шляпки грибов нередко выступают из земли правильными, из года в год расходящимися кругами, отмеченными цветом и ростом окружающих их трав; это так называемые кольца ведьм, hexenringe, как их называют немцы, или fairy-rings [1]), как более поэтично их прозвали англичане. Искусственная, сильно унавоженная почва, насквозь пронизанная нитями грибницы, составляет то, что мы называем шампиньонным гнездом. Итак, то, что мы обыкновенно называем грибами, соответствует не всему грибному организму, а представляет только его орган размножения, т. е. вместилище его спор. Убедиться в этом последнем факте очень легко. Сорвем с пенька шляпку шампиньона и положим ее на лист белой бумаги в таком же положении, как она насажена на пеньке, т. е. обратив вниз теми лучисто расходящимися пластинками, которые покрывают ее изнанку. Через день или даже через несколько часов, как только гриб завянет, мы заметим на бумаге полный отпечаток этих лучисто расходящихся пластинок в виде таких же темных полосок. — Эти полоски будут образованы порошком осыпавшихся спор. Впрочем, не у каждого гриба можем мы так же легко убедиться в присутствии спор. У сморчка таким приемом мы не обнаружили бы спор, и это зависит от того, что у него они не покрывают непосредственно поверхность плодоносца, а заключены в особые вместилища—так называемые сумочки. Если мы вырежем тонкий ломтик, проходящий через морщинистые складки наружной поверхности головки сморчка, и станем рассматривать его под микроскопом, то увидим ряды продолговатых прозрачных мешечков, и в каждом по восьми клеточек—спор. Совершенно сходное строение нашли бы мы, если бы стали рассматривать под микроскопом тонкий ломтик из трюфеля; только там эти мешечки со спорами оказались бы не на поверхности, как у сморчка, а внутри, вдоль тех жилок, которые пестрят разрез трюфеля, сообщая ему вид мрамора. Грибы, представляющие такое расположение спор, как у сморчка и трюфеля, т. е. в полости особых мешечков или сумок, так и называются сумчатыми. Остановимся еще на двух особенностях строения и образа жизни грибов, которые их всего лучше характеризуют. Если мы исследуем под микроскопом самые разнообразные части различных грибов, то заметим, что они нам представят следующую особенность в своем строении. Между

[1]) Волшебные кольца.



тем как у других растений клеточки могут делиться по всем трем направлениям, давая начало формам не только линейным, но и плоскостным и телесным, т. е. располагаясь, как кирпичи в полу или в стене,— клеточки грибов вытягиваются в длину и делятся только поперек этой продольной оси. Таким образом, грибы могли бы нам представлять только нитевидные, хотя бы и сильно ветвящиеся формы, подобные, напр., налету плесени, но не плотные телесные формы, еслиб эти длинные клеточки не сплетались между собой в более или менее плотные массы, подобные, напр., сплетению волосков в наших войлоках, и таким образом не сплочивались в массы, иногда значительных размеров и плотности. Если микроскопическое строение других растений мы можем сравнивать с кирпичной кладкой, при чем отдельные клеточки играют роль кирпичей, микроскопическое строение грибов всего лучше можно сравнить с войлоком, почему за их тканью так и упрочилось название „войлочной". Этот войлок может быть рыхл или очень плотен, так что составляющие его нити (гифы) будут прилегать друг к другу без промежутков, но тем не менее происхождение ткани будет такое же, как и войлочной ткани более рыхлой.

Итак, в войлочном соткании мы видим одну из самых характеристических особенностей организации грибов. Другая, еще более существенная и глубокая черта, связанная со всем образом жизни грибов, заключается в отсутствии зеленой окраски, в отсутствии того вещества, от которого зависит зеленый цвет растения, так называемого хлорофилла. В отсутствии этого вещества мы должны видеть самую выдающуюся особенность, отличающую класс грибов, как целое, от соседнего с ним класса водорослей. Я говорю выдающуюся особенность потому, что здесь, как и вообще в природе, мы тщетно пытались бы найти какую-нибудь абсолютную отличительную черту, которая отделяла бы грибы от водорослей. Стоит указать, напр., на бактерии, которых одни ботаники причисляют к грибам, а другие к водорослям. В отсутствии хлорофилла заключается не только самая наглядная, но и самая глубокая, физиологическая особенность грибов, отличающая их образ жизни от образа жизни водорослей. Но прежде еще скажем несколько слов об этих последних. Как доказывает самое название, они всегда встречаются в воде или на очень влажной почве. Поскребем немного у основания отсыревшей и позеленевшей стены и, в числе других микроскопических организмов, мы непременно встретим шаровидные клеточки с травянисто или синевато-зеленым содержимым, разбросанные по одиночке или вкрапленные группами в бесцветную слизь, или же зеленые нити, разделенные на частые поперечные членики, клеточки, также с синевато зеленым содержимым. Заглянем в траву вдоль плоского, заливаемого водой берега речки и очень часто заметим на влажной земле, величиною с горошинку и более, студенистые комочки округло-лопастной или почти шаровидной формы; раздавим такой комочек под микроскопом и увидим, что он состоит из четкообразных нитей, синезеленых клеточек, спутанных клубками и погруженных в общий прозрачный студень. Зачерпнем, наконец, немного зеленой тины или поскоблим на поверхности подводных камней или других пред-

метов и здесь также найдем прямые нити, состоящие из продольных рядов клеточек, или сильно ветвящиеся трубчатые клеточки с неизменно-зеленым содержимым. У морских водорослей, как мы видели, особенно по мере удаления от берега, в глубокой воде, мы уже встретим не зеленую, а иную, оливково-бурую или пурпуровую, окраску, но нетрудно убедиться, что эта окраска только скрывает от наших глаз зеленый цвет этих организмов. Очень часто выброшенные на берег пурпуровые водоросли, завядая, обнаруживают зеленую окраску; еще легче мы можем обнаружить присутствие хлорофилла, настояв их на спирте, который окрасится в зеленый цвет. Итак водоросли отличаются от грибов присутствием хлорофилла — но, подобно грибам, относятся к растениям споровым слоевцовым.

Мы видели, как легко увидеть споры у некоторых грибов; так же легко иногда видеть споры у водорослей, особенно у тех из них, которые производят споры, движущиеся подобно инфузориям — так называемые зооспоры. Возьмем, например, последнюю из упомянутых нами водорослей, в виде нежных кустиков покрывающую подводные предметы и состоящую из сильно ветвящейся трубчатой зеленой клеточки (Vaucheria). Промоем ее осторожно, всполаскивая в воде, чтобы удалить все другие водоросли, которые могли бы ее сопровождать, и оставим в стакане с чистой, прозрачной водой на окне. На другое утро мы заметим на поверхности воды со стороны, обращенной к свету, густую зеленую полоску — взболтаем воду, и полоска исчезнет, рассеется в воде. Оставим стакан в покое, и зеленая полоска появится снова; повернем стакан полоской во внутрь комнаты и через несколько времени заметим, что полоска переберется на прежнее место, т.-е. ближе к свету. Микроскоп показывает, что эта полоска состоит из свободных и быстро движущихся в воде клеточек, в своих движениях направляющихся к свету. Это и есть подвижные споры этой водоросли. После более или менее продолжительного движения они останавливаются, пускают бесцветные отростки, прикрепляются ими к почве и дают начало новому растению.

Таким образом, мы узнаем, что многим нашим пресноводным водорослям свойственно образование движущихся зеленых спор, а для всех водорослей характеристично присутствие зеленой окраски, хлорофилла.

Это присутствие хлорофилла у водорослей и его отсутствие у грибов определяет и весь склад их жизни — в нем выражена самая глубокая, коренная, физиологическая антитеза, какую только можем встретить в пределах растительного мира.

Грибы могут питаться только готовой органической пищей, потому-то они и попадаются на богатой перегноем почве, а искусственно разводимые, как, напр., шампиньоны, только на почве сильно унавоженной. Плесень, как мы знаем, поселяется на различных веществах, употребляемых в пищу: на плодах, хлебе, вареньи. Наконец, множество микроскопических грибов, вызывающих болезни наших культурных растений, питаются на счет своих жертв. Грибы не могли бы существовать без других растений; они питаются на их счет, или непосредственно как паразиты, или косвенно—как сапрофиты, питающиеся растительными или животными остатками. Но если существование грибов зависит вполне от существования других растений, доставляющих им прямо или косвенно их пищу, то, с другой стороны, их существование не зависит от условия, необходимого для всех других растений, от солнечного света. Не говоря уже о трюфеле, растущем под землей, мы знаем, что шампиньон разводится в темных погребах. Уже и теперь в парижских катакомбах, в обширных старых каменоломнях близ Реймса тянутся на целые мили гряды шампиньонов, но искусственное разведение грибов, вероятно, получит еще более широкое применение. Из основной особенности этих организмов вытекает и та экономическая роль, которую, быть может, они призваны играть в нашей культуре. Кто знает, быть может, со временем, когда нужда научит человека утилизировать каждый клочок земли, и разведение грибов получит свое значение, так как не трудно понять, какие обширные площади в тени наших лесов, не пригодные вследствие недостатка света для других культур, могут быть отведены под культуры грибов. Какие массы органического вещества, в форме опадающей листвы и других остатков, истлевают и, окисляясь, прямо возвращаются в виде углекислоты в атмосферу. Понятно, что для человека было бы гораздо производительнее, чтобы этот круговорот совершался более сложным путем, чтобы это органическое вещество превращалось сначала в гриб и проходило через организм человека, производя полезную работу, прежде чем вернуться обратно в атмосферу [1]).



Прямую противоположность грибам представляют водоросли; они могут существовать в воде, не содержащей вовсе органических веществ, а только ничтожные количества неорганических солей — но зато они не могут существовать без света. Под влиянием солнечного света и хлорофилла они разлагают углекислоту воздуха, выделяют из нее кислород, а из углерода вырабатывают органическое вещество, на первый раз, повидимому, крахмал. Во всем этом убедиться очень легко. Возьмем обыкновенной речной воды, а еще лучше прибавим к ней немного какой-нибудь шипучей, напр. сельтерской, содержащей углекислоту, и комок зеленой тины и выставим на свет. Очень скоро мы заметим, что наша тина как бы вспенится, т.-е. покроется мелкими пузырьками и всплывет наверх; эти пузырьки — выделенный водорослью кислород. В то же время при помощи микроскопа мы могли бы убедиться, что в клеточках водоросли, в зеленых зернах хлорофилла появился, если его еще прежде не было, крахмал. Таким образом, мы убеждаемся, что растворенная в воде углекислота разложилась, ее кислород выделился пузырьками, а углерод пошел на образование органического вещества—крахмала. Этот процесс совершается во всех зеленых органах растений под влиянием света, потому-то эти растения и не нуждаются в готовой органической пище, они в состоянии сами вырабатывать ее под влия-

[1]) Заметим, к слову, что мнения ученых касательно питательности грибов значительно расходятся. С аналитической точки зрения вещество грибов по обилию белковых соединений должно быть отнесено к числу очень питательных, но этот вывод, повидимому, не подкрепляется физиологическими данными. Быть может, это противоречие зависит от того, что белковое вещество грибов, как показывают новейшие исследования, в грибной ткани тесно связано с клетчаткой.

нием солнечного света. Ничего подобного не представляют нам грибы. Итак вот к чему сводится антитеза между классом грибов и водорослей: одни зависят от присутствия готового органического вещества, но за то не зависят от света; другие не нуждаются в готовом органическом веществе, но нуждаются зато в свете, при помощи которого вырабатывают сами это органическое вещество из неорганических соединений, заимствуемых из воздуха и почвы.

Быть может, мне уже давно готовы возразить: речь зашла о лишайниках, а между тем мы отвлеклись совсем в сторону, занявшись изучением различия между грибами и водорослями. Но дело в том, что мы этим путем только вернее шли к цели, к пониманию особенностей в организации лишайников. В самом деле, если мы подвергнем микроскопическому исследованию любой из наших обыкновенных лишайников, то убедимся, что он представляет такое же строение, как грибы, т. е. во всех своих частях состоит из войлочной ткани, то рыхлой, то более плотной. Мало того, если мы обратим внимание на их органы размножения, на их споры, то увидим, что они образуются совершенно так, как у тех грибов, которые мы назвали сумчатыми. Исследуем те блюдца, которые так ясно видны и у самого обыкновенного лишайника, покрывающего старые заборы (рис. 1); вырежем из них тонкий поперечный ломтик и мы найдем в нем под микроскопом такие же продолговатые сумочки с теми же восемью спорами, как мы видели, напр., у сморчка. Это сходство будет еще поразительнее, если мы будем сравнивать лишайники не со сморчками, а с другим мелким грибком, носящим латинское название Poziza. У этого последнего мы встретим такие же блюдцеобразные органы, разрезав которые, найдем такие же продолговатые мешечки с восемью спорами, как у лишайников. Одним словом, сходство микроскопического строения лишайников и известной группы грибов, именно грибов сумчатых, так велико, что некоторые ботаники, и едва ли не одним из первых был наш профессор Бекетов, отказались видеть в них самостоятельный класс растений, как это было общепринято. Бекетов прямо отвел им место в группе сумчатых грибов. Сходство с грибами стало еще очевиднее, когда нашлись лишайники, у которых споры образуются и таким образом, как у наших обыкновенных шляпных грибов (базидиальных, по научной номенклатуре), т.-е. не в сумках, а посредством оттяжки на концах особым образом развитых грибных нитей.

Но если по своему строению лищайники так близки к некоторым грибам, что их невозможно даже отличить, то по своему образу жизни, по своим физиологическим особенностям они резко от них отличаются.

Относительно способа питания тех лишайников, которые покрывают кору деревьев, мы, конечно, не можем сказать ничего определенного, для этого еще нужны опыты, но значительное число лишайников живет в таких условиях, которые исключают присутствие готовой органической пищи. Они первые появляются на поверхности голых скал или на песке, не содержащем другой растительности. Цепляясь за гладкую поверхность скал, они разрушают, разлагают горную породу, способствуют ее



выветриванию и подготовляют почву для других более сложных форм—мхов и, наконец, цветковых растений. Существуют даже указания, что лишайники могут поселяться на такой, повидимому, непригодной для растительности почве, как гладкая поверхность стекла. Их находят, напр., на оконных стеклах старых готических церквей. Весьма вероятно, что эта способность поселяться на бесплодных поверхностях и действовать на них разлагающим образом находится в связи с другой замечательной особенностью лишайников — значительным содержанием в них одной из самых энергичных органических кислот—щавелевой. В некоторых лишайниках половина всего сухого веса состоит из щавелево-кислых солей. Эта кислота содействует, вероятно, растворению горных пород; и действительно, на поверхности клеточек войлочной ткани лишайников находят отложения щавелево-кислой извести, вероятно, происшедшей вследствие разложения горных пород, на которых произрастают лишайники. В свою очередь, эта особенность лишайников, вероятно, находится в связи с особенностью, подмеченною в их процессе дыхания. Между тем как процесс дыхания большинства растений сводится на поглощение кислорода и выделение приблизительно равного объема углекислоты,—при чем весь поглощенный кислород выделяется обратно в форме углекислоты,—при дыхании лишайников выделяется менее углекислоты, чем поглощается кислорода, при чем значительная доля кислорода усвояется, накопляется в организме; она-то, вероятно, и служит для образования кислот.

Всего сказанного достаточно, чтобы нас убедить в том, что лишайники ведут образ жизни совсем отличный от грибов; грибы требуют готовой органической пищи, а эти поселяются на бесплодной почве, не содержащей органического вещества—очевидно, они сами способны его вырабатывать. Но мы уже не раз говорили, что эта способность связана с присутствием хлорофилла. Только растения, содержащие хлорофилл, могут под влиянием света разлагать углекислоту, этот повсеместно, в воздухе и в воде, распространенный источник углерода. Правило это не представляет исключений. Подтверждают его и лишайники. Между клеточками грибной ткани, в каждом лишайнике встречаются и другого рода клеточки, зеленого цвета. Они находятся в тесной, неразрывной связи с бесцветными клеточками войлочной ткани, образуя чаще всего более или менее толстый слой под наружной поверхностью лишайника. По своему виду они невольно напоминают некоторые водоросли; то они шаровидны и разбросаны без видимого порядка, то соединены группами или на подобие четок, то, наконец, вытянуты в длину, образуя правильные ряды, простые или ветвящиеся. В каждой из подобных форм можно было почти узнать какую-нибудь известную водоросль.

Эти зеленые (иногда синевато-зеленые, буроватые), содержащие хлорофилл клеточки обозначают особым термином; их называют гонидиями. Не мало хлопот наделали ботаникам эти гонидии, пока, наконец, удалось разъяснить их истинное значение. Сколько труда было, напр., потрачено одним немецким ботаником, Швенденером, на то, чтобы доказать, что эти зеленые клеточки вырастают на грибных нитях — факт, оказавшийся потом неверным.

Что эти гонидии совершенно сходны с водорослями, что некоторые лишайники представляются как бы нитчатыми водорослями, оплетенными грибными нитями лишайника, на это указывал известный немецкий ботаник де-Бари—специалист по грибам. Но решающим обстоятельством, заставившим ботаников изменить вековые воззрения на лишайники, было замечательное открытие двух русских ботаников—Фаминцына и Баранецкого. Этим ученым удалось, вымачивая долго в воде ткань некоторых лишайников, высвободить из них эти зеленые клеточки, эти гонидии, и тогда оказалось, что сходство их с водорослями еще более полное, чем можно было ожидать. Оказалось, что освобожденные таким образом от оплетавших их грибных нитей лишайника клеточки эти способны обнаружить одно из самых типических жизненных явлений, характеризующих водоросли — способны размножаться при помощи зеленых движущихся спор, уже знакомых нам зооспор. На глазах у этих наблюдателей зеленое содержимое гонидиальных клеточек делилось, распадалось на несколько зооспор, которые, покидая оболочку произведших их клеточек, уносились во все стороны. Стало ясно, что гонидии не только похожи на водоросли, но могут становиться настоящими водорослями, т.-е. могут самостоятельно размножаться, как водоросли. Но что же в таком случае будут сами лишайники? Фаминцын и Баранецкий не дали ответа на этот вопрос. По странной иронии судьбы, его дал тот самый Швенденер, который, как мы только что видели, потратил столько труда для того, чтобы первоначально притти к превратному заключению касательно происхождения этих гонидий. Швенденер определенно высказал мнение, что лишайники не самостоятельные организмы, а сочетание гриба с водорослью, что это грибы-водоросли. Можно себе представить всеобщее изумление, даже бурю негодования, вызванную этим смелым заявлением. Особенно задетыми за живое оказались те именно ботаники, которых это открытие всего более касалось, специалисты по лишайникам, так называемые лихенологи. Как, восклицали они, самостоятельный класс растений, изучению которого мы посвятили чуть не целую жизнь, вычеркивается из списков, оказывается раскассированным и включенным в кадры другого! Некоторые в своих сетованиях доходили до лиризма: быть не может, восклицали они, чтоб эти „милые лишайники“, которые мы изучали с такою любовью, оказались только жалкой водорослью, которую какой-то гадкий гриб оплел своими нитями, как паук оплетает свою жертву. Но ни подобные, почти трогательные, сетования, ни гораздо менее симпатичное, глухое и слепое упрямство присяжных лихенологов не могли помешать очевидности фактов. Более внимательное микроскопическое исследование показало, что, действительно, не гонидии вырастают на грибных нитях лишайника, а, напротив — последние присасываются к гонидиям, т.-е. водорослям, срастаясь с ними, пуская даже в них отростки. Припомнился и давно известный факт неудачи посевов спор лишайника. Никому, действительно, не удавалось еще из спор лишайника получить взрослый лишайник. Споры прорастали, т. е. пускали трубочки и затем все замирало. Теперь стало ясно, что так и быть должно, если природа лишайника сложная. Прорастая, спора должна найти соответствующую



водоросль, и тогда только начнется их совместное развитие в форме лишайника. Являлась мысль испробовать искусственный синтез лишайника из составляющего его гриба и водоросли. После первых успешных поисков в этом направлении Рееса и Воронина—Шталю удалось, наконец, осуществить этот синтез вполне, т.-е. из споры лишайника и соответствующей водоросли получить настоящий взрослый лишайник. В еще более совершенной форме, т.-е. соблюдая все экспериментальные предосторожности[1]), устраняющие все сомнения, этот опыт синтеза лишайников был недавно повторен Бонье. Следовательно, в настоящее время не может быть сомнения, что лишайники не самостоятельные организмы, а нечто до тех пор невиданное в природе, сочетание двух организмов из двух совершенно разнородных классов растительного царства. Остановимся несколько более на оценке этого факта, выясним всю его необычайность, его коренное отличие от других явлений, которые с первого взгляда могут показаться сходными с ним. Во-первых, очевидно, что нет ничего общего между этими грибами-водорослями и теми средними или переходными формами, какие уже давно известны в ботанике и особенно в зоологии, каковы, напр., орниторинх, лепидосирен и пр. Там мы имеем дело с простым организмом, только совмещающим в себе некоторые признаки, характерные для представителей двух различных классов,—здесь мы имеем дело с организмом действительно сложным, происшедшим через срастание, полное слияние двух совершенно разнородных и самостоятельных организмов, до того полное, что продукт является своеобразным целым. Для обозначения этого совершенно нового явления пришлось придумать новый термин—совместного житья, сожитья, или симбиоза[2]).

Еще большее сходство на первый взгляд это явление симбиоза представляет с паразитизмом. Нам известны бесчисленные случаи, где грибы, микроскопические и не микроскопические, нападают на другие растения— случается даже один микроскопический гриб нападает на другой, микроскопический же, гриб для того, чтобы питаться на его счет; почему бы не нападать им и на водоросли? Это и случается в действительности, но только между паразитизмом и симбиозом существует коренное различие. Паразит истощает, истребляет свою жертву, от симбиоза же водоросли, т.-е. гонидии, не только не погибают, но, очевидно, выносят пользу, их клеточки не страдают, а поправляются, разрастаются, принимают более цветущий вид. В чем же заключается эта обоюдная польза? Польза, которую гриб извлекает из водоросли, очевидна; обладая хлорофиллом, она может питать и его и себя насчет того повсеместно присутствующего источника углерода, углекислоты, которую они извле-

---

[1]) На стерилизованной почве, в сосудах, куда не было доступа другим организмам, кроме тех спор и водорослей, которые высеяны.

[2]) Как только был констатирован факт симбиоза лишайников, со всех сторон стали открываться факты, еще более поразительного симбиоза между растениями и животными. Так, напр., некоторые инфузории и морские черви содержат в себе живые водоросли, способные разлагать углекислоту. Здесь мы, следовательно, в первый раз встречаемся с настоящими животно-растениями, т.-е. организмами, исполняющими типические функции представителей того и другого царства. Рассмотрение этих, в высшей степени любопытных, фактов, однако, отвлекло бы нас слишком далеко от нашего предмета.

кают из воздуха или из воды и разлагают при содействии солнечного света. Отсюда понятна и возможность существования лишайников на совершенно бесплодной почве, немыслимого для других грибов, идущих не впереди, а только по пятам других растений, уже заготовивших необходимую им органическую пищу. Труднее объяснить, какую пользу извлекают водоросли от сожительства с грибами. Возможно, что эта польза двоякая. Грибы, конечно, доставляют им в большем изобилии минеральные соли, которые сами, как мы видели, добывают, разрушая горные породы, вероятно, при содействии выработанных органических кислот [1]). Без участия грибного организма водоросли, по природе приспособленные к жидкой среде, едва ли могли бы приходить в такое полное соприкосновение с твердой сухой почвой, а следовательно, и так успешно извлекать из нее пищу. С другой стороны, водоросли не были бы в состоянии выдерживать на открытой, незащищенной поверхности скал или коры деревьев того периодического засыхания и замерзания, которое так безнаказанно переносят лишайники. Этим свойством эти последние, вероятно, обязаны грибному организму. Многолетние сухощавые грибы, так называемые древесные губки, как известно, также легко переносят засуху и холод; напротив, водоросли при этом наверно погибли бы (или, пожалуй, превращались бы в покоющиеся органы). Под защитой оплетающей их грибницы они безнаказанно переживают и засуху и морозы, без перерыва продолжая свое развитие, как только наступят благоприятные условия влажности и температуры.

Таким образом, с и м б и о з является прямой противоположностью п а р а з и т и з м а. Паразитизм это борьба на смерть, симбиоз — мирная ассоциация, основанная на взаимной пользе. Нам так прожужжали уши словом борьба, к тому же понимаемым совершенно превратно, в самом грубом, узком смысле, что как-то особенно отрадно остановиться мыслью на этом мирном уголке природы, где два бессознательных существа подают пример разумного союза, направленного к обоюдной пользе.

Теперь нам понятна роль этих загадочных лишайников в общей экономии природы. Выступит ли где из волн океана подводный утес; оторвется ли обломок скалы, обнажив свежий, не выветрившийся излом; выпашется ли валун, века пролежавший под землею, — всегда, везде, на голой, бесплодной поверхности, первым появляется лишайник, разлагая, разрыхляя горную породу, превращая ее в плодородную почву. Он забирается далее всех растений на север, выше всех в горы; ему нипочем зимняя стужа, летний зной; медленно, но упорно завоевывает он каждую пядь земли, и только по его следам, по проторенному им пути, появляются более сложные формы жизни. В чем же тайна этого успеха? Concordia res parvae crescunt [2]) как будто отвечает нам каждое из этих ничтожных существ. В согласии, в союзе сила. В союзе между кем? Конечно, не между паразитом и его жертвой, кончающемся гибелью обоих. Нет, в союзе между двумя равно плодотворными началами, между

[1]) А может быть грибные нити доставляют и углекислоту, так как некоторые опыты делают вероятным, что лишайники пользуются не столько углекислотой воздуха, сколько углекислотой, растворенной в воде.

[2]) Малые начинания растут благодаря согласию.



тем, которое черпает свою пищу из земли, и тем, которое заимствует свои силы у их чистейшего источника — у света. Nil sale et sole utilius. В этих словах вся тайна растительной жизни. Свет солнца и соль земли — вот два равно необходимые начала жизни. Вот где кроется тайна успеха, делающая из этой parva res [1]) могучего пионера растительного мира. Вот ключ к загадке, которую предлагает мыслящему человеку это маленькое р а с т е н и е-с ф и н к с.

Ничтожный лишайник в своей скромной сфере разрешил свою загадку жизни, а человечество стоит беспомощно перед грозным сфинксом будущего, тщетно пытаясь разгадать его загадку: что нужно сделать, чтобы свет цивилизации стал достоянием того, кто, помогая его добыванию, получает в свой удел пока лишь мрак и бедность? Что нужно сделать, чтобы „Соль земли“ могла бы стать и „Светом миру“?

[1]) Буквально: малая вещь—мелочь.

# IV. Фотография природы и фотография в природе [1]).

I.

Ровно триста лет тому назад, в исходе великого XVI века, великого по той роли, которую он сыграл в развитии искусств и наук и еще более в освобождении человеческого духа от тяготевших над ним вековых оков, под ясным небом Италии, на берегу чарующего Неаполитанского залива, сделано было открытие, плодами которого вполне воспользовались только мы, люди конца девятнадцатого. Сделал его оригинальный человек, наполовину талантливый ученый, наполовину мистик, фантаст Джан Батиста Порта, портрет которого, сопровождаемый, согласно духу времени, символическими эмблемами его деятельности, украшает заголовок его Magia Naturalis. Открытие это заключалось в том, что если в темной комнате (или в ящике) сделать отверстие, а еще лучше, если прикрыть это отверстие стеклянной чечевицей, то на противоположной стене мы увидим изображение находящихся перед ним домов, деревьев, садов, статуй, а главное, в наивном восторге восклицает Порта, движущиеся изображения прохожих, до того ясные, что мы можем узнать между ними своих знакомых. Этот прибор, к а м е р а - о б с к у р а, навеки обессмертил имя Джан Батиста Порта [2]). И,—что особенно любопытно, — эта Magia Naturalis была только разросшимся изданием книги, которую талантливый Порта издал в первый раз, когда ему было всего 15 лет, — факт, который особенно полезно подчеркивать перед этой аудиторией [3]), так как он на-

Рис. 1.

[1]) Читано 19 марта 1895 г. на утреннем чтении учебного отдела Общества распространения технических знаний. К сожалению, эти утра, предназначавшиеся для учащегося юношества и охотно посещавшиеся, должны были прекратиться.

[2]) Самый принцип камеры-обскуры был, впрочем, известен еще Леонардо да Винчи.

[3]) Лекция, как сказано, читана для учащихся в средних учебных заведениях.



глядно иллюстрирует меткие слова одного французского писателя: „le génie c'est une idée de la jeunesse developpée par l'âge mûr“ (гений — это идея юности, разработанная зрелым возрастом).

Порта не только изобрел камеру-обскуру, он дал обстоятельное изложение теории стереоскопического видения; более того, он намекал, что устроил трубу, в которую издали можно читать книгу или узнавать знакомых, но торопился добавить: „об этом лучше умалчивать или говорить в таких темных выражениях, чтобы вас понимали только люди умные“. Осторожный неаполитанец словно предчувствовал, что пришлось через несколько лет испытать его гениальному флорентийскому соотечественнику за слишком смелое разглашение того, что можно видеть в телескоп.

Но, конечно, и сам Порта, несмотря на свою восторженную веру в „натуральную магию“, т.-е. попросту в физику и в ту мощь, которую она сообщает человеку над природой,—сам Порта, конечно, не поверил бы, еслиб ему сказали, что видимое им изображение можно будет сохранить [1]), что придет время, когда тысячи туристов, с его камерами через плечо, будут стекаться издалека в его родной город и будут закреплять на стекле его очаровательные картины: эти стройные пинии, этот вечно курящийся Везувий, а может быть, унесут с собой и клочок этого синего неба, этого лазурного залива,—так как фотография в естественных красках, несомненно, уже совершившийся факт. Вот еще другая мысль, которую также полезно подчеркивать: наука за последнее столетие до того избаловала нас, приучив к ежедневным новым чудесам, что почти притупила в нас способность удивляться,—ту способность, которая, по словам великого ученого, является источником научной пытливости, началом всякого знания.

Но пока это новейшее открытие фотографии еще не достигло полного совершенства и, во всяком случае, еще не скоро сделается достоянием простого любителя природы, остановимся на других, более скромных, но уже вполне прочных и общедоступных завоеваниях фотографии в применении к воспроизведению картин природы, если не в естественных красках, то с верной передачей соответствующих этим краскам полутонов. Еще недалеко то время, когда фотографический ландшафт представлял нам под однообразно белым небом еще более сплошную черную массу растительности, т.-е. лишал природу всей ее обычной прелести: этих облаков, бесконечно разнообразных в своих формах и переливах света и тени, этих мягких оттенков зелени.

Посмотрим, в чем же заключались трудности, с которыми приходилось бороться фотографии и которые она успела теперь преодолеть. Сущность химического процесса, совершающегося на чувствительных поверхностях, употребляемых в обыкновенных фотографических приемах, как известно, заключается в разложении серебряных солей — соединений серебра с хлором, бромом и иодом. Показать целой аудитории, в чем

[1]) Известно, что жена Дагерра со страхом спрашивала у Дюма, уж не сошел ли с ума ее муж—так как он упорно уверяет, что добьется сохранения изображений камеры-обскуры.

заключается это превращение, крайне трудно; да и самый процесс, как это ни покажется странным, несмотря на почти полстолетие, в течение которого им пользуются и успели до тонкости усовершенствовать его техническую сторону, еще весьма неудовлетворительно разъяснен. Для того, чтобы наглядно показать, как действует свет в подобных химических процессах, остановимся на других, близких, но более простых явлениях. Ртуть представляет два соединения с хлором: одно легко растворимое в воде, известную по своей ядовитости сулему, и другое нерастворимое, каломель. Последнее содержит менее хлора, чем первое, и, следовательно, может произойти из него путем разложения, т.-е. отщепления части хлора. Это разложение происходит и под влиянием света, и самое явление может быть наглядно показано при помощи следующего блестящего опыта. В этой пробирке у меня раствор сулемы. Если я помещу его в точке, в которую собирается пучок лучей, исходящих от электрического фонаря, то, благодаря совершенной темноте в аудитории, ее увидят разве только сидящие вблизи, большинство же присутствующих вовсе не увидят ее. Но не пройдет и нескольких секунд, как она словно вспыхнет ослепительным светом, который осветит самые отдаленные уголки этой громадной залы. Объяснение опыта очень просто: как только луч света упал на прозрачный и, следовательно, почти не отражающий его раствор сулемы, он вызвал ее разложение, превращение в нерастворимый каломель, и блестящие, белые, как снег, кристаллы его теперь рассеивают, отражают во все стороны падающие на них лучи, и пробирка становится как бы источником, излучающим свет нашего фонаря. При помощи этого опыта мы наглядно убеждаемся в разлагающем действии света. Но этот опыт нас научает еще следующему. Он идет так, как мы видели, только под условием, чтобы взят был не просто раствор сулемы, а смесь этого раствора и какого-нибудь легко окисляющегося органического тела, например, щавелевой кислоты; тогда освобождающийся хлор затрачивается на ее окисление. Другими словами, разложение вещества светом идет успешнее, когда один из продуктов разложения (в настоящем случае хлор) сам вступает в новое соединение, а не остается свободным. Это соображение играет важную роль и в практике фотографии.

Только что я позволил себе выражение, которое,—будь оно верно в буквальном смысле,—сделало бы занимающее нас явление загадочным или даже совершенно непонятным: я сказал, что раствор сулемы невидим, потому что совершенно прозрачен, т.-е. не задерживает, не поглощает лучей света. Но в таком случае произведенный опыт был бы физическим абсурдом: он находился бы в противоречии с самым общим физическим законом — законом сохранения энергии. Энергия светового луча, производя химическую работу разложения, должна затрачиваться—исчезать. Наоборот, луч света, вошедший и вышедший из тела без поглощения, не может вызвать в нем химической работы [1]). Следовательно,

[1]) Подобный абсурд, однако, высказывался некоторыми немецкими ботаниками, полагавшими, что свет может влиять на рост растения, хотя бы при этом и не поглощался, а только пронизывал его.



свет должен был поглощаться и раствором сулемы, несмотря на то, что мы этого не замечаем. Это противоречие объясняется тем, что раствор сулемы поглощает лучи, невидимые для нашего глаза. Этим невидимым лучам долгое время приписывали исключительное значение, называли их химическими, в том предположении, что им особенно свойственно вызывать химические процессы. Называли их также и актиническими, что уже совершенно неостроумно, так как в переводе значит: лучистые лучи. Но вскоре оказалось, что это предположение о каких-то особенных химических лучах возникло оттого, что большая часть химических явлений, зависящих от света, так называемых фотохимических процессов, обративших на себя внимание, случайно зависела от одной и той же группы лучей. Чем многочисленнее становились случаи этих явлений, тем более убеждались, что никаких специально химических лучей не существует, что всевозможные лучи света, видимые так же, как и невидимые, способны вызвать химическое действие, но в каждом определенном случае действует известная определенная группа лучей. Посмотрим, от каких же свойств действующих лучей и изменяющихся тел зависит это соотношение. Если луч солнечного или электрического света, проникающий через узкую щель в темной комнате, мы пропустим чрез призму, то, вместо изображения щели, на стене или на экране получим цветное изображение,—так называемый спектр,—из семи цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Если мы будем исследовать при помощи химически изменяющегося вещества (хотя бы нашей смеси из сулемы и щавелевой кислоты) темное пространство за фиолетовой частью, то убедимся, что там существуют еще невидимые лучи, вызывающие это разложение. Обратно, если очень чувствительными приборами для определения температуры будем исследовать нагревающее действие спектра, то заметим, что в темном пространстве за красными лучами будет еще обнаруживаться нагревание. Следовательно, в белом свете заключаются как разноцветные, видимые, так и невидимые лучи. Все эти видимые и невидимые лучи могут действовать химически; посмотрим же, в каком случае действуют одни какие-нибудь известные лучи, а в каком совсем иные. Для этого остановимся на таком случае, где действуют видимые лучи, так как их действие легче обнаружить. Мы только что убедились, что лучи для того, чтобы действовать, должны поглощаться. Но поглощение тех или других видимых лучей данными телами определяет то, что мы называем их цветом. Поставим на пути нашего луча, прежде чем он пройдет чрез призму, какое-нибудь прозрачное цветное тело — и мы увидим, что в нашем спектре выпадут, будут отсутствовать известные лучи, задержанные этим телом. Берем желтую жидкость и замечаем, что в прошедшем чрез нее луче света отсутствуют фиолетовые, синие, голубые и часть зеленых лучей. Берем, наоборот, синюю жидкость—и увидим, что она не пропустит все красные, оранжевые, желтые и другую часть зеленых лучей. Следовательно, при помощи этих двух жидкостей мы разделяем белый свет на две группы—желтую и синюю. Если мы заставим свет этих двух пучков лучей упасть на одну и ту же поверхность, то получим белый свет. Такие две группы цветных лучей, которые в сумме дают белый

свет, называются взаимно-дополнительными [1]). Следовательно, цвет всякого тела является дополнительным цвету той группы лучей, которую это тело поглощает, так что, зная цвет лучей, которые пропускаются телом, мы знаем, обратно, какие лучи оно поглощает. Но мы только что видели, что тело может изменяться химически только в тех лучах, которые им поглощаются. Отсюда для нас очевидно, что данное тело может изменяться только в лучах (видимых) дополнительного цвета.

Это правило, которое теперь для нас является очевидным выводом из закона сохранения энергии, было, однако, открыто задолго до провозглашения этого закона. Открытие это обыкновенно приписывают Гершелю, но оно было сделано задолго до него, именно в 1818 году в г. Митаве известным немецким ученым Гротгусом. Гротгус высказал вполне определенно то положение, что химическое разложение цветных тел зависит от лучей дополнительного цвета, т.-е. желтые тела будут разлагаться синими лучами, синие желтыми и т. д. Гершель доказал верность этого правила в применении к выцветанию, линянию пигментов, извлекаемых из лепестков различных цветов. Мы можем доказать верность положения Гротгуса в несколько секунд при помощи следующего изящного опыта. На экране светлое поле, которое дает фонарь, разделено на две половины — синюю и желтую, что достигается цветными стеклами, загораживающими каждое соответствующую половину объективного стекла. Невдалеке от фонаря мы помещаем две пробирки с желтою жидкостью так, чтобы одна была освещена желтыми, а другая синими лучами. Жидкость эта—смесь хлорного железа и железосинеродистого калия. Под влиянием света хлорное железо превращается в хлористое, а это последнее образует синий осадок с железосинеродистым калием [2]). И действительно, не проходит и нескольких секунд, как жидкость пробирки в синей половине поля становится непрозрачной—черной, между тем как жидкость в пробирке желтой половины поля остается попрежнему прозрачной.

Следовательно, всякое тело разлагается только лучами, цвет которых дополнителен цвету тела, или лучами невидимыми, но тем не менее поглощаемыми. Случилось так, что большая часть фотохимических явлений, первоначально обративших на себя внимание, касалась тел, которые поглощали лучи синие, фиолетовые и темные, ультрафиолетовые, — откуда и сложилось представление, что синий свет действует химически, актиничен, а желтый свет не действует, не актиничен. Отсюда и основное правило фотографов освещать свои темные комнаты желтым или красным светом и т. д. Правило это утратило свою всеобщность уже с той поры, когда Гершель, например, показал, что синий пигмент цветов выцветает в желтом свете; но самое поразительное его опро-

[1]) Опыты с комплементарными цветами были показаны при помощи превосходного прибора Дюбоска, снабженного призмой с очень малым углом.

[2]) Подобно тому, как хлорная ртуть (сулема) превращается в хлористую (каломель). Сходство реакций распространяется и на второе условие—необходимость присутствия органического вещества, щавелевой кислоты.



вержение доставлено лучшим знатоком теории фотографических процессов,—Абнеем. Окрашенные в зеленый цвет тела поглощают не только дополнительные им красные лучи, но и невидимые, находящиеся за красными, о присутствии которых мы узнаем по их способности нагревать тела. Абней приготовил особые видоизменения серебряных солей с зеленой окраской. Эти соли поглощали темные индоракрасные тепловые лучи, и при их помощи оказалось возможным фотографировать теплые тела, например, котелок с кипятком, в совершенной темноте. Этот опыт, следовательно, доказал, что фотографическое действие могут оказывать не только все видимые лучи, но также и невидимые, как за фиолетовым, так и за противоположным ему красным концом спектра.

Возвращаемся теперь к нашему вопросу: в чем же заключалось затруднение при фотографировании растительности и облаков? Растение зеленого цвета,—следовательно, не посылает ни в наш глаз, ни в камеру синих, фиолетовых, а также и ультрафиолетовых лучей; отсюда оно почти не оказывает действия на обыкновенные фотографические пластинки, чувствительные к синей половине спектра (будем так ее называть ради краткости). На негативе оно выходит бесцветным, а, следовательно, на позитиве черным. Наоборот, синее небо посылает те же лучи, которые одни оказываются деятельными и в белом свете облаков, — откуда этот резкий для глаза контраст между синевой неба и белизной облаков почти сглаживается. Как же добиться того, чтобы фотографическая пластинка видела природу такою же, какою видит ее наш глаз, т.-е. видела бы и желтые, и зеленые, и красные тона так же, как она видит синие и фиолетовые? Мало того, для нашего глаза зеленый, а особенно желтый, свет гораздо ярче синего и красного. Необходимо, чтоб и это отношение сохранилось на нашем изображении. Как же сделать, чтобы фотографическая пластинка, нечувствительная к желтому и зеленому свету, стала бы к нему не только чувствительна, но и более чувствительна чем к синему и фиолетовому?

Разрешение этой, казалось бы, неразрешимой задачи нашел берлинский ученый, профессор Г. Фогель, еще в 1873 г., и должно удивляться, как медленно его прием проникал в практику, да и в настоящее время едва ли его можно считать достаточно распространенным, особенно в среде многочисленных любителей фотографии. Открытие Фогеля заключалось в следующем; если к светочувствительной серебряной соли мы прибавим какое-нибудь цветное тело, поглощающее известную группу лучей (что будет видно по присутствию в его спектре темной абсорбционной полосы), то на этот раз наша пластинка сделается чувствительной не только к тем лучам, которые поглощаются серебряной солью, но и к тем, которые поглощаются этим телом. Мы должны себе это представить таким образом: частицы цветного тела, поглощая свет, приходят в движение, которое передается и частицам серебряной соли, приводит их в движение, расшатывает и вызывает в них разложение. Так, если мы возьмем эозин, красящее вещество пурпурового цвета, то оно будет поглощать дополнительный желто-зеленый свет,—в этой части спектра у него будет черная абсорбционная полоса. Теперь эти желто-зеленые лучи будут действовать на нашу пластинку, как

прежде действовали только синие, фиолетовые и ультрафиолетовые. Мы получим, следовательно, пластинки, которые будут чувствительны к зеленому свету, посылаемому в нашу камеру зеленой растительностью. Мало того, белые облака будут посылать уже более света, чем синее небо, так как сверх синих и пр. лучей они посылают еще зеленые и желтые, и эти лучи на этот раз будут оказывать действие. Но этого обыкновенно еще не достаточно; зеленые и желтые лучи будут действовать, но потому ли, что они действуют, так сказать, по передаче, чрез посредство красящего вещества, или по какой иной причине, — их действие будет все еще слабее действия синих и фиолетовых лучей. Зеленая листва будет выходить светлой, но будет все еще слишком темна в сравнении с синим цветком; облако будет выделяться на синеве неба, но оно не будет белым. Наша фотография еще не даст нам верного отношения тонов. Этого можно достигнуть, только значительно ослабив действие синих и фиолетовых лучей так, чтобы действие зеленых и

Рис. 2. Фотография обыкновенная. Рис. 3. Фотография ортохроматическая. (Негатив К. Тимирязева).

желтых взяло над ними перевес, и в такой именно мере, в какой последние для нашего глаза ярче первых. Для этого мы пропускаем проникающий в камеру свет чрез умело подобранные бледно-желтые стекла [1]). Прошедший чрез бледно-желтую среду синий свет будет

[1]) Я нахожу наиболее удобным употреблять тонкие стеклышки (так называемые покровные), облитые коллодиумом, окрашенным в желтый цвет (ауранцией). Таких стеклышек можно заготовить целую скалу различных оттенков. Помещаются они на картонных диафрагмах.



ослаблен, а зеленый и желтый сохранят свою силу; таким образом, и для наших пластинок они окажутся самыми яркими, как и для глаза. Цветные вещества, которыми прокрашивают пластинки, чтобы сделать их чувствительными к лучам, не действующим непосредственно на серебряные соли, называют сенсибилизаторами, а самые пластинки — изохроматическими или ортохроматическими. Желтые стекла или пленки, еще более усиливающие действие желтых и зеленых лучей, называют светофильтрами.

Приведем наглядный случай применения этих изохроматических пластинок и светофильтров. Пучок полевых цветов снят мною два раза, первый (рис. 2) раз на обыкновенной пластинке, а второй—(рис. 3) на изохроматической со светофильтром. Результат очевиден: между тем как первый снимок одинаково оскорбляет и глаз эстета и опытный глаз ботаника своими почти исключительно белыми и черными тонами, второй целым рядом мягких полутонов совершенно верно передает относительную яркость окраски различных цветов. Прежде всего, в первом букете мы видим синие васильки такими же белыми, как и белые цветы поповника; ярко-желтые середки этих последних так же, как выставляющиеся из-за них желтые ромашки, являются совершенно черными. Такими же черными представляются и торчащие сверху желтые лютики и расположенные влево светло-зеленые листья бальзамина. Цветки лютика, сверх того, наглядно показывают резкий контраст, который представляют блики отраженного с их гладкой поверхности белого света, в сравнении с рассеянным желтым светом остальных частей, — контраст, в такой степени не существующий в природе. Наконец, в верхней части пучка, влево, замечаем цветок куколя, такой же белый, как васильки и поповник, когда на деле он лиловато-малиновый.

Теперь обратимся к тому же пучку, снятому через минуту, но на изохроматической пластинке со светофильтром. Васильки на нем уже не белые, и он совершенно верно передает их действительное отношение к белизне поповника. Все желтые части (середки поповника, цветы ромашки и лютика), как и светло-зеленые листья бальзамина (в отличие от более темно-зеленых листьев калины), вышли светлыми. Даже тон куколя не тот, что у василька. Следовательно, трудная задача передачи красок в монохроме осуществлена вполне удовлетворительно. Понятно также, что если этот способ правильно передает тона того элемента, из которого слагаются листва деревьев и ковер лугов, т.-е. отдельного листа, то он разрешает и передачу целого, т.-е. передачу зеленых поверхностей ландшафта, в последовательном ряде полутонов, вместо прежних однообразно черных масс [1]). Точно так же сохраняется

[1]) Подробнее этот вопрос разобран мною в заметке: „Несколько слов о фотографировании растений“, помещенной в № 3 „Фотографического Обозрения“ за 1896 г. К сожалению, приложенные к статье фототипии не передают действительного контраста моих подлинников.

контраст между синевой неба и белизной плывущих по нему облаков. Следовательно, художественно верная передача красок соответствующими черными полутонами в применении к фотографированию ландшафтов—задача вполне разрешенная [1]).

## II.

Итак, для того, чтобы получить верное изображение зеленых частей ландшафта, оказалось необходимым сообщить чувствительной поверхности наших пластинок дополнительную окраску—фиолетовую или, вернее, пурпурную, при помощи эозина, цианина или какого другого пигмента. Факт этот уже более или менее известен каждому фотографу (а кто теперь не фотограф?), но далеко не всякому известен другой, неизмеримо более важный факт,—что в тот момент, когда мы фотографируем зеленую листву, в ней самой происходит фотографический (т. е. фотохимический) процесс, от которого зависит существование жизни на земле, а следовательно, и наше собственное. Случай, впрочем, не редкий; мы на каждом шагу изучаем и высоко ценим то, что служит только для нашего удовольствия или приятно щекочет наш ум, и не имеем никакого представления о том, без чего не прожили бы и одного дня; многие даже гордятся полною бесполезностью своих знаний и занятий и высказывают высокое презрение к тем знаниям, которым порою обязаны даже своею жизнью.

Человек питается животной и растительной пищей, животные также; в конце концов, все питаются растением—растение же питается воздухом. Это питание совершается в зеленых листьях и не иначе, как под влиянием солнечного света. Свет этот необходим для того, чтобы разложить углекислоту, доставляемую листу воздухом, и превратить ее в органическое вещество—крахмал, сахар, масла, белковые тела, из которых состоит растительная пища. Первое вещество, относительно образования которого из углекислоты мы знаем достоверно,—это крахмал. Этот крахмал составляет главную (по количеству) часть хлеба и картофеля и почти исключительную составную часть киселя, саго и т. д. Этих кратких сведений достаточно для нашей цели—для объяснения, в чем заключается фотохимический процесс, совершающийся в зеленом листе и подготовляющий пищу на весь органический мир. Началом его мы можем считать разложение углекислоты воздуха, приходящей в прикосновение с листом,—выделение из нее кислорода, а концом—отложение в этом листе крахмала. Это, так сказать, две стороны одного и того же явления превращения неорганического вещества в органическое. Но можем ли мы узнать, от каких лучей солнечного света зависит этот процесс? А что он зависит от света, доказывается тем, что в отсутствии

[1]) На лекции это положение было иллюстрировано проложенными на экране диапозитивами, изготовленными мною и моим сыном на изохромных пластинках. Коллекции этой с тех пор присуждены две серебряные медали: на Московской фотографической и Всероссийской художественно-промышленной выставке в Нижнем-Новгороде.



света растение не питается, не прибывает, а убывает в весе. То, что нам известно о фотографическом действии света, может нас прямо навести на мысль, что цвет лучей наиболее деятельных в этом процессе должен быть дополнительный зеленому цвету листьев—это будет смесь красных лучей с синими и фиолетовыми, т.-е. пурпуровый свет. Еще лучше мы это узнаем, посмотрев, какие лучи поглощают растворы того тела, которое окрашивает листья,—х л о р о ф и л л а. Мы увидим, что они поглощают красные, а также синие и фиолетовые лучи; в этих частях спектра они дают черные абсорбционные полосы,—здесь-то мы, очевидно, и должны ожидать самого энергичного действия света. Опыт вполне подтвердил верность этого предположения. Доказать, что именно в этой части спектра происходит разложение углекислоты, довольно хлопотливо; тем не менее, это мне вполне удалось еще в 1874 году [1]). Гораздо нагляднее можно доказать, как уже сказано, другую сторону того же процесса, т.-е. показать, что именно эти лучи вызывают в листе образование крахмала. Это доказательство основывается уже на чисто фотографическом приеме. Вот в чем он заключается. Крахмал, как известно, окрашивается растворами иода в темно-синий, при достаточном количестве иода—почти в черный цвет. Стоит сорвать любой какой-нибудь лист, вымочить его в спирте, который извлечет из него зеленый хлорофилл, и, когда он таким образом обесцветится, погрузить в раствор иода, чтобы убедиться, что он совершенно почернеет от находящегося в нем крахмала. Такой лист, понятно, не годен для опыта. Начинать опыт нужно с листа, в котором именно крахмала и не находилось бы. Такой лист получается, если растение оставить на день—на два в темноте; тогда нетрудно убедиться, что находившийся в нем крахмал исчез—он превратился в сахар, который растворился и потек к молодым растущим частям растения. Для того, чтобы быть уверенным, что в листе нет вовсе крахмала, выбьем из него сечкой (пробочным сверлом, употребляемым в лабораториях) кружок, как показано на рис. 4 справа, и попробуем, как сказано, иодом: кружок не окрасится. Выставим растение с нашим листом на несколько часов на солнечный свет, высечем новый кружок, попробуем иодом и убедимся, что на этот раз он совершенно почернеет (кружок налево). Мы можем воспользоваться этим приемом, чтобы вызывать в живом листе настоящие ф о т о г р а ф и ч е с к и е отпечатки; стоит накрыть его негативом и выставить на свет: получится отложение крахмала, соответствующее светлым частям негатива; но оно будет невидимое, его нужно п р о я в и т ь, и для этого, как мы только что видели, прибегают к иоду. Собственно говоря, если несколько часов пристально смотреть на какой-нибудь лист лопуха, то на нем должен отпечататься портрет, стоит только для этого живой лист пропустить в камеру на место чувствительной пластинки. Едва ли только у кого хватит на то терпения. Но зато можно сделать следующий, более интересный опыт. Вместо того, чтобы выносить на свет целое растение, оставим его в темной

[1]) Так что Фогель, открытие которого было встречено с недоверием, уже в первом издании своей известной книги мог ссылаться на мои физиологические опыты, как на одно из подтверждений верности его основной идеи.

комнате, но на один из листьев отбросим яркий солнечный спектр. По прошествии нескольких часов проявим иодом и убедимся, что отложение крахмала получится не на всем протяжении спектра, а только в тех его частях, которые поглощаются хлорофиллом, — другими словами, на живом листе совершающимся в нем процессом питания отпечатается крахмалом спектр хлорофилла [1]). Этот опыт еще более наглядным образом,—если и не таким точным, как опыт с разложением углекислоты,— доказывает роль, которую играет это вещество в природе; и должно сознаться, что именно успехи фотографии пролили свет на эту вековую физиологическую загадку. Через год с небольшим после открытия действия сенсибилизаторов Фогелем я высказал мысль, что хлорофилл—это естественный сенсибилизатор, поглощающий известные лучи солнечного света и передающий их колебание частицам углекислоты, точно так же, как это происходит в процессах ортохроматической фотографии. Известно, что хлорофилл может быть сенсибилизатором и в узком фотографическом смысле, т.-е. может с успехом заменить эозин, цианин и другие предметы в процессе приготовления ортохроматических пластинок, особенно чувствительных к красному свету. Аналогию между процессом, совершающимся в живом зеленом листе, и фотографией можно провести и еще далее. Зеленое вещество хлорофилла (хлорофиллин) во всех растениях неизменно сопровождается желтым пигментом, играющим, повидимому, роль наших желтых светофильтров, умеряющих действие сине-фиолетовой части спектра. Но более близкое значение этой подробности устройства зеленого листа еще не выяснено.

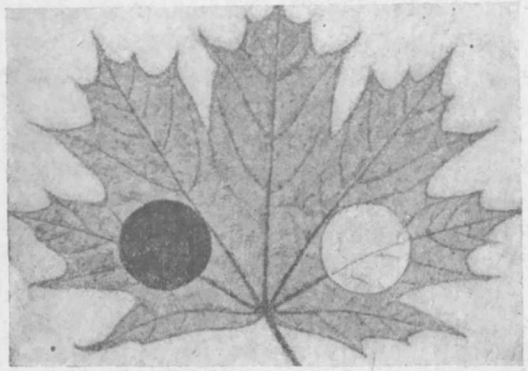


Рис. 4.

Рис. 5.

Фотография физнью.

Обнаруживая такое сходство с практикой фотографии, деятельность листа представляет еще следующие преимущества перед этим изобретением человека. Фотографу приготовление его ортохроматических пластинок стоит больших хлопот,—растение возлагает эти хлопоты на тот же луч солнца. Сенсибилизированную поверхность листа, на которую действует свет, оно приготовляет автоматически при помощи того же света. Всякий знает, что в темном погребе растение получается не зеленое, а бледно-желтое, этиолированное, как выражаются ботаники; таков, напр., наш зимний салат-цикорий и т. д. Возьмем плоский деревянный ящик, на дно его положим кусок войлока и, посеяв по нему обыкновенный кресс, оставим все в совершенной темноте. Кресс скоро вытянется и представит густую щетку, — почти сплошную поверхность из своих первых совершенно желтых листочков. Теперь вырежем в листе картона сквозными буквами какое-нибудь слово и, прибив гвоздиками этот картон к краям ящика, вынесем все на свет (но не на солнце). Через несколько часов, сняв картон, увидим на желтом фоне нашего газона из кресса надпись, выступившую зелеными буквами [1]). Рис. 5 представляет фотографический снимок опыта, показанного на лекции, снимок, снятый, понятно, на ортохроматической пластинке; для обыкновенных это была бы неразрешимая задача, так как они бессильны передать контраст желтого фона и светло-зеленой надписи, — еще наглядное доказательство преимуществ ортохроматического способа. Таким образом луч солнца сначала вырабатывает в растении сенсибилизатор-хлорофилл [2]), затем уже при его содействии вызывает самый величественный из фотографических процессов, совершающихся на нашей планете,—тот процесс разложения углекислоты и образования органического вещества, благодаря которому она только и становится обитаемой.

Как часто в последнее время приходится выслушивать псевдо-философские сетования на тему, что наука лишает природу ее поэтического ореола, стесняет полет философской мысли. Можно ли сказать это в настоящем случае? Факт, что в то же мгновение, когда зеленые лучи солнца рисуют на пурпуровой поверхности нашей чувствительной пластинки изящный отпечаток листа, его пурпуровые лучи вызывают в зеленой ткани этого листа величественный процесс, с которым связано существование всего человечества, этот факт не заставляет ли он нас от обычного действия, которое мы привыкли повторять автоматически, нисколько в него не вдумываясь, переноситься мысленно к одному из самых поразительных проявлений связи между солнцем и жизнью, уже поражавших младенчески-поэтическое воображение древних огнепоклонников и мимо которых эти современные псевдо-философы частенько проходят и не подозревая об их существовании?

Но благодетельное действие солнечного луча не ограничивается одним снабжением пищей всех живых существ; он ограждает их не

---

[1]) Подробности этого опыта см. в моей статье: Enregistrement photographique de la fonction chlorophyllienne par la plante vivante в Comptes Rendus Французской Академии за 1890 год. Настоящий сборник, отд. III.

[1]) Точки или черточки, которыми испещрено все поле рисунка — отдельные листочки кресса.

[2]) Мне удалось выяснить химическую сторону и этого явления. Показав сначала существование продукта восстановления хлорофилла, который, окисляясь на воздухе, превращается в хлорофилл, я затем нашел это тело и в этиолированных растениях и предложил назвать его протофиллином. Ни на чем не основанные претензии на вторичное открытие этого тела были предъявлены Г. Монтеверде на IX Съезде естествоиспытателей в Москве в 1894 г. (см. мою статью в Comptes Rendus Французской Академии за 1895 г.: La protophylline naturelle et la protophylline artificielle).

только от голода, но и от других опасностей, грозящих жизни. Исследования последних лет поставили вне сомнения факт, что солнечные лучи являются одним из самых могущественных средств для уничтожения болезнетворных микроорганизмов. Итальянская поговорка давно указывала на то, что куда проникает солнце, туда реже заглядывает врач. Английский ученый Маршаль Уорд доказал этот факт при помощи приема, который мы не можем назвать иначе, как фотографическим. На желатинной пластинке производится обычным способом посев какой-нибудь болезнетворной бактерии (в данном случае бактерия тифа). Культура эта покрывается непрозрачной пластинкой, в которой прорезано слово Typhus и выставляется на солнце. В результате оказывается, что между тем как на всех затененных местах бактерии размножаются, желатин от их присутствия замутится (их можно еще окрасить), в тех местах, где подействовал свет, посеянные бактерии будут убиты и, следовательно, не размножатся. Эти места останутся прозрачными. Словом, получится надпись (как на рис. 7) [1]. Этим способом



Рис. 6.

Рис. 7.

Фотография смертью.

можно также получить настоящие позитивные фотографии. Прилагаемый маленький ландшафт (рис. 6), полученный таким именно способом, заимствован из английского журнала „Nature“, где он появился при анонимной заметке, так что он, по всей вероятности, принадлежит самому редактору Н. Локиеру.

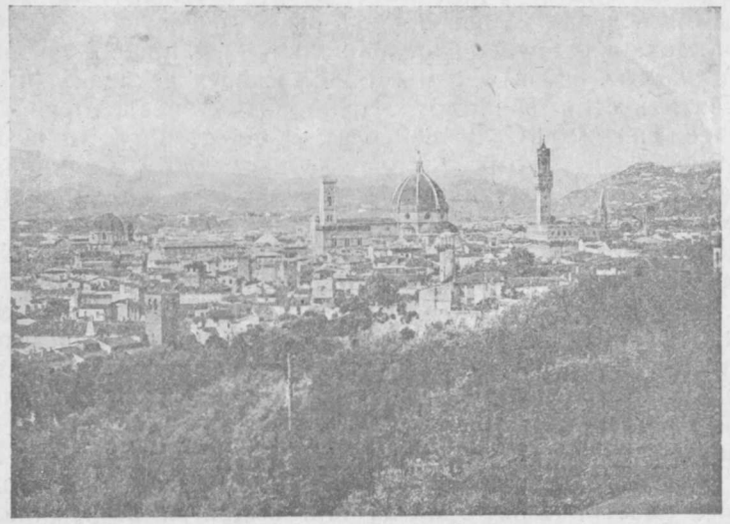
[1]) Мне неизвестны обстоятельства, при которых проф. Кох изобрел свои Plattenculturen, но невольно представляется мысль: не обязан ли он ими своей фотографической практике? Известно, что он начал свою научную деятельность с фотографирования бактерий, а всякому фотографу знакомо причиняющее немало досады явление, что в летние жары непроквасцованные негативы при продолжительном нахождении в воде выходят испещренными маленькими точками—колониями бактерий. Это настоящие Plattenculturen, появляющиеся благодаря благоприятной для развития бактерий летней температуре.



Мы можем, значит, вызвать в живом листе при помощи самой жизни фотографическое изображение, можем мы также воспользоваться кишащими в желатинном слое бактериями, чтобы рукою смерти начертить на нем такое же изображение. Луч света оставляет прочный след не только в нашей камере, но и везде в природе. Свет несет с собою жизнь и смерть: жизнь—тому, что является началом дальнейшей жизни, и смерть тому, что само заедает чужую жизнь. Не в праве ли мы с еще большим убеждением и сознанием повторить предсмертное восклицание великого поэта: „Свету, побольше свету!“

# ЧАСТЬ ВТОРАЯ

## РЕЧИ



# I. Действие света на хлорофилловое зерно.

(*С французского*) [1]).

Мм. Гг.

Ни один вопрос изо всей области физиологии растений не представляется с такою настоятельностью уму и воображению ботаника под этим чудным небом, среди этой роскошной растительности, как именно вопрос о природе той связи, которая существует между солнечным светом и растительностью.

Наилучше изученной стороной этого вопроса должно считать раскрытие значения света в процессе разложения углекислоты и образования органического вещества.

Благодаря успехам современной физики, выразившимся в блестящем обобщении, носящем название закона сохранения энергии, мы в состоянии понимать роль света в этом процессе. Мы знаем теперь, что солнечный свет поглощается растением, что живая сила световых волн, так сказать, слагается в запас в растении, и что этим запасом солнечной энергии человек пользуется в очаге своих машин, в организме своих домашних животных, в своем собственном теле.

Но если мы постигли настоящий смысл этого явления, мы еще далеки от понимания его подробностей. „Если кто-нибудь спросит нас“, говорит патер Секки в своей замечательной книге о *Единстве физических сил*, „если кто-нибудь спросит нас, как совершаются эти различные процессы, мы ответим, что нам не дано их понять во всех их подробностях“.

---

[1]) Речь, читанная на международном конгрессе ботаников во Флоренции в 1874 г. Atti del Congresso internazionale botanico tenuto in Firenze nel mese di Maggio. 1874. Pag. 108.

Именно с целью сделать шаг по пути к пониманию этих подробностей я и попрошу вас уделить мне на несколько минут ваше внимание.

Проследить судьбу солнечного луча, упавшего на зеленый лист, видеть, как он исчезает, превращаясь в химическую энергию, изучить ближайший механизм этого превращения, — не правда ли, Мм. Гг., что это одно из самых важных, самых любопытных исследований, которым может посвятить себя физиолог. Именно этими исследованиями я занимаюсь более шести лет. В 1869 году я поместил в Botanische Zeitung краткую заметку по этому вопросу; в настоящем сообщении я желал бы представить самый краткий очерк результатов, полученных с тех пор.

Разложение углекислоты происходит исключительно в зеленых частях растения. Исходя из этого факта, должно допустить, что лучи, поглощаемые этими частями, т.-е. хлорофиллом, и должны быть наиболее деятельны, так как очевидно, что лучи, прошедшие через лист без поглощения, не могут оказать действия. При помощи спектроскопа мы получаем представление о поглощении света хлорофиллом. С этой целью я употребляю помещаемый между спектроскопом и источником света следующий маленький аппарат [1]). Он состоит из двух концентрических трубок, закрытых с переднего конца параллельными между собою зеркальными пластинками. Раствор хлорофилла наливается в промежуток между двумя пластинками. Вдвигая или выдвигая внутреннюю трубку, можно по произволу изменять толщину рассматриваемого слоя раствора от одного до пятидесяти миллиметров. Наблюдая сначала слой в один миллиметр, замечаем появление первой характеристической абсорбционной полосы в красной части спектра. С увеличением толщины слоя наблюдается появление и следующих менее резких полос, равно как и сплошное поглощение наиболее преломленной части спектра, так что, наконец, не поглощается только узкая полоса наименее преломляющегося красного света.

Нанося получаемые результаты на разграфленную бумагу, соединяя все последующие спектры в один общий чертеж, получаем прилагаемый рис., дающий нам наглядное представление о законе поглощения света хлорофиллом.

Но можно сделать возражение, и оно действительно было недавно сделано: закон поглощения света зелеными частями живых растений будет ли тот же, как и для раствора? Было даже высказано мнение, что спектр листьев совсем иной, что абсорбционные полосы не те, что они занимают иное место, чем в спектре растворов.

Разрешить этот вопрос возможно только, комбинируя спектроскоп с микроскопом. Вот к какому приему я прибег. Изображение спектра, полученное при помощи любого спектроскопа, отражается посредством призмы с полным внутренним отражением по оси микроскопа. При помощи линзы (микроскопного объектива), закрепленной под столиком микроскопа и снабженной винтом для установки, получаем изображение спектра мельче булавочной головки, которое легко можно заставить совпадать с рассматриваемым в микроскоп предметом, в настоящем случае с хлорофилловым зерном.

Заслонив половину щели спектроскопа сосудом с раствором хлорофилла, получаем в поле микроскопа один над другим два спектра—один сплошной, другой с характеристическими абсорбционными линиями хлорофиллового раствора. Помещая в различные части сплошного спектра

[1]) Описанный и изображенный в моем исследовании „Спектральный анализ хлорофилла“. Спб. 1871.



хлорофилловое зерно, убеждаемся, что только в средних частях спектра оно представляется совсем прозрачным, так как эти лучи оно не задерживает. Но как только это зерно попадет в часть сплошного спектра, соответствующую главной абсорбционной полосе хлорофиллового раствора, оно становится непрозрачным, совершенно черным. То же замечается и в части спектра наиболее преломленной.

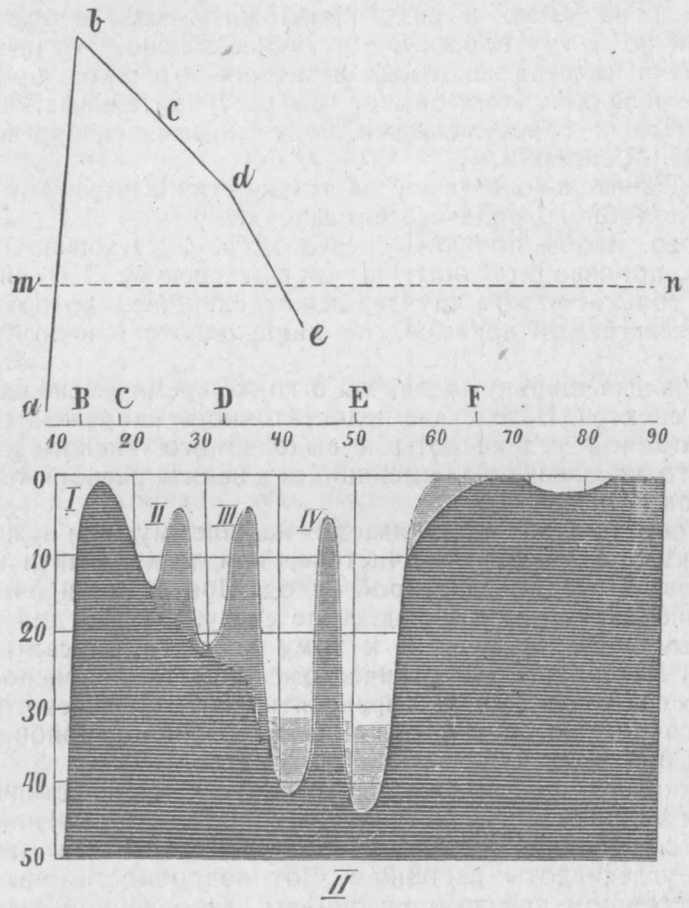



Рис. I.

Доказав, таким образом, тождество спектров живого хлорофилла и его растворов, мы можем результаты, полученные по отношению к последним, отнести и к первому.

Этим исчерпывается первая половина нашей задачи; мы знаем, какие лучи поглощаются растением [1]).

[1]) Прежде чем перейти к другому предмету, позволю себе остановить ваше внимание на моем приборе. Он представляет большое преимущество перед спектроскопом Сорби-Браунинга; их инструмент — спектроскоп окулярный, пригодный только для аналитических целей, между тем как мой аппарат дает объективный спектр. Он может служить для физиологических исследований; при его помощи можно изучать действие различных частей спектра на различные отправления растительной клеточки, как-то: движение протоплазмы, образование крахмала, хлорофилла и пр. Я предполагаю этим заняться.

Переходим ко второй части; попытаемся определить последующую участь этих лучей, поглощенных хлорофиллом, этой энергии, принявшей иную форму.

Какие лучи солнечного спектра вызывают в зеленых частях растения разложение углекислоты?

Это один из спорных вопросов, по которым мнения ботаников резко расходятся. Я не имею в виду предложить вам разбор позднейших исследований по этому вопросу, еще менее желаю я отвечать на чисто личные нападки на меня некоторых немецких ботаников; приведу только результаты последних моих опытов, более убедительных, чем предыдущие, и согласных с результатами, полученными недавно моим ученым другом, Н. К. Мюллером.

Но предварительно я укажу на трудности, с которыми приходится бороться в подобного рода исследованиях.

Для того, чтобы получить результаты, заслуживающие доверия, необходимо производить опыт в чистом спектре. Но чистый спектр получается только в том случае, если щель, чрез которую проходит луч света, разлагаемый призмой, не шире одного или полутора миллиметра.

Но уменьшая ширину щели, мы в то же время уменьшаем световое напряжение спектра. Вследствие недостаточного напряжения света количества разлагаемой углекислоты и выделяемого кислорода становятся так малы, что ускользают от имеющихся в нашем распоряжении приемов анализа газов.

Таким образом, мы наталкиваемся на дилемму: или нужно увеличить яркость спектра в ущерб его чистоте, или нужно найти новый прием анализа газов. Я предпочел второй исход. При помощи очень простого прибора, описывать который я здесь не стану, так как для этого потребовалось бы много времени и к тому же я его описал в сообщении, сделанном в Петербургском химическом обществе,—при помощи этого прибора я в состоянии теперь определять 0,0001 кубического сантиметра с такою же точностью, с какой имеющимися до сих пор приборами определялись едва 0,01 доли кубического сантиметра.

Вооружившись приемами, допускающими такую степень чувствительности, я впервые мог приступить к точному разрешению вопроса—какие лучи солнечного спектра наиболее деятельны в этом процессе разложения углекислоты растением. Вот подробности опыта. В чистом спектре, полученном при помощи призмы, наполненной сероуглеродом, помещается ряд глухих с одного конца стеклянных трубок, погруженных открытым концом в ртутную ванну. Каждая трубка получает известный объем определенной смеси воздуха и углекислоты и кусок зеленого листа одинаковой поверхности и вырезанный из того же листа. Трубочки располагаются так, что вторая с краю приходится как раз в той части спектра, которая соответствует главной абсорбционной полосе, так что, если смотреть на нее через слой хлорофилла, она представляется уже не красной, а черной.

После 6 или 10-часового действия спектра газ в трубках анализируется. Вот получаемые результаты.

Известно, что в темноте или при недостаточном освещении растения выделяют углекислоту, вместо того, чтобы разлагать ее. Очевидно, что при известном напряжении света оба явления будут уравновешиваться, взаимно уничтожаться. Эта точка, мы можем назвать ее нулевой, обозначена на рис. чертой *mn*. Количества разложенной углекислоты



представлены положительными ординатами (над чертой *mn*), количества выделенной углекислоты ординатами отрицательными (под чертой *mn*). Линия *abcde* представляет среднюю из трех опытов.

Мы видим, что в крайнем красном замечается *выделение* углекислоты; *в красном между линиями Фраунгофера B и C, соответствующем характеристической абсорбционной полосе хлорофилла, наблюдается maximum разложения;* в оранжевом и желтом количества разложенной углекислоты убывают, и, наконец, в зеленом получаются опять отрицательные величины, т.-е. углекислота не разлагается, а только образуется.

Одного взгляда на эти две сопоставленные фигуры достаточно, чтобы убедить в полном совпадении между поглощением света хлорофиллом и разложением углекислоты, между затраченной энергией и произведенной работой. Оба максимума совпадают; там, где нет поглощения, нет и разложения; где поглощение слабее, и разложение менее значительно. Если отвлечься от второстепенных *maxima* (II, III, IV), то совпадение должно признать полным.

Таким образом можно считать доказанным, что наиболее деятельными оказываются именно те лучи, которые поглощаются наиболее энергично.

Но здесь невольно возникает следующее возражение. Лучи наиболее преломляющиеся поглощаются почти так же энергично, как и красные лучи, а разложения там не происходит. На это возражение можно ответить, что энергия, живая сила этих лучей значительно слабее энергии лучей красных и оранжевых. Мы имеем только один способ измерения энергии, живой силы данного луча; он заключается в определении их теплового напряжения, а известно, что в видимой части спектра maximum теплового действия лежит с красного конца, minimum с фиолетового. Таким образом в конечной форме результат опытов может быть формулирован так:

*Углекислота разлагается лучами, поглощенными хлорофиллом, а из этих лучей наиболее деятельными оказываются те, которые обладают наибольшей тепловой энергией.*

Сделаем еще шаг, попытаемся узнать, каков будет конечный результат этой диссоциации углекислоты. Мы знаем, что он выражается в образовании, в синтезе органического вещества. Можно надеяться, что новейшие синтетические исследования П. Тенара и Броди разъяснят нам вскоре промежуточные фазы этого процесса, но пока нам известен только конечный продукт этого превращения, т.-е. образование углевода—крахмала.

Благодаря исследованиям Сакса, Фаминцына, Крауза и Годлевского мы знаем, что под влиянием света в хлорофилловых зернах образуется крахмал. На этой таблице я изобразил первоначальное появление и последующее развитие крахмала в хлорофилловых зернах ложных луковиц Phajus [1]).

Подведем итог всему сказанному. Солнечный луч, пролетевший без видимого поглощения громадное пространство, отделяющее нас от центрального светила, ударяясь о хлорофилловое зерно, поглощается, потухает, т.-е. превращается; живая сила его колебаний затрачивается на диссоциацию частиц углекислоты и воды, и это превращение обна-

---

[1]) Представлена была раскрашенная таблица, иллюстрирующая этот процесс образования крахмала, обративший на себя внимание только много лет спустя, когда он был описан Шимпером.

руживается одновременно в освобождении кислорода и в образовании органического вещества.

Это органическое вещество, древесина, крахмал, сахар, сгорая в наших очагах, в нашем теле, является источником механической силы. Мы, следовательно, должны признать в хлорофилловом зерне исходную точку, как бы фокус, из которого истекает вся энергия, приводящая в движение наши машины, наше собственное тело. Но эта энергия не что иное, как солнечная теплота, сначала поглощенная, затем освобожденная органическим веществом растения. Не в праве ли мы видеть в изложенном исследовании только подтверждение, как бы экспериментальное доказательство, справедливости основной мысли, выраженной в этих строках великого флорентийского поэта:

Guarda'l calor del sol che si fa vino
Giunto all'umor che dalla vite cola.

*Dante Purgat. C. XXV.*

# II. О физиологическом значении хлорофилла.

*(Речь, читанная в общем заседании VI-го Съезда Русских Естествоиспытателей и Врачей в С.-Петербурге в 1879 г.).*

„Мм. гг. Едва ли какой процесс, совершающийся на поверхности земли, заслуживает в такой степени всеобщего внимания, как тот, далеко еще не разгаданный процесс, который происходит в зеленом листе, когда на него падает луч солнца. Рассматриваемый с химической точки зрения,— это тот процесс, в котором неорганическое вещество, углекислота и вода, превращается в органическое. Рассматриваемый с физической, динамической точки зрения, — это тот процесс, в котором живая сила солнечного луча превращается в химическое напряжение, в запас работы. Рассматриваемый с той и другой точки зрения, — это процесс, от которого в конечной инстанции зависят все проявления жизни на нашей планете, а, следовательно, и благосостояние всего человечества.

В этом процессе участвуют два фактора—свет и зеленый лист или, вернее, листовая зелень, т.-е. *хлорофилл*. На значение этого второго фактора, на его роль в указанном процессе я и желал бы обратить ваше внимание.

Еще не так давно хлорофилл обращал на себя внимание почти исключительно одних ботаников, да и то небольшого их числа. В настоящее время положение дела видимо изменилось. Интерес, возбуждаемый этим телом, не только охватывает все более и более значительный круг ботаников, но и за пределами нашей науки растет число лиц, занимающихся этим вопросом. Мне стоит упомянуть о Бекереле, Ломмеле, Стоксе, Клод - Бернаре, Поле - Бере, Гоппе - Зейлере, Байере, Сорби—для того, чтобы почти каждый из здесь присутствующих услышал знакомое имя представителя своей науки. Вопрос о хлорофилле очевидно на очереди, он делается модным вопросом. С одной стороны, этому нельзя не порадоваться; нельзя не порадоваться, что вопрос этот возбуждает то внимание, которое он заслуживает, но, с другой стороны, нельзя не пожалеть, что и его постигла участь всякого модного вопроса. Рядом с серьезными, продуманными трудами являются работы спешные, незрелые; производятся опыты, ничего не доказывающие, высказываются соображения, не выдерживающие критики; одной легкомысленной фразой отвергаются результаты чуть не целого столетия научного труда и на такой же легкомысленной фразе возводятся теории, лишенные экспериментальной почвы. Вследствие такого состояния литературы становится необходимым от времени до времени подводить критический итог сделанным успехам, отделяя существенное от несущественного, доказанное от недоказанного или положительно неверного. Подобный сжатый

итог приблизительно за последнее десятилетие желал бы я представить в настоящем докладе.

Но прежде всего, в чем же заключается это важное значение хлорофилла и представляет ли он действительно такое значение? С первых же слов мы встречаем даже в самой позднейшей современной литературе резкое, коренное разногласие.

Можно сказать, что со времени Пристли, т.-е. с 70 годов прошлого столетия, стало очевидным, что разложение углекислоты растением находится в зависимости от зеленого цвета, и с тех пор каждый новый опыт служил тому подтверждением. Возникавшие сомнения всегда разрешались в одинаковом смысле. Так, например, пестролистные растения, несмотря на красный, иногда почти черный цвет, разлагают углекислоту; но стоит их подвергнуть микроскопическому исследованию или подействовать на них сернистой кислотой или еще проще заморозить и оттаять их, и они тотчас обнаружат присутствие хлорофилла. В оливково-бурых, почти желтых или багряных морских водорослях, разлагающих углекислоту, даже микроскоп не обнаруживает хлорофилла,—но зато его присутствие изобличается спектроскопом. Некоторые паразитные цветковые растения не представляют зеленого цвета, и потому предполагалось, что они вовсе не разлагают углекислоты, но позднее микроскоп и спектроскоп обнаружили в них следы хлорофилла; вслед затем оказалось, что они способны, хотя в весьма слабой степени, разлагать углекислоту.

Одни только грибы, в которых никогда не находится хлорофилла, никогда и не разлагают углекислоты. Наконец Н. Мюллер, сравнивая способность листьев разлагать углекислоту с интенсивностью их зеленой окраски, приводит числовые данные, подтверждающие, что, чем интенсивнее окраска, тем сильнее разложение. Повидимому, едва ли какой факт в физиологии растений стоит на более прочной опытной почве. Сколько в течение столетия производилось опытов, столько получалось и доказательств тому, что присутствие хлорофилла и разложение углекислоты идут рука об руку. Есть хлорофилл—есть и разложение; нет хлорофилла—нет и разложения; мало хлорофилла—разложение слабое; много хлорофилла—разложение энергичное.

И, однако, против этого основного положения высказываются возражения. Дрэпер высказал мнение, что растения, выращенные в темноте и вынесенные на свет, начинают разлагать углекислоту прежде, чем позеленеют. Любавин, приводя в своей физической химии это мнение, делает заключение, что, следовательно, не один хлорофилл способствует разложению углекислоты в растении. Но всего решительнее выступает против господствующего воззрения на значение хлорофилла Саксе [1]). В своей книге, посвященной фито-химии, он уделяет главе о хлорофилле самое видное место и развивает там такое воззрение: хлорофилл не условие, а только последствие, первый, по его мнению, продукт разложения углекислоты. Я не буду здесь касаться крайне слабых, по моему мнению, химических соображений Саксе, которыми он старается доказать возможность взаимного превращения хлорофилла в крахмал и наоборот. Для нас важнее вопрос: действительно ли хлорофилл только последствие, а не условие разложения углекислоты. Другими словами, для нас важно знать, что наблюдается ранее—появление ли хлорофилла или разложение углекислоты. По счастию, этот вопрос разрешен таким точным наблю-

[1]) Sachse. Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate. 1877.



дателем, как Буссенго,—опыт которого очевидно остался неизвестным Саксе. Опыт Буссенго заключается в следующем. В атмосферу водорода или азота с примесью углекислоты вводятся выращенные в темноте (этиолированные) листья и палочка фосфора, и все выставляется на свет. Предварительные опыты убедили Буссенго, что зеленые листья при таких условиях моментально (т.-е. через несколько долей секунды инсоляции) начинают выделять кислород, что обнаруживается свечением фосфора. Этиолированные листья никогда кислорода не выделяли. Буссенго показал далее, сравнивая цвет начинающих зеленеть листьев с хроматическими дисками Шевреля, что только с того момента, когда листья обнаруживают ясно зеленоватый оттенок, появляется и кислород. Если к этому прибавить, что при помощи спектрального анализа можно показать присутствие хлорофилла, как это сделал Визнер, после нескольких минут инсоляции этиолированных листьев, т.-е. тогда, когда глаз еще не замечает ни малейшего зеленого оттенка, то станет очевидным, что образование хлорофилла предшествует выделению кислорода.

Итак, оставаясь на почве фактов, мы убеждаемся в справедливости господствующего мнения, что хлорофилл не последствие, не продукт, а необходимое условие, предшествующее разложению углекислоты, и что до настоящего времени нам неизвестно другого тела, которое могло бы заменить собою хлорофилл. Разложение углекислоты есть, следовательно, отправление, функция хлорофилла [1]).

Восстановив, защитив от новейших нападок ту роль, которая упрочена за хлорофиллом уже почти целое столетие, переходим к ближайшему изучению этой роли. Нередко приходится слышать мнение, что связь между хлорофиллом и разложением углекислоты есть только факт эмпирический. Попытаемся же для этого эмпирического факта найти рациональное объяснение. Постараемся ближе изучить самый механизм этого процесса разложения угольной кислоты. Хлорофилл, очевидно, может играть в нем двоякую роль—физическую или химическую, или ту и другую вместе. Можно сказать, что большинство исследователей занималось исключительно химической ролью хлорофилла; немецкие ботаники даже отрицают его физическую роль, а между тем мы увидим, что это единственная сторона вопроса, которую можно считать достаточно выясненною, тогда как о химической роли пока еще приходится высказывать только более или менее гадательные предположения.

Посмотрим же, в чем заключается физическая роль хлорофилла в этом процессе разложения углекислоты. Для этого нам необходимо познакомиться с действием другого и главного фактора, участвующего в этом процессе,—т.-е. с действием света. Посмотрим, как, т.-е. какими своими составными частями, участвует солнечный луч в этом процессе. Я не могу вдаваться здесь в критический разбор исторического хода развития этого вопроса, тем более, что задача эта мною выполнена в другом месте [2]).

[1]) Кроме указанных противоречий, нуждавшихся в опровержении, учение о хлорофилле в последнее время подверглось нападкам со стороны Прингсгейма. Но первые шаги знаменитого альголога в совершенно новой для него области экспериментальной физиологии были до того неудачны, а развиваемая им теория до того лишена научной почвы, до того граничит с абсурдом, что здесь излишне и неудобно было бы даже о ней упоминать.

[2]) В моем исследовании «*Об усвоении света растением*». Спб. 1875. Подвергая критике господствующий в немецкой ботанической литературе взгляд, что разложение углекислоты зависит от светового напряжения или, вернее, от яркости луча, я указал

Прежде всего очевидно, что всякое фото-химическое явление может быть вызвано только теми лучами, которые поглощаются телом, потому что те лучи, которые проходят через тело не задерживаясь, конечно, не могут производить в нем работы. Отсюда вытекает правило, указанное Гершелем и мисс Сомервиль в применении к растительным пигментам, подтвердившееся в настоящее время и для бесцветных тел, — что фото-химическое явление вызывается светом, цвет которого комплементарен цвету изменяющегося тела. Правило это верно, конечно, только со следующим ограничением: действующий луч должен входить в состав комплементарного цвета, но не всякий луч, входящий в состав комплементарного цвета, будет действующим. На основании этого, заключение, сделанное несколько лет тому назад Дюбренфо в Парижской Академии, что растение зеленого цвета — *следовательно*, углекислота разлагается красными лучами,—хотя впоследствии и оказалось верным, было преждевременно, потому что опиралось на слишком смелую посылку. Сходное предположение еще ранее было высказано Гельмгольтцом и не оправдалось. Гельмгольтц, исходя из того факта, что листья энергично поглощают синие, фиолетовые и ультрафиолетовые лучи, высказал мнение,

на экспериментальную ошибку в работах Дрепера и Пфеффера, объясняющую полученный ими результат. Здесь не место повторять данные мною объяснения. К сказанному мною там могу прибавить еще новый довод. В единственном исследовании, появившемся после выхода моей работы, во втором исследовании Н. Мюллера (Botanische Untersuchungen V. h. 1876), этот исследователь впал в ту же ошибку, на которую я указывал в работах Дрепера и Пфеффера, и, как и следовало ожидать, получил результаты, сходные с их результатами. Во второй своей работе для увеличения интенсивности спектра он раскрыл щель *до 6 миллиметров* и, следовательно, имел спектр крайне не чистый, в котором, как я объяснил, maximum разложения *должен* перемещаться в желтую часть спектра. Таким образом, мне кажется, эта работа Мюллера является поверкой, доказательством справедливости моего объяснения. Исследователь, избегнувший в своей первой работе ошибки Дрепера и Пфеффера, получил результаты несогласные с их результатами и согласные с моими, но вот во второй работе он впадает в ту же ошибку, от которой я предостерегал,—и получает тот же ошибочный результат. Справедливость этого объяснения подтверждается и тем соображением, что, еслиб результаты Дрепера и Пфеффера оказались фактически верными, то для них затруднительно было бы найти удовлетворительное теоретическое объяснение. В самом деле, какая может быть связь между объективным физическим явлением—разложением углекислоты и яркостью света,—явлением чисто субъективным физиологическим, существующим только для нашего зрительного органа? Ведь нельзя же утверждать, что это совпадение *чисто случайное*, как это делает Сакс и большинство немецких ботаников! Существуют, правда, фото-химические процессы, следующие тому же закону, как и акт зрения, напр., электрический фотометр Бекереля дает показания, согласные с оптическими, т. е. физиологическими фотометрами, но там, быть может, связь объясняется сходством цвета изменяющихся веществ: и серебряный препарат, изменяющийся в фотометре Бекереля, и глазной пурпур, изменяющийся в глазе, — оба фиолетового цвета. Но растение ведь зеленого цвета, следовательно, подобного совпадения здесь нельзя ожидать. К тому же самая задача, определение относительной интенсивности светового напряжения различных частей спектра, принадлежит к числу неразрешенных задач, так как исследования Гельмгольтца и других ученых показали, что глаз в различной степени чувствителен к различным цветам. — Следовательно, все подобные попытки, не исключая и фотометра Фирордта, на который Сакс и другие ботаники возлагают надежды, лишены строго научного смысла. Доказательством тому, как шатки получаемые подобным образом результаты, могут служить опыты Дрепера, опубликованные месяца два тому назад. Дрепер, при помощи весьма простого фотометрического приема, приходит к заключению, что, вопреки Фрауенгоферу, Фирордту и др., самыми яркими лучами в *призматическом* спектре следует признать *красные, а не желтые*, и что в нормальном спектре (спектре решеток) все лучи одинаково ярки. Я полагаю, что те немецкие ботаники, которые принимали на основании работ Дрепера и др., что разложение углекислоты зависит от светового напряжения луча и что потому желтые лучи должны обладать наибольшей энергией, будут немало смущены, узнав, что тот же самый Дрепер теперь утверждает, что самые яркие, самые светлые лучи не желтые, *а красные*.



не зависит ли разложение углекислоты от этих именно лучей. Но опыт не оправдал его предположения; действие этих лучей крайне слабо, и разложение, главным образом, зависит от менее преломляющейся части спектра.

Как бы то ни было, очевидно, что мы должны и скатьлучи, разлагающие углекислоту, в числе тех, которые поглощаются растением, и не вообще растением, а именно зелеными частями растения, так как мы видели, что растения этиолированные углекислоты не разлагают. Отсюда прямое заключение: лучи, разлагающие углекислоту, должны находиться в числе тех, которые поглощаются хлорофиллом, и, следовательно, роль этого тела мы прежде всего должны искать в его оптических свойствах. Как ни проста эта мысль, она тем не менее явилась последней, да и до настоящего времени большинство немецких ботаников не признает ее очевидности. Мысль эта была почти одновременно высказана Жаменом и Бекерелем и впоследствии приобрела защитника в Ломмеле. Фактическое, экспериментальное доказательство она получила только в исследованиях Николая Мюллера и в моих [1]). Располагая весьма чувствительным способом для анализа газа, я в первый раз мог произвести опыт с требуемой точностью и получил результат, подтвердивший справедливость предположений Жамена и Бекереля. Спектр хлорофилла, как известно, характеризуется резкой абсорбционной чертой между фраунгоферовыми линиями B и C; при увеличении концентрации, к ней присоединятся еще несколько менее резких, которые вскоре сливаются вместе в одну широкую полосу, поглощающую часть красных, оранжевые и желтые лучи. Крайние красные лучи почти не поглощаются, зеленые поглощаются очень слабо, но, начиная с синих, наиболее преломляющаяся часть спектра поглощается весьма энергично. Общий закон поглощения света хлорофиллом выражен мною в графической форме в указанных выше исследованиях. Опыт показал, что разложение углекислоты зелеными частями растения происходит исключительно в той части солнечного спектра, которая соответствует только что описанной полосе, поглощаемой хлорофиллом. Maximum разложения совпадает с maximum поглощения, и, вообще, формы кривых поглощения и разложения близко соответствуют. В крайних красных и в зеленых лучах, не поглощаемых хлорофиллом, разложение углекислоты не происходит. Семь рядов опытов дали результаты вполне между собою согласные. Результату этому нельзя дать иного объяснения, кроме того, что в разложении углекислоты действуют лучи, поглощаемые хлорофиллом. По крайней мере, по отношению к группе *BC* не может быть сомнения. При помощи микроспектрального исследования я показал ранее, что эти лучи поглощаются отдельными хлорофилловыми зернами [2]). Если лучи, поглощаемые хлорофиллом, не затрачиваются на разложение, то откуда же в этой части спектра возьмется энергия, необходимая для разложения? если лучи, поглощенные хлорофиллом, не вызывают разложения, то здесь должен бы находиться *minimum* или даже *нуль* действия, а мы находим *maximum*. Следовательно, лучи, разлагающие углекислоту, предварительно поглощаются хлорофиллом, и, чем сильнее их поглощение, тем сильнее их разлагающее действие. Этот результат подкрепляется и некоторыми другими

[1]) Исследования Мюллера помещены в его Botanische Untersuchungen I. H. 1872. Мои исследования помещены в Botanische Zeitung за 1869; Atti del Congresso Internationale Botanico 1874, p. 108; Труды С.-Петербургского Общества Естествоиспытателей, 1875; Comptes Rendus 1877, Annales de Chimie et de Physique. V s. t. 12. 1877.

[2]) Журнал Русского Химического Общества, 1873 г.

опытами. Так, напр., Кальете показал, что зеленые лучи (т. е. прошедшие чрез зеленую жидкость) разложения углекислоты не вызывают; другие исследователи показали, что в зеленых и крайних красных лучах развитие и существование растения не нормально. Наконец, лучи света, предварительно прошедшие через слой раствора хлорофилла, вызывают только очень слабое разложение углекислоты.

Остается разъяснить, почему синие, фиолетовые и пр. лучи оказывают такое слабое действие, а темные тепловые лучи вовсе не оказывают действия, так как Кальете доказал, что лучи, прошедшие через Тиндалевскую жидкость (раствор иода в сернистом углероде), неспособны вызывать разложение углекислоты в зеленых листьях. Для объяснения ничтожного действия синих и пр. лучей можно предложить несколько объяснений; самым вероятным мне представляется следующее. То, что мы называем хлорофиллом, есть смесь двух веществ: зеленого, которое я предложил назвать *хлорофиллином*, и желтого—*ксантофилла*. Ксантофилл—это то вещество, которое появляется ранее хлорофиллина в этиолированных растениях и сохраняется долее его в пожелтевших осенних листьях. Это вещество само, очевидно, не способствует разложению углекислоты, так как мы видели в опыте Буссенго, разложение начинается только тогда, когда появляется хлорофиллин. Но если ксантофилл не участвует в разложении, то он очевидно препятствует ему; как желтое тело, он не допускает до хлорофиллина часть синих и пр. лучей, следовательно, ослабляет их действие. Хлорофиллин в синих лучах находится как бы в темноте. Что касается до темных тепловых лучей, то в этом отношении мы имеем мало фактов. Мы знаем, что уже крайние красные лучи не поглощаются хлорофиллом; весьма возможно, что и темные тепловые мало поглощаются им. Это подтверждается даже следующим опытом. Крукс описывает один опыт с радиометром, в котором он покрывал лопаточки радиометра хлорофиллом; оказалось, что тогда радиометр был чувствителен к светлым — и мало чувствителен к темным лучам.

Итак, вот в каком положении находится вопрос о связи между разложением углекислоты и оптическими свойствами хлорофилла. Темные тепловые лучи не действуют, но они, вероятно, и не поглощаются; крайние красные не действуют, потому что не поглощаются; главное действие сосредоточено в той полосе, где поглощение наибольшее, и в пределах этой полосы, чем сильнее поглощение, тем сильнее разложение; зеленые лучи почти не поглощаются и почти не действуют; синие поглощаются энергично, а действуют слабо, но мы знаем, что зеленый пигмент хлорофилла сопровождается желтым, который, очевидно, должен ослаблять действие синих и пр. лучей.

Не знаю, много ли найдется в фото-химии явлений, где бы связь между поглощением и химической работой была выслежена с такой полнотой.

Далее рождается вопрос: что ж из того, что хлорофилл поглощает известные лучи и что эти именно лучи вызывают разложение углекислоты—как же объяснить себе ближайшую связь между этими двумя явлениями? В ответ на этот вопрос современная фото-химия предлагает нам, если не объяснение, то целый ряд аналогических случаев. Как известно, Фогель открыл в высшей степени любопытное явление, что некоторые пигменты способны вызывать разложение чувствительных к свету веществ в таких лучах, в которых эти вещества сами по себе не разлагаются—лишь бы только эти лучи поглощались пигментами. Подобные тела обыкновенно называются сенсибилизаторами. Бекерель применил открытие Фогеля к хлорофиллу. Он показал, что слабый раствор хлорофилла, прибавленный к коллодиуму, вызывает разложение иодистого серебра в таких лучах спектра, в которых этот препарат сам по себе не разлагается, и оказалось, что эти места как раз соответствуют абсорбционным полосам хлорофилла—по крайней мере те негативные пластинки, которые мне показывал Бекерель, представляют самые точные изображения спектра хлорофилла. Итак, не подлежит сомнению, что хлорофилл относится к категории теперь уже многочисленных тел, так называемых сенсибилизаторов. Если он играет роль сенсибилизатора по отношению к иодистому серебру, то естественно допустить, что он может играть ту же роль по отношению к углекислоте.



Как собственно действует хлорофилл, просто ли физически, превращая энергию солнечного луча в иную форму движения, которое сообщается затем частицам серебряной соли, или вместе с тем и химически, т.-е. участвуя в реакции, поглощая продукты диссоциации,—вопрос этот Бекерель оставляет открытым. Мы увидим далее, что по отношению к разложению углекислоты хлорофилл, вероятно, действует и химически, т.-е. сам одновременно изменяется, превращается.

Возникает и еще вопрос: те лучи, которые поглощаются хлорофиллом, не имеют ли они еще специального значения по отношению к процессу разложения углекислоты? Разложение углекислоты—реакция эндотермическая, сопровождающаяся поглощением значительного количества теплоты, — отсюда естественно предположить, что наибольшим разлагающим действием будут обладать те лучи, которые обладают наибольшей энергией, выражающейся в их тепловом эффекте. Но какие лучи обладают наибольшей энергией,—этого мы в точности не знаем. Долго господствовавшее мнение, что наибольшим тепловым эффектом обладают темные лучи, теперь оказалось неверным. Вычисление Лундквиста на основании экспериментальных данных Ламанского, в особенности недавно появившееся исследование Мутона [1]) делают несомненным вывод, что наибольшею энергией обладают не темные, а светлые лучи солнца; но какой именно длине волны соответствует maximum теплового эффекта,—едва ли мы еще знаем. Он лежит где-то около оранжевой части спектра. Является возможным предположение, что лучи, поглощаемые хлорофиллом, будут именно те лучи, которые обладают наибольшей энергией. Другое соображение заключается в следующем. Ангстрём высказал мысль, что часть атмосферических Фраунгоферовых линий принадлежит углекислоте—другая часть несомненно принадлежит водяному пару. Ангстрём замечает далее, что спектр атмосферы, спектр зари напоминает спектр хлорофилла,—отсюда может явиться предположение, что хлорофилл поглощает лучи, которые особенно пригодны для разложения углекислоты и воды, так как они поглощаются этими телами.

Итак, вот что нам известно о физической роли хлорофилла. Можно ли после этого утверждать, что связь между присутствием хлорофилла и разложением углекислоты — только грубый эмпирический факт, когда эта связь прямо вытекает из оптических свойств хлорофилла и его роли как сенсибилизатора, подкрепляемой многочисленными примерами других сенсибилизаторов.

Посмотрим теперь, что нам известно о хлорофилле с химической точки зрения. Мало и очень мало. Пока мы знаем, что хлорофилл во всех исследованных растениях является с одинаковыми оптическими

[1]) *Mouton*. Comptes Rendus, 1879, p. 295.

признаками и по всей вероятности тождествен. Знаем далее, что то, что прежде называлось хлорофиллом, есть смесь, но не синего и желтого тела, как полагал Фреми, а зеленого и желтого [1]). Это зеленое тело, которое я описал под названием *хлорофиллина*, было позднее описано Краузом и неудачно названо *цианофиллом*, потому что оно вовсе не цианового, а зеленого цвета. Что касается до элементарного состава и химической функции хлорофилла, то можно сказать, что мы почти на-днях только получили надежду на приобретение этих сведений. Почти одновременно Гоппе-Зейлер и Готье обнародовали, что им удалось из той смеси, которая до сих пор называлась хлорофиллом, выделить чистое кристаллическое тело. Тело, полученное Гоппе-Зейлером и названное им *хлорофилланом*, судя по описаниям, соответствует моему *хлорофиллину*. Тело же, полученное Готье, очевидно, бурый продукт разложения, уже известный под названием *филлоксантина* (да и самый способ получения его не заслуживает такого доверия, как способ Гоппе-Зейлера).

Из всего, что нам пока известно о химических свойствах хлорофилла, по отношению к занимающему нас вопросу заслуживает внимания тот факт, что хлорофилл под влиянием света способен переходить в это бурое видоизменение, *филлоксантин*, который в свою очередь может при других условиях превращаться обратно в зеленый хлорофиллин. Такое изменение наблюдается каждый раз, когда растворы хлорофилла выставляются на солнечный свет; такое изменение совершается и в живых листьях осенью или даже в некоторых случаях летом при слишком ярком свете. Во всех этих случаях хлорофиллин превращается в бурый филлоксантин, который далее разрушается светом и в результате остается только желтый ксантофилл. Наконец, что особенно любопытно, целый ряд фактов приводит нас к заключению, что подобное же превращение хлорофилла совершается и постоянно в зеленом листе. Ботаников давно поражал факт, почему хлорофилл в растворах под влиянием солнечного света буреет, а в листьях остается зеленым. В 1871 году я высказал предположение, что по всей вероятности и в листе под влиянием света же в связи с ассимиляцией происходит и обратный переход и что таким образом в живом хлорофилловом зерне одновременно происходят два противоположные процесса. Предположение это нашло себе подтверждение в последующих работах Визнера. Исследования Визнера приводят нас к заключению, что образование хлорофилла и его сохранение в листе зависит от одновременного существования двух процессов: образования и разрушения зеленого тела, что хлорофилл находится в состоянии постоянного превращения, что зеленый цвет листа сохраняется только, пока оба процесса находятся в известном равновесии [2]). Существует далее основание предполагать, что эти два процесса представляют последовательные окисления и раскисления и что они находятся в связи с процессами разложения углекислоты. В этих данных, по всей вероятности, заключаются элементы будущего объяснения химической роли хлорофилла [3]). Но пока еще эти данные до того неопределенны, что не оправдывают неоднократно делавшихся попыток выражать эти превращения и их отношения к разложению углекислоты какими бы то ни было уравнениями. Во всяком случае подвижность состава хлорофилла и его изменение в живом растении под влиянием света делают вероятным, что он принадлежит к числу тех сенсибилизаторов, которые сами участвуют в реакции; а существование описанного кругового процесса разрушения и образования может объяснить, почему вещество, являющееся в таких ничтожных количествах, играет такую важную роль. Таковы итоги наших сведений о физической и химической роли хлорофилла в процессе усвоения углерода.

Сведения, полученные нами относительно физической роли хлорофилла, особенно любопытны в том отношении, что дадут нам со временем возможность количественного изучения занимающего нас процесса, т.-е. зависимости усвоения углерода растением от действующего на него света. Одна из интереснейших задач, которую может представить физиология, с одной стороны, климатология, с другой, заключается в том, чтобы найти количественное выражение для отношения между количеством лучистой энергии, посылаемой солнцем на известную площадь, и интенсивностью растительного процесса вообще и процесса разложения углекислоты в особенности. Разрешение этого вопроса не только любопытно с теоретической, научной точки зрения, оно в высшей степени важно и с практической, экономической точки зрения. Задача эта не что иное, как разрешение вопроса о физическом пределе плодородия земли. Процесс разложения углекислоты сопровождается поглощением тепла. Солнечная теплота и есть та энергия, которая затрачивается на произведение этой работы. Любопытно узнать, какая доля этой силы может утилизироваться в этом процессе и какая действительно утилизируется.

Первый ученый, попытавшийся сделать подобное вычисление, был, насколько мне известно, опять тот же Эдмонд Бекерель. Определив, с одной стороны—количество углерода, усвояемого за период вегетации гектаром леса и гектаром земляной груши (одной из самых интенсивных культур), он вычислил, какое количество единиц тепла выделило бы сгорание этого углерода. С другой стороны—вычислив, на основании данных Пулье, какое количество единиц тепла могла получить от солнца та же площадь за тот же промежуток времени, он мог узнать, какая доля всей солнечной энергии, выпадающей на известную площадь, утилизируется упомянутыми двумя культурами. Оказалось, что при лесной культуре утилизируется 0,001, при полевой—0,004 [1]).

Но мы можем определить и непосредственно, какое количество углекислоты разлагается в известный промежуток времени известною площадью листа и какое количество единиц тепла получит за тот же промежуток времени эта площадь. Я сделал такое вычисление на основании средних данных Буссенго и своих собственных и получил, что

---

[1]) *Спектральный анализ хлорофилла.* Спб. 1871 (см. настоящий сборник. Часть III).

[2]) В этом отношении хлорофилл отчасти напоминает зрительный пурпур.

[3]) Уже после произнесения этой речи я познакомился с содержанием только что появившейся *Mecanique Chimique* Бертло. В главе, посвященной фото-химическим явлениям, Бертло принимает результаты моих исследований относительно физической роли хлорофилла. Весьма любопытно, что он придает важное значение тому факту, что в растении одновременно с разложением углекислоты постоянно совершается обратный процесс окисления.



[1]) Я делал подобные же вычисления для некоторых полевых культур, принимая во внимание органическую массу корневых остатков и тщательно вычисляя сумму единиц тепла, выпадающих за период культуры (на основании тех же средних данных Пулье). По моим вычислениям получались цифры несколько более высокие, чем у Бекереля. Так, органическое вещество, полученное при культуре райграсса (вместе с корневыми остатками), соответствует $^1/_{135}$ всей выпадающей солнечной энергии. Самые большие жатвы овса и ржи (зерно, солома, корневые остатки) утилизируют до $^1/_{80}$ всей энергии. Мы, следовательно, вероятно, не ошибемся, приняв, что наши культуры утилизируют от $^1/_{1000}$ до $^1/_{100}$ всей выпадающей на данную площадь солнечной энергии. См. *„Жизнь растения“*. Москва 1878 г., лекция *„Растение как источник силы“* (перепечатано в настоящем сборнике, стр. 63).

средним числом лист утилизирует один процент всей получаемой энергии, в самом благоприятном случае — два процента. Впоследствии такое же вычисление было сделано английским физиологом Дьюаром, и он получил весьма близкую цифру, именно 1/120, и то потому, что ввел в свои вычисления одно соображение, которое едва ли справедливо. Итак, средним числом один зеленый лист усвояет, капитализирует 1% всей получаемой энергии. Но далее возникает вопрос—истощает ли один лист способность солнечного луча разлагать углекислоту? На основании спектральных исследований можно сказать, что любой лист пропускает еще свет, способный поглощаться хлорофиллом, а следовательно, и разлагать углекислоту [1]). Впрочем, исследования Мюллера дают прямой и обстоятельный ответ на этот вопрос. Мюллер брал листья по два, по три и по четыре, накладывая их один на другой, и определял, какое количество углекислоты разложат они сравнительно с одним листом. Оказалось, что два листа, в некоторых случаях три листа, разлагали более чем один, но, начиная обыкновенно с четвертого, разложение углекислоты уменьшалось—это объясняется тем, что третий, четвертый и т. д. лист, не получая необходимого света, уже не разлагают, а, напротив, образуют углекислоту. Значит два, три листа вполне истощают фото-химическую способность луча. Это же доказывается и опытом Буссенго, который доказал, что под шатром тенистого каштана углекислота уже не разлагается листьями. Этим, а не отсутствием атмосферного электричества, как высказывал недавно Грандо, объясняется жалкий вид травянистой растительности в тенистых лесах, в особенности хвойных. Сильно затеняющие почву полевые культуры, вероятно, так же почти истощают фото-химическую способность солнечного луча. Любопытно теперь узнать, какая же доля всей получаемой энергии утилизируется двумя, тремя—одним словом, таким числом листьев, которое дает наибольшее разложение углекислоты. Мюллер приводит один опыт, в особенности любопытный в том отношении, что рядом с прибором, заключавшим листья, помещался пиргелиометр Пулье и определялось количество единиц тепла, которое мог получить лист. Оказалось, что при таких условиях утилизируется 1/24, — т.-е. примерно до 4% падающей энергии; эта самая высокая, мне известная, цифра, вероятно, представляет предел той полезной химической работы, которую можно извлечь из солнечного луча, действуя им на зеленый лист. Любопытно было бы сделать еще шаг—определить, как велика та доля всей солнечной энергии (измеряемой как лучистая теплота), которая поглощается хлорофиллом листьев, подвергаемых исследованию, и соответствует ли это количество тому количеству, которое утилизируется в процессе разложения. К сожалению, мы пока еще не имеем в этом отношении определенных данных,—вопрос этот в такой форме не был еще даже никем поставлен, а теми цифрами, которые находятся в работах Эмери и Мюллера, невозможно пользоваться, так как оба исследователя, очевидно, недостаточно знакомы с употребляемыми физическими методами [2]).

Во всяком случае мы видим, что при помощи зеленых листьев можно утилизировать до 4%; при наших же культурах утилизируется

[1]) См. мое сообщение в протоколах последнего заседания ботанической секции.

[2]) Я пытался разрешить эту задачу при помощи особых термоэлектрических приборов, сделанных для меня еще покойным Румкорфом (см. протоколы Спб. Ботанического общества 1873 год), но до сих пор не имел возможности получить удовлетворительные результаты. Надеюсь будущею весной пополнить этот важный пробел в наших сведениях о хлорофилле.



от 1/1000 до 1/100. Для разрешения вопроса, как близки мы к пределу эксплоатации солнечной энергии при помощи растения, очевидно, необходимы более обстоятельные и точные данные. Необходимо прежде всего принять во внимание незначительное содержание углекислоты в атмосфере сравнительно с ее содержанием в искусственной атмосфере при описанных опытах. Затем необходимо получить данные относительно постепенного прироста органического вещества в различные периоды развития культурных растений, данные относительно изменяющейся с ростом величины их зеленой поверхности и т. д., которые начинают уже накопляться за последние годы на германских опытных станциях. С другой стороны, необходимо параллельно с этими наблюдениями производить актинометрические наблюдения со специально к этой цели приспособленными приборами. Самые совершенные в настоящее время актинометры Крова, Виоля и др., равно как и химические фотометры Роско, Маршана и др. прямо неприменимы к нашей цели. Необходимы приборы, которые могли бы измерять энергию только тех лучей или вполне определенной части тех лучей, которые участвуют в процессе разложения углекислоты, — приборы, которые бы измеряли то, что, по отношению к занимающему нас процессу, очень удачно названо химическим климатом. Только подобные параллельные агрономические и метеорологические наблюдения могут способствовать разрешению указанных вопросов. Очевидно только то, что в поле и невозможно ожидать таких результатов, как в замкнутых приборах. Стоит указать на одно испарение воды, на которое должна тратиться значительная доля солнечной энергии. Визнер доказал, что на испарение должны затрачиваться и те лучи, которые поглощаются хлорофиллом [1]). Дегерен, с другой стороны, показал, что в атмосфере, содержащей углекислоту, испарение растений бывает, повидимому, слабее, чем в атмосфере, не содержащей ее. Весьма возможно, что эти процессы испарения и разложения находятся как бы в антагонизме: чем более лучистой энергии, поглощаемой хлорофиллом, затрачивается на один, тем менее остается для другого.

Итак, роль хлорофилла в природе, установленная почти целым столетием ученых исследований, не подлежит более сомнению. Разложение углекислоты составляет его несомненное отправление и объясняется его физическими свойствами, согласно с основными законами фото-химии. О химических же его превращениях мы знаем еще пока очень мало.

Таково, Мм. Гг., современное состояние наших сведений о значении хлорофилла в природе. Вы видите, как многого еще остается желать. Потребуется еще много труда и времени, а главное, по моему мнению, потребуется совместное участие самых разнородных научных сил. Тогда только, когда этим вопросом будут, если не заниматься, то по крайней мере интересоваться и физики, и химики, и метеорологи, только тогда он подвинется вперед. В конце прошлого столетия он интересовал всех натуралистов. С ним были связаны имена самых знаменитых химиков. В сороковых годах собрание, подобное нашему, *Британская Ассоциация*,

[1]) Уже после прочтения этой речи я получил от О. Комеза, профессора в Портичи, любопытное исследование, обобщающее выводы Визнера; оказывается, как и следовало ожидать, что на испарение влияют лучи, комплементарные цвету органа. На испарение зелеными листьями из лучей, поглощаемых хлорофиллом, повидимому, преимущественно влияют синие лучи; подобный же результат получил и Визнер—вот еще объяснение, почему эти лучи менее деятельны в процессе разложения углекислоты.

постоянно, в течение нескольких лет, назначала ученые комиссии для его исследования.

Я полагаю, что если нам когда-нибудь суждено увидеть у себя такие же опытные станции, как в Германии, то вопрос этот должен сделаться одной из первых их *теоретических* задач. На каждом шагу можно услышать мнение, что Россия—государство по преимуществу земледельческое; и я полагаю, если верно, что одно из главных богатств Англии заключается в запасе работы, представляемом ее залежами каменного угля, то одно из главных богатств России заключается в тех потоках лучистой энергии, которые изливаются на хлорофилловую поверхность ее необозримых полей и лесов. Я полагаю, по меньшей мере любопытно узнать, как же велико это богатство, как велика та доля его, которой мы пользуемся в настоящее время, как велика и та доля, которой мы еще можем воспользоваться, пока не достигнем предела, зависящего от свойств солнечного луча и *хлорофилла*.

Быть может, Мм. Гг., как всякий специалист, я преувеличиваю интерес своего предмета; охотно допускаю в этом отношении известную поправку, известный личный коэффициент, но зато как специалист я коротко знаком с его трудностями и из этого знакомства я вынес твердое убеждение, что для дальнейшего успеха необходимо, чтобы вопрос этот обратил на себя внимание, чтобы в нем приняли участие, все равно *делом* или *советом*, представители самых разнородных отраслей естествознания. Это убеждение было причиной, побудившей меня явиться с этим докладом не перед ботанической секцией, а перед общим собранием; это же убеждение может служить мне извинением в том, что я, быть может, слишком долго злоупотреблял вашим вниманием.

1879.

# III. Современное состояние наших сведений о функции хлорофилла

*(С французского)* [1]).

Ровно пятнадцать лет тому назад, почти день в день, в этом же городе, перед аудиторией, вмещавшей в себе, как и сегодня, выдающихся ученых, собравшихся с различных концов цивилизованного мира, Эдуард Морен, в красноречивой речи „о действии света на растение“ резюмировал вопрос в следующих выражениях: „хлорофилл непрерывно образуется и превращается в растении. Это очаг энергических разложений и синтезов. *Исследование этого тела составляет основу физиологии растений*“.

Позвольте мне, Мм. Гг., начать с того, чем закончил свою речь наш коллега, уважаемый Льежский профессор.

Целый век истек с тех пор, как Жан Сенебье положил основание современной физиологии растений своим капитальным открытием усвоения углерода,—я настаиваю на этом, так как, вопреки противоположным заявлениям некоторых германских ученых, именно Сенебье, а не кому иному, принадлежит честь этого капитального открытия. Тому же Сенебье обязаны мы и выяснением факта, также подтвержденного целым столетием исследований, что зеленая паренхима, клеточки, содержащие хлорофилл, являются единственным местом, где происходит это разложение углекислоты. Но только исследования этих последних лет пролили свет на ближайшую роль этого вещества, сделали возможными первые шаги на пути к рациональной теории хлорофилловой функции.

Так как этот важный вопрос был предметом моих постоянных исследований за период времени, отделяющий нас от первого заседания конгресса в нашем городе, то, я надеюсь, мне не поставят в укор, если я буду вынужден возвращаться к результатам своих собственных исследований, быть может, чаще, чем я этого бы сам желал.

Очевидно, что физиологическая роль хлорофилла должна вытекать из тех основных понятий, которые мы себе составляем о значении солнечного света в процессе разложения углекислоты. Только отправляясь от этих общих оснований, мы можем прийти к верному представлению о специальной роли хлорофилла. „Изучить физические и химические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, принимающие прямое или косвенное участие в этом явлении, проследить участь этих лучей до момента их исчезновения, т.-е. превращения

[1]) Речь, читанная в общем собрании международного конгресса ботаников в С.-Петербурге, в мае 1884 г.

во внутреннюю работу, установить, наконец, количественное отношение между энергией поглощенной и работой произведенной“ [1]), — такова была общая задача, которую я поставил себе еще в 1867 году, но которая еще далека до полного разрешения.

Первый шаг, который предстояло сделать, заключался в выработке простого и точного метода для изучения этого явления разложения углекислоты, метода, который вытеснил бы старый прием Дютроше, сделавшийся столь популярным у немецких ботаников с тех пор, как он стал известен под именем метода Сакса. Исходя из основного приема, незадолго перед тем введенного в науку Буссенго, приема, заключавшегося в изучении явления на отдельных листьях, я устроил прибор, сделавшийся с тех пор общеупотребительным, но совершенно несправедливо приписываемый обыкновенно Пфефферу [2]). Вооружившись этим прибором, я занялся вопросом, в каких лучах солнечного спектра лежит maximum разложения. В то время, да и долго после того, всеми признавалось, что разложение зависит от лучей, обладающих наибольшим световым напряжением, т.-е. желтых и зеленых. Мнение это основывалось на опытах Дрепера, но так как я имел основания сомневаться в их точности, то и нашел необходимым подвергнуть его экспериментальной поверке. Я не остановлюсь на подробностях этой работы; скажу только несколько слов в защиту метода цветных экранов, который я на этот раз применил. С тех пор об этом методе принято говорить так неодобрительно, что я считаю необходимым его оградить от незаслуженного нарекания. Обыкновенно принято говорить, что Волков первый доказал несостоятельность этого метода исследования. Но это распространенное мнение вдвойне не точно; во-первых, статья Волкова представляет только амплификацию суждений, высказанных в более точной и сжатой форме гораздо ранее его [3]), а, во-вторых, слишком резкая оценка этого метода ничем не оправдывается. Это, конечно, не самый точный из возможных методов, и в этом никто никогда и не сомневался, но для исследований, не имеющих притязания на особенную степень точности, его можно вполне рекомендовать и теперь, и доказательство тому налицо: пользуясь этим методом, Мюллер — физик изучил распределение тепла в солнечном спектре, а я изучил в первый раз распределение занимающего нас явления, и наши результаты были вполне подтверждены последующими более точными исследованиями. Метод, дающий хорошие результаты, конечно, можно считать удовлетворительным.

Из этого первого моего исследования вытекал общий результат, значение которого только растет, по мере того как наши сведения накопляются: а именно, что разложение зависит, главным образом, от красных, а не от желтых лучей [4]). Сличая три кривые: ту, которая представляет световое напряжение в спектре, и ту, которая представляет тепловое напряжение, с той, которая представляет разложение углекислоты растением, мы убеждаемся, что нет никакой связи между яркостью, т.-е. световым напряжением, и разложением углекислоты, но что между этим последним и тепловым напряжением существует очевидное соотношение. Этому-то факту я и придавал наибольшее значение, так как представлялось более согласным с основными физическими и

[1]) Примечание 1-е. (См. конец настоящей статьи, стр. 151).
[2]) Примечание 2-е.
[3]) Примечание 2-е.
[4]) Примечание 2-е.



химическими воззрениями приписывать разложение углекислоты тепловому эффекту лучей, а не их световому эффекту, потому что этот последний, в конце концов, представляет только субъективное ощущение органа зрения. Именно исходя из этих соображений, я и усомнился в первый раз в точности опытов Дрепера, и сомнения эти были подтверждены результатом моих собственных опытов. Но я не ограничился этим, я обнаружил, я доказал источник ошибки Дрепера, и в этом заключается самая существенная сторона дела, не утратившая своего значения и до сих пор, ввиду непонятного упорства германских физиологов, не желающих оценить все значение моей критики. Упрек, который я делал Дреперу, равно относится и к позднейшим работам Пфеффера и Мюллера и, как мы сейчас увидим, с еще большею силой к самым новейшим, к только что появившимся работам Рейнке.

Для разъяснения этого источника ошибки, общего всем этим исследованиям, я должен вдаться в подробности несколько технического свойства, но от их верной оценки зависит разрешение занимающего нас вопроса.

Для того, чтобы исследования, предпринятые в спектре, могли иметь притязание на необходимую степень точности, спектр этот должен быть чист. Но спектр этот может считаться таковым лишь в том случае, если щель, чрез которую прошел луч, падающий на призму, не превышает известной ширины. Весьма простой опыт докажет нам справедливость этого соображения, самого важного при обсуждении изучаемого явления.

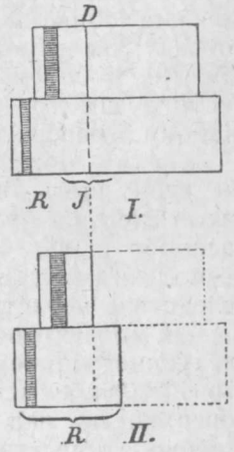


Рис. 1.

Вот (рис. 1, I верхняя половина) спектр, полученный при помощи узкой щели. О чистоте его можно судить по присутствию фраунгоферовых линий, если свет солнечный, или абсорбционных полос какого-нибудь тела — если источник света искусственный. Воспользуемся для этой цели раствором хлорофилла. Вот его характеристическая, резко черная полоса в красной части спектра, доказывающая, что спектр чист (рис. 1, I верхняя половина рисунка). Теперь раскроем шире половину нашей щели (нарочно для того состоящей из двух частей, ширину которых можно изменять по желанию). Мы замечаем, что половина нашего спектра (нижняя) вытягивается и становится ярче, а хлорофилловая полоса в то же время смещается и становится расплывчатой (рис. 1, I нижняя половина рисунка). Это спектр не чистый. Его нечистота зависит от того, что различные лучи налегают один на другой. В самом деле, часть спектра J представляется нам желтою, но мы сейчас увидим, что с таким же правом мы могли бы назвать ее и красной. Я помещаю на пути луча красное стекло, и, между тем как в чистом спектре желтый цвет исчезает, отрезается вместе с остальными (рис. 1, II верхняя половина), в спектре нечистом эта часть, только что представлявшаяся нам желтой, становится красной (рис. 1, II. R нижняя половина рисунка). Очевидно, что в желтой части нечистого спектра находятся и красные лучи. Таким же образом я мог бы показать, что в этой желтой части нечистого спектра находятся и зеленые лучи,—словом, что в этой части перемешаны всевозможные лучи. Очевидно, что, производя опыты в подобном нечистом спектре, мы рискуем, или можем даже быть уверенными, найти maximum всевозможных явлений в этой именно части

спектра, так как, строго говоря, мы имеем здесь дело не с желтым, а почти с полным белым светом, слегка покрашенным в желтый цвет.

Вот, Мм. Гг., источник ошибки, в которую впал сорок лет тому назад Дрепер, и причина, почему еще в 1869 году я отрицал точность его опытов и сделанного из них вывода. Но, по несчастью, я продолжаю проповедывать в пустыне. В самом деле, каков был результат моей критики: в 1871 году Пфеффер экспериментировал со щелью, имевшей ширину трех миллиметров, в 1878 г. Н. Мюллер раскрыл ее до шести миллиметров, наконец, в 1884 году Рейнке дошел до сантиметра. Вследствие этого непонятного crescendo самое позднейшее из исследований, исследование Рейнке, внушает наименее доверия, так как оно было произведено в спектре, по своей нечистоте сходном с тем, который мы только что видели.

Но, быть может, спросят, какая же причина побуждала известных ученых работать в таком нечистом спектре? Причина эта у нас перед глазами: спектр нечистый гораздо ярче, его световое напряжение гораздо значительнее. Когда мой ученый друг, Н. Мюллер, в своем первом исследовании попытался экспериментировать в чистом спектре, он потерпел неудачу; он не мог *прямым путем* обнаружить разложения углекислоты, так что в своем втором исследовании вынужден был отказаться от чистого спектра, вернулся к широкой щели и потому снова впал в ошибку Дрепера.

Таким образом, экспериментатор наталкивается на дилемму: если он сузит щель, чтобы получить чистый спектр, он ослабляет свет до такой степени, что опыт становится невозможным; если же он широко раскроет щель, чтобы допустить побольше света, то опыт становится бесполезным, так как из него нельзя сделать определенного вывода вследствие нечистоты спектра.

В моей второй работе я удачно избег этой дилеммы при помощи следующего приема. Для получения света достаточной интенсивности стоит только уменьшить размеры спектра, но в таком случае и листовые поверхности, над которыми экспериментируют, уменьшатся соответственно, а вследствие этого количества разлагающейся углекислоты станут настолько малы, что будут ускользать от приемов газового анализа, которые химия предлагает физиологу.

Только усовершенствовав в известном направлении методы газового анализа, можно было разрешить данный вопрос. Нескольких слов будет достаточно, чтобы напомнить основную идею моего приема. Газовая смесь, выставлявшаяся в спектр в трубках настолько широких, чтобы они могли заключать листовые поверхности достаточной величины, переводилась, при помощи особого переливателя (transvaseur), в эвдиометры с узким горлышком, дозволявшие измерять и анализировать газы со степенью чувствительности, до тех пор не достижимой. Благодаря этому приему мне первому удалось *непосредственно определить количество углекислоты, разлагаемой зелеными частями растения в различных частях чистого спектра.*

Но в чем же заключался вопрос, который предстояло разрешить на этот раз? Так как теория Дрепера, поддерживаемая Саксом и Пфеффером, оказалась несостоятельною и могла быть объяснена экспериментальной ошибкой, нужно было искать более рационального объяснения. Вопрос между тем представился в новом свете благодаря плодотворной идее, внесенной в обсуждение вопроса Жаменом, но обратившей на себя внимание ботаников только после того, как она была подхвачена Ломмелем. Классические исследования В. Гершеля и мисс Сомервиль обнаружили существование основного закона, по которому химическое действие света вызывается лучами, поглощаемыми данным веществом. Исходя из этого закона, естественно было заключить, что и разложение углекислоты в растении зависит от лучей, поглощаемых хлорофиллом; таким образом получилось бы объяснение той роли, которую играет это вещество в экономии растения. Для того, чтобы получить необходимый материал для обсуждения этой гипотезы (приобретавшей уже некоторое вероятие на основании моего первого исследования, показавшего, что maximum разложения углекислоты лежит не в желтой части, как утверждали, а в красной), я предпринял подробное исследование оптических свойств хлорофилла. Результаты этого исследования изложены в моем труде „Спектральный анализ хлорофилла“ [1]). Здесь в первый раз я предложил простой способ изучения, вместо произвольного какого-нибудь спектра, полных спектрограмм, дающих верное изображение закона поглощения света данным телом. Прием этот теперь приписывается Прингсгейму, применившему его только пять или шесть лет позднее. С тех пор я придумал еще несколько приборов, приспособленных к этой цели. Самый совершенный из них, изображенный на рис. 2, состоит из двух клиновидных стеклянных ванночек, наполненных—одна раствором хлорофилла, другая — растворителем [2]). При помощи этого аппарата можно получать непосредственно спектрограмму хлорофилла (рис. 3, chl).



Главный результат упомянутого труда заключался в открытии ближайших составных начал хлорофилла: зеленого — *хлорофиллина* и желтого — *ксантофилла.* Так как при накладывании спектра одного тела на спектр другого получался спектр хлорофилла, то таким образом в первый раз получалось доказательство, что отъединенные два тела были действительные ближайшие составные начала хлорофилла. Эти два тела, или их более или менее нечистые производные или смеси, были неоднократно с тех пор открываемы Краузом, Фреми, Саксе, Тчирхом и еще совсем недавно Ганзеном. Как на второй из результатов моих исследований, укажу на констатирование полного сходства между спектрами хлорофилла в живом организме и в растворе. Я достиг этого при помощи микроспектрального прибора, описание которого находится в трудах ботанического конгресса во Флоренции в 1874 году. Прибор этот теперь более известен под именем микроспектрального прибора *Энгельмана* [3]). Несколько лет позднее я дал экспериментальное объяснение различия между спектром листьев и спектром растворов, указав на весьма простой прием, при помощи которого в последнем можно вызвать изменение, характеризующее первый. Стоило только подражать явлению, представляемому листьями, т.-е. пропускать в щель спектроскопа смесь света, прошедшего через слой хлорофилла и обыкновенного белого света, и подобный смешанный спектр оказывался вполне сходным со спектром листьев [4]). Констатирование этого факта, как увидим далее, весьма важно, ввиду противоположного утверждения Рейнке.

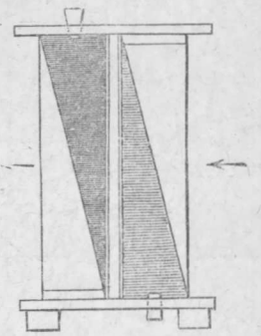


Рис. 2.

[1]) Примеч. 3 и 4.
[2]) Примеч. 18.
[3]) Примеч. 5 и 9.
[4]) Примеч. 17.

Зная закон поглощения света хлорофиллом и обладая необходимым методом для анализа газов, я мог приступить к разрешению вопроса: существует ли связь между поглощением света хлорофиллом и разложением углекислоты. Мои опыты доказывают существование этой связи самым несомненным образом. Стоит взглянуть на рис. 3, представляющий кривую разложения (C) и кривую поглощения света хлорофиллом (Chl), наложенные одна на другую, чтобы убедиться не только в совпадении обеих maxima, но и в количественном соотношении между явлением поглощения и химическим процессом, между оптическими свойствами хлорофилла и разложением углекислоты [1]).

Не легко было бы найти во всей области растительной физиологии факт более отчетливо, более строго подтвержденный опытом, и я мог бы привести много таких, которые, будучи несравненно менее убедительными, тем не менее считаются общепризнанными.

Но несмотря на очевидность результатов, несмотря на точность метода, исследования мои оставались в течение долгих лет, так сказать, вне общего научного течения. Еще не так давно я мог слышать от одного из своих коллег обоюдоострый комплимент: „вы можете гордиться тем, что вы теперь единственный ботаник, настаивающий на существовании связи между разложением углекислоты и оптическими свойствами хлорофилла“. И он был прав. Приведу только один пример в подтверждение: давно ли два ученых, Прингсгейм и Ганзен, как известно, очень мало друг другу симпатизирующие, сходились между собою в одном лишь только пункте, именно, что мои опыты не заслуживают упоминания, что мое имя не имеет даже права фигурировать на страницах их статеек, посвященных критическому обзору вопроса, которым я занимаюсь специально вот уже пятнадцать лет.

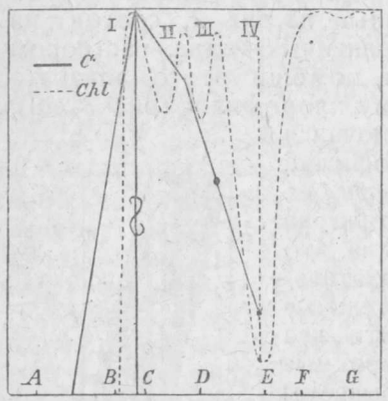


Рис. 3.

Но теперь положение решительно изменилось. Идеи, которых я был так долго единственным защитником, теперь стали ходячими, можно сказать, модными. Благодаря приему, который мои исследования встретили между французскими учеными, главным образом, благодаря лестному отзыву, высказанному Ван-Тигемом в его капитальном Traité de Botanique, общее мнение ботаников совсем изменилось. Два новых бойца выступили на арену, два выдающихся ученых, Энгельман и Рейнке, явились с своими исследованиями в защиту фактов, которые, я полагал, мне уже давно удалось поставить вне всякого сомнения. По несчастью, я только с оговоркой могу воспользоваться помощью моих новых союзников. И вот причины, меня к тому побуждающие. Энгельман производил свои исследования в микроспектре и притом пользовался новым, изобретенным им методом определения кислорода, имеющим притязания на почти химерическую чувствительность. Это метод бактерий, слишком известный, чтобы нужно было его описывать. Метод остро-

[1]) Обе кривые рис. 3 отнесены к скале нормального спектра. Таблица, приложенная к моей оригинальной работе (см. примеч. 10), дает ясное представление об относительной резкости абсорбционных полос хлорофилла. Это самый точный рисунок спектра хлорофилла, какой существует.



умный, с этим я, пожалуй, готов согласиться, но слишком косвенный и далеко не точный и, что еще хуже, заключающий постоянный источник погрешности, повидимому, ускользнувший от внимания Энгельмана. Окрашенное тело, погруженное в бесцветную жидкость, нагревается именно в тех лучах, которые оно поглощает, и таким образом является центром конвекционных токов, которые привлекают, так сказать, присасывают все мелкие частицы, взвешенные в жидкости, а следовательно, и те бактерии, которые кишат вокруг зеленой клеточки. Этот источник погрешности постоянно присутствует и действует в одинаковом смысле и пропорционально с предполагаемым выделением кислорода, так что наблюдатель должен всегда оставаться в сомнении, не должен ли он приписать все явление или хоть часть его этой побочной причине. Именно этой побочной причине, вероятно, должно приписать все новые факты, открытые Энгельманом и противоречащие результатам прямых опытов. Сюда относятся: выделение кислорода ксантофиллом этиолированных листьев, существование второго maximum'a разложения углекислоты в синей части спектра и, наконец, роль пигментов иных, кроме хлорофилла; все эти факты можно считать сомнительными, пока они не будут проверены и доказаны методами прямыми. Такова уже участь всех косвенных методов: они внушают доверие лишь настолько, насколько подтверждаются методами прямыми, и Энгельман сам это хорошо сознавал. С самого начала своих исследований он видел, что maximum находится в красной части спектра, но не смел верить свидетельству своих чувств, потому что тогда еще считал доказанным (на основании опытов Дрепера и Пфеффера), что этот maximun *должен* лежать в желтой части спектра (Bot. Zeit. 1881, p. 447). Повторяю, метод бактерий, быть может, остроумен, пожалуй, даже изящен [1]), но совсем не точен. Что до меня касается, то я воздержусь от его употребления, так как остаюсь при своем убеждении, что химические вопросы не могут быть разрешаемы иначе, как химическими же методами.

Переходя к исследованиям Рейнке, я бы мог ограничиться указанием на крайнюю нечистоту его спектра, но следующие соображения еще более выяснят мой взгляд на это исследование, позднейшее из появившихся и, повидимому, обратившее на себя внимание ботаников. Рейнке в своих исследованиях воспользовался методом, который он считает вполне новым, но который в действительности далеко не нов—он давно применяется в физике и был применен к ботаническим исследованиям Полем Бером. Мы увидим, что метод хорош, но, конечно, под неизменным условием, чтобы спектр был чист, а мы уже имели случай судить о чистоте спектра, в котором экспериментировал Рейнке. Рейнке резюмирует свои исследования в кривых, отнесенных к скале нормального спектра, но эти кривые относятся совсем не к тому спектру, в котором производились опыты. Он помещал исследуемое растение в чистый спектр и затем раскрывал щель. Он обращает внимание читателя на то обстоятельство, что растение оставалось на том же месте;—это верно, но зато перемещался самый спектр (как это легко усмотреть из рис. 1, I. II). Оба спектра, тот, в котором производился опыт, и тот, к которому отнесены результаты опыта, имеют только то общее, что наблюдатель видел их в тот же день в той же комнате, и вследствие этого мы остаемся

[1]) При одновременных наблюдениях во всем спектре, но никак не в последовательных наблюдениях и различной ширине щели; этот последний прием никуда не годен.

в полной неизвестности, в какой части спектра находился *в действительности* maximum разложения углекислоты [1]). Мы можем предположить, что он находился где-нибудь близ желтой части спектра, как в опытах Дрепера и Пфеффера, т.-е. вообще в опытах, произведенных в нечистом спектре. Правда, Рейнке помещает maximum *в крайней* красной части спектра, но, повторяю, выбор этой точки совершенно произволен, так как спектр, к которому отнесены результаты, и спектр, в котором производились опыты, не имеют ничего общего. Так как эта точка не соответствует главной абсорбционной полосе хлорофилла (на фигурах Рейнке maximum разложения, как сказано, лежит *в крайнем* красном), то Рейнке пытается объяснить этот неожиданный результат предположением, что точка эта соответствует главной абсорбционной линии живых листьев. Но так как мы видели выше, что спектр листьев вовсе не представляет настоящего спектра живого хлорофилла, а только соответствует спектру растворов. измененному примесью белого света, то мы приходим к куриозному заключению, что опыты Рейнке доказывают существование известного соотношения между явлением разложения углекислоты и оптическими свойствами несуществующего тела. Если в оптической части своего труда Рейнке повторил ошибку Дрепера, то в химической части своего исследования он примирился со старым приемом счета пузырьков. Более, чем кто другой, Рейнке должен был бы воздержаться от этого приема. В своем руководстве он основательно настаивает на важности выбора единицы при всех физиологических исследованиях. Но очевидно, что самая плохая единица та, которая не отличается постоянством, а именно это и представляют нам эти пузырьки, величина которых и содержание кислорода представляют две неизвестные переменные. В общем итоге исследование Рейнке, самое позднейшее из всех работ по этому вопросу, является самым несовершенным, как с оптической, так и с химической точки зрения. Неудача обоих ученых, занявшихся вслед за мною интересующим нас вопросом, внушает мне еще более доверия к правильности избранного мною пути. В самом деле, заботиться о чистоте спектра и рядом с этим совершенствовать газометрические приемы—вот единственный рациональный путь, могущий дать надежные результаты. Прием, мною употребленный, не оставлял ничего более желать с точки зрения точности, но он был несколько сложен, требовал дорогих приборов, как, напр., гелиостата с часовым механизмом, требовал также исключительно благоприятных условий, как, напр., продолжительной инсоляции в течение шести или восьми часов. Все эти затруднения, быть может, объясняют, почему исследователи, выступившие после меня, предпочитали прибегать к приемам менее хлопотливым, но зато и мало надежным.

По счастью, я могу предложить собравшимся здесь физиологам новый прием, уже оказавший мне услуги и соединяющий достаточную степень точности с необыкновенной простотой. Это видоизменение метода Дютроше. Этот последний так полюбился ботаникам, что, кажется, тщетно было бы надеяться, что они с ним легко расстанутся. Остается одно средство бороться с ним, это сделать его более точным. Я, кажется, достиг этого результата, изыскав средство измерять и анализировать пузырьки газа величиной с булавочную головку. Одного слова достаточно, чтобы разъяснить, каким образом я достигаю этого резуль-

[1]) В самом деле, что́ бы подумали о физике, который стал бы утверждать, что измерял *длину волн* в спектре, полученном при помощи щели шириной в один сантиметр?



тата, возбуждающего сомнение, даже прямое недоверие, когда его заявляешь в первый раз. Мой эвдиометр состоит из термометрической трубки, и этим объясняется степень чувствительности метода. В самом деле, наименьшее количество газа, доступное измерению в моем аппарате, не превышает 0,00001 кубического сантиметра или в весовых единицах 0,00000001 грамма! Количества газа, выделяемого одним листом Potamogeton или маленькой веточкой Ellodea в 15 секунд, уже достаточно для полного анализа. Вот этот маленький приборчик, действие которого крайне просто (рис. 4). Термометрическая трубка, выдутая в нижней части на подобие воронки, на верхнем конце два раза изогнута и оканчивается такою же воронкой (рис. 4, I). Верхнее отверстие снабжено каучуковой трубкой и стеклянной палочкой, которой, как поршнем, можно засасывать или выталкивать воду, наполняющую все части эвдиометра и маленькую ванночку, к краям которой он прикреплен. Эвдиометрическая трубка при посредстве двух пружинок закрепляется на скале, вытравленной на стеклянной пластинке (рис. 4, I и II). Предположим, что пузырек воздуха, как уже сказано, величиной с булавочную головку подведен под нижнюю воронку эвдиометра. Подействовав поршнем, засасываем пузырек в капиллярную трубку, где он вытягивается в длинный столбик *a*, величину которого определяют, производя отсчитывание с обоих концов. Надавив слегка на поршень, вновь выгоняют пузырек в воронку *b*. На этот раз его подхватывают пипеткой (снабженной подобно эвдиометру маленьким поршнем), подводя ее носик под воронку (рис. 4, III d, e). Пипетка содержит щелочной раствор пирогалловой кислоты для поглощения кислорода. Пока пузырек пробегает по изогнутой трубке пипетки *d*, кислород обыкновенно успевает поглотиться вполне, о чем можно судить по бурой окраске, принимаемой реактивом в прикосновении с пузырьком, пока этот последний содержит кислород. Когда можно заключить, что кислород поглощен, носик пипетки подводят под воронку, надавливают на один поршень, засасывают другим, и пузырек снова оказывается в капиллярной трубке (рис. 4, I a). На этот раз он состоит только из азота. Разность между первоначальным объемом и объемом азота, понятно, соответствует кислороду. Весь анализ длится не более двух минут. Благодаря быстроте всех операций можно пренебречь поправками на температуру и барометрическое давление, и вообще метод представляет ту степень точности, которую можно требовать от подобного исследования. Вот, впрочем, несколько цифр,

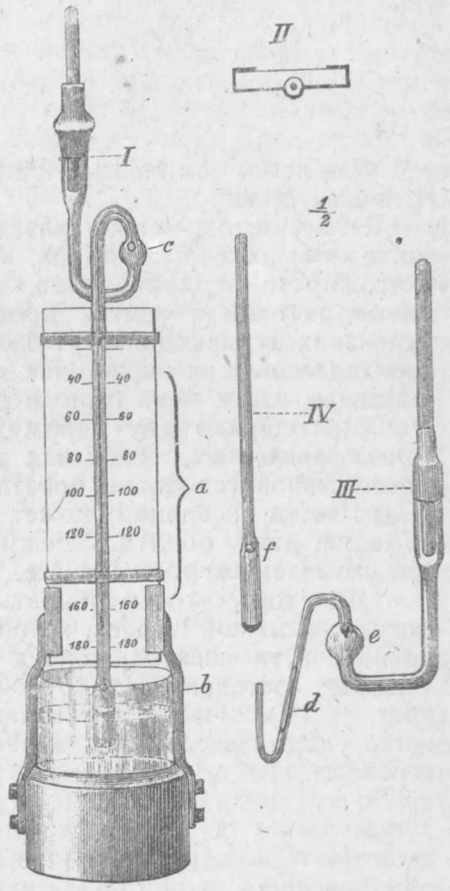



Рис. 4.

которые помогут нам судить о степени точности метода. На прилагаемой табличке приведены числовые данные для пяти анализов воздуха, сделанных в десять минут. Рядом помещено среднее содержание кислорода в атмосферном воздухе по анализам Бунзена.

Кислород воздуха.

| Анализ Бунзена. | Анализ микро-эвдиометрический. |
|---|---|
| | 21,1% + 0,2 |
| | 20,8 — 0,1 |
| 20,9% | 20,9 |
| | 20,8 — 0,1 |
| | 20,9 |
| | Средняя 20,9 |

Как легко усмотреть, уклонения от цифры Бунзена касаются только тысячных долей.

Этот метод представляет еще важное удобство. Несмотря на ничтожные размеры прибора, или, выражаясь точнее, именно благодаря ничтожности этих размеров, все операции выделения пузырьков газа живым растением, взятие пробы этого газа и весь ход анализа этих маленьких пузырьков могут быть показаны целой аудитории при помощи прокладывания на экран, как я это делал на моих публичных лекциях в Москве, где у меня было в распоряжении электрическое освещение.

Благодаря этому новому методу, который можно назвать *микро-эвдиометрическим*, опыты над разложением углекислоты водяными растениями становятся крайне просты [1]). Опыт в спектре, требовавший прежде целых часов инсоляции, может быть произведен в 10—15 минут. Можно, пожалуй, даже обойтись без гелиостата, довольствуясь обыкновенным, так называемым porte-lumière.

Для того, чтобы собирать газы, выделяемые водяным растением,— скажем, веточкой Ellodea, которую мы последовательно помещаем в различные части спектра, кончик веточки подводится под этот маленький колокол, состоящий из трубочки, припаянной к стеклянной же палочке (фиг. 4, IV). Вследствие капиллярных размеров трубочки вода в ней легко удерживается, и в желаемый момент можно захватить пузырек, перенести его в ванночку для анализирования при помощи пипетки, а трубочку снова поместить над концом веточки для собирания другого пузырька и т. д. Это настоящий пинцет для газов, дозволяющий нам схватывать и переносить пузырьки газа с такою же легкостью, с какой обыкновенным пинцетом мы схватываем и переносим твердые тела.

Я не стану злоупотреблять вашим терпением, описывая результаты, полученные мною прошлым летом при помощи этого прибора по отношению к занимающему нас вопросу. Еще ранее, когда я еще не имел этого прибора, я не раз наблюдал, что, вопреки противному мнению Пфеффера, положение maximum'а выделяющихся пузырьков в *чистом* спектре совпадает с абсорбционной полосой хлорофилла, но я не придавал никакого значения этим наблюдениям, пока не был в состоянии точно измерять и анализировать эти пузырьки.

[1]) Прибор, слегка видоизмененный и погруженный в ртуть, дозволяет производить опыты и над листьями наземных растений, помещенными в смесь воздуха и углекислоты.



Ограничусь заявлением, что мои новые опыты, как, впрочем, и следовало ожидать, подтверждали вполне результаты моих предшествовавших опытов, показав полное совпадение между точками наибольшего поглощения света хлорофиллом и наибольшего разложения углекислоты.

Да и трудно было бы отрицать факт, что лучи, вызывающие разложение, так или иначе поглощаются хлорофиллом. Допустить обратное, значило бы допустить, что работа может быть произведена без соответствующей затраты энергии, т.-е. дойти до отрицания начала сохранения энергии. С другой стороны, те, кто упорствуют в отрицании, что углекислота разлагается не теми лучами, которые поглощаются хлорофиллом, должны ожидать, что этот химический процесс будет сопровождаться особым поглощением, и это явление не могло бы ускользнуть от внимания физиологов, но ведь вам, Мм. Гг., известно, что ничего подобного не было замечено. Это, очевидно, поняли защитники теории Дрепера, Пфеффер и Прингсгейм. Для того, чтобы избегнуть этого противоречия, они пытались уверить своих читателей, что часть солнечной энергии, поглощаемая растением, так ничтожна, так бесконечно мала, что ее поглощение естественно ускользает от самого точного наблюдения. Хотя это утверждение было совершенно бездоказательно, не опиралось ни на какие числовые данные, я тем не менее приложил все старания, чтобы доказать его ложность. При помощи термо-электрического прибора, приспособленного к потребностям данного случая, я достиг точного измерения количества солнечной энергии, поглощаемой хлорофиллом листа, и, сравнив эту величину с количеством солнечной энергии, затрачиваемой в химическом процессе разложения углекислоты, мог убедиться, что на этот последний затрачивается далеко не ничтожная доля, как совершенно произвольно утверждали Пфеффер и Прингсгейм, а до 20 а иногда до 40% всего количества, поглощаемого хлорофиллом [1]). Очевидно, что подобное усиленное поглощение не могло бы ускользнуть от самого поверхностного наблюдения.

Таким образом, Мм. Гг., в настоящую минуту нет места для сомнений, что разложение углекислоты вызывается лучами, поглощаемыми хлорофиллом. Мои опыты, против которых, несмотря на очевидное желание, в течение десяти лет не могли сделать ни одного возражения, доказывают это положение самым несомненным образом. А в этом маленьком приборчике я даю всякому сомневающемуся простое и легкое средство самому в том убедиться.

---

Если в настоящее время трудно было бы сомневаться в том, что разложение углекислоты вызывается лучами, поглощаемыми хлорофиллом, если мы таким образом усматриваем связующее звено между явлением разложения углекислоты и присутствием хлорофилла, то не является ли у нас вслед за тем желание найти рациональное объяснение для этого эмпирического факта? Новейшие успехи фотохимии бросают ясный свет на природу этой связи между необходимым присутствием хлорофилла и химическим процессом разложения углекислоты. Но в чем же заключается факт, нуждающийся в объяснении? Свет, поглощаемый одним веществом—хлорофиллом, вызывает разложение другого вещества—углекислоты. Естественно рождается вопрос: встречаем ли мы что-либо

[1]) Прим. 7, 20.

подобное в других областях фотохимии? Действительно, исследования Фогеля, Бекереля, Абнея и др. обогатили фотографию целым рядом явлений совершенно аналогичных [1]). Из этих исследований вытекает, что многочисленные вещества, им дано название сенсибилизаторов, обладают способностью поглощать свет и передавать колебания своих частиц частицам других веществ, вызывая их разложение. Хлорофилл, повидимому, относится к числу этих веществ. Э. Бекерель доказал это следующим образом. Если на обыкновенную фотографическую пластинку отбросить изображение спектра, то, как известно, красные лучи не оказывают действия, и мы знаем тому причину—эти лучи не поглощаются иодистым серебром, из которого состоит чувствительная пластинка. Но достаточно прибавить к раствору коллодиума несколько капель спиртового раствора хлорофилла, чтобы получить в красной части изображение абсорбционной полосы хлорофилла. Полученные им фотографии спектра хлорофилла, которые Э. Бекерель мне обязательно показывал, не оставляют ничего желать. Таким образом представлялось вполне естественным предположение, которое я высказал уже в 1875 году, что и в живом растении хлорофилл действует подобным же образом, поглощая солнечные лучи и передавая колебания своих частиц частицам углекислоты, которая сама по себе не могла бы подвергаться действию этих лучей света, так как это газ бесцветный.

Но с того времени теория сенсибилизаторов сделала успехи. Абней считает за общее правило, что для того, чтобы играть роль сенсибилизатора, вещество должно не только поглощать известные лучи, но еще само по себе разлагаться в этих лучах. Только разлагаясь, вещество это вызывает разложение и в других телах. Выражаясь обыкновенным языком, сенсибилизатором может быть только красящее вещество, которое линяет на солнце. Отсюда представлялось в высшей степени интересным определить, подходит ли хлорофилл и в этом отношении под категорию сенсибилизаторов, разлагается ли он сам в тех же лучах, которые поглощает и в которых вызывает разложение углекислоты. Обесцвечивание растворов хлорофилла или бумаги, окрашенной хлорофиллом, известно со времени Сенебье—вот, напр., образчик такой светописи при помощи хлорофилла. Но до последнего времени утверждали, все на основании той же теории Дрепера, что это обесцвечивание хлорофилла происходит не в лучах, поглощаемых хлорофиллом (как того требует теория сенсибилизаторов), а в желтых и зеленых лучах. Тем не менее в литературе существовали уже указания, возбуждавшие серьезные сомнения в основательности этого убеждения [2]), и потому летом прошлого 1883 года я предпринял исследование этого вопроса. Требовалось определить, происходит ли обесцвечивание хлорофилла в тех же самых лучах, в которых разлагается и углекислота. Я остановился на методе, о котором уже была речь, на методе, примененном в первый раз Полем Бером и уже позднее принятом Рейнке [3]). Но я воспользовался для этого прибором более совершенным, который я нашел в каталоге Дюбоска. Изображение спектра, очень чистого, принимается на стеклянную пластинку, на изнанке которой наклеена призма с весьма малым преломляющим углом, а на некотором расстоянии, на том же стативе, поме-

[1]) Прим. 10, 13.

[2]) Гершель и, в недавнее время, Дементьев нашли maximum разложения хлорофилла в красных лучах.

[3]) Примеч. 26.



щается цилиндрическая линза. Благодаря этому устройству луч света, разложенный первоначально в спектр, собирается в два пучка комплементарного цвета, состав которых можно изменять по желанию. Таким образом получается два цветных поля: желтое и синее, красное и зеленое, фиолетовое и желтовато-зеленое и т. д. Метод этот представляет то удобство, что луч света, вместо того чтобы быть сильно рассеянным в спектре, собирается в две яркие светлые полосы. В эти светлые пространства попеременно помещались трубки с веточкой Ellodea и выделяемый газ собирался и анализировался *микроэвдиометрическим* способом, или же пластинка, покрытая коллодиумом с примесью хлорофилла, при чем констатировалось различие в резкости одновременно получавшихся световых отпечатков на чувствительной поверхности. Экспозиции в десять минут было обыкновенно достаточно для того, чтобы получить, с одной стороны, количество газа, достаточное для анализа, с другой, вполне ясные следы фотографического действия. Как ни менял я состав света в двух фокальных изображениях, maxima обоих действий, химического и физиологического, неизменно совпадали. Так, напр., когда я сравнивал действие красного и желтого света, оба maximum'a оказывались в красном. Из всех этих опытов вытекает, что, вопреки ходячему мнению, именно лучи, поглощаемые хлорофиллом, разлагают его так же, как они разлагают и углекислоту [1]). Следовательно, и с этой точки зрения хлорофилл представляет полную аналогию с другими сенсибилизаторами. Против этого можно возразить, что хлорофилл живого организма не представляет подобного явления, что он не обесцвечивается на свету. Но на это возражение можно ответить предположением, что хлорофилл регенерируется по мере его разрушения. Это воззрение, высказанное мною в 1871 году, встречает подтверждение в опытах Баталина и в особенности в исследованиях Визнера [2]). Эта предполагаемая регенерация зеленого вещества имеет к тому же аналогию в природе: глазной пурпур, как известно, одновременно разрушается и восстанавливается.

Следовательно, роль хлорофилла не представляется нам более чем-то исключительным, каким-то одиноко стоящим фактом — она подходит под общую категорию явлений, представляемых сенсибилизаторами. Хлорофилл или, выражаясь определеннее, хлорофиллин, так как роль эта должна быть приписана исключительно этому последнему (другое составное начало хлорофилла, ксантофилл, мало чувствительно к свету, как это доказывается осеннею окраской листвы), — хлорофиллин может быть рассматриваем как сенсибилизатор, регенерирующийся по мере его разложения и способствующий своим разложением разложению углекислоты.

---

Достигнув этой стадии в анализе исследуемого нами явления, установив основной факт, что роль этого вещества, очевидно, заключается в его оптических свойствах, в его избирательном поглощении света, мы невольно ощущаем потребность проникнуть еще далее в нашем анализе, задаемся еще новым вопросом. Эти красные лучи, так жадно погло-

[1]) Приведенные факты интересуют физиолога еще с той точки зрения, что указывают на хлорофилл, как на вещество, могущее служить для устройства физиологического фотометра, измеряющего напряжение именно тех лучей света, которые играют самую важную роль в экономии растения. Первые попытки, которые я предпринял в этом направлении, дали удовлетворительные результаты.

[2]) Примеч. 4.

щаемые хлорофиллом и превращаемые в химическую работу, не отличаются ли они чем-нибудь от других лучей спектра, каким-нибудь свойством, которое объясняло бы, почему они, предпочтительно перед другими лучами, способны вызывать это явление? Мы уже видели, что я задался именно этим вопросом в самом начале своих исследований. Еще в 1869 году, обсуждая результаты своей первой работы, я указывал на возможность существования связи между способностью луча вызывать разложение углекислоты и его *тепловым* напряжением. В самом деле, так как это явление разложения или диссоциации углекислоты сопровождается значительным поглощением теплоты, то естественно допустить, что оно зависит не от светового, а от теплового напряжения луча, служащего единственной истинной мерой его энергии. Но какой же из лучей спектра обладает наибольшей тепловой энергией? Только благодаря новейшим исследованиям физиков мы в состоянии ответить на этот вопрос.

Еще совсем недавно физики принимали, что наибольшим тепловым эффектом обладают лучи, лежащие за пределом видимого спектра, именно лучи темные, инфракрасные. Одного этого соображения казалось немецким ботаникам достаточно для того, чтобы отвергнуть, не дав себе даже труда вникнуть в них, те соображения, которые я высказал уже пятнадцать лет тому назад, возвращаясь к ним, настаивая на них при каждом удобном случае, и которые теперь, наконец, блестящим образом подтверждаются новейшими исследованиями американских и английских физиков. Каждый раз, когда я имел случай высказываться по этому вопросу, я настаивал на том, что ходячие воззрения на распределение тепловой энергии относятся только к призматическому спектру, в котором тепловой эффект различных частей зависит не только от специфического свойства данного луча, но и от различия в дисперсии. В невидимой темной части лучи наиболее скучены, в видимой, наоборот, наиболее рассеяны. Единственным средством для изучения теплового эффекта различных лучей являлось исследование распределения теплоты в спектре нормальном, и в этом случае, — добавлял я, — представляется возможным, что maximum теплового действия окажется именно в той части спектра, которая соответствует абсорбционной полосе хлорофилла, где лежит и maximum разложения углекислоты [1]).

И вот теперь это предположение, высказанное мною в такой категорической форме, стало фактом, подтвердилось в поразительной степени [2]). Познакомимся бегло с результатами последних исследований Ланглея и Абнея над распределением тепла в нормальном солнечном спектре, в первый раз дающим нам возможность судить о тепловом эффекте различных лучей. Вот кривая, изображающая распределение тепла в интересующей нас части нормального спектра, по исследованию Ланглея (рис. 5 *L*). На этот раз maximum находится в видимой части спектра, именно в красной, между линиями *B* и *C* Фраунгофера,—там именно, где лежит абсорбционная полоса хлорофилла и, следовательно, maximum разложения угольной кислоты. Но это совпадение еще поразительнее на основании еще позднейших исследований Абнея. Вот соответствующая часть кривой, резюмирующей результаты английского ученого (рис. 5, *A*). Положение maximum'а соответствует приблизительно длине волны=0,000666 мм. Средина абсорбционной полосы хлорофилла

[1]) Примеч. 10, 13, 16.
[2]) Примеч. 22, 24.



соответствует длине волны=0,000664 мм. Можно ли было ожидать более полного совпадения?

Таким образом, заключение, к которому я пришел еще в 1869 году, оказывается вполне подтвержденным: разложение углекислоты, как и следовало ожидать с теоретической точки зрения, является результатом *теплового*, а не *светового* напряжения солнечного луча. Растение не знает света. Света не существует для растения. Мы впадаем в логическую ошибку, говоря о свете в применении к растению; ошибка эта заключается в том, что представления, вытекающие из изучения одной категории фактов, мы распространяем на совершенно иную категорию фактов, к которой они уже не применимы. Быть может, всего лучше было бы, говоря о растении, не применять это двусмысленное выражение—свет, заменив его более точным выражением—лучистая энергия или просто лучеиспускание (radiation),—как это и делает Ван-Тигем в своем превосходном Traité de Botanique. Таким образом для растения существует только лучистая энергия, и те из этих лучей, которые обладают наибольшим тепловым напряжением, поглощаются хлорофиллом. Хлорофилл не просто только поглотитель лучистой энергии, сенсибилизатор,— это еще самый совершенный из сенсибилизаторов, так как поглощает и превращает в химическую работу солнечные лучи, обладающие наибольшей энергией.

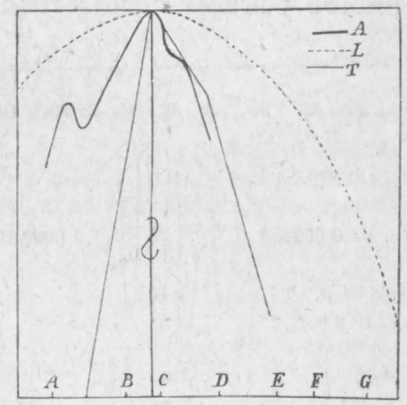


Рис. 5.

Вот третье основное положение для теории хлорофилловой функции, удовлетворительно объясняющее нам ту исключительную роль, которую играет в природе это вещество. Растение, так сказать, опередило открытия современных физиков, выработав задолго до появления человека это изумительное вещество, поглощающее из бесчисленных элементарных световых волн, из которых слагается солнечный луч, те именно, которые обладают наибольшей энергией. Не в праве ли мы видеть здесь один из самых поразительных фактов приспособления организмов к условиям их существования? Но здесь естественно возникает новый вопрос: каким же путем достигло растение этого изумительного результата? Весьма возможно, что любопытные исследования Энгельмана, касающиеся различных пигментов, встречающихся в водорослях, бросят новый свет на этот любопытный вопрос. Очевидно, что хлорофилловая функция должна была первоначально выработаться у первобытных морских водорослей, и именно в этой подводной флоре встречаемся мы с наибольшим разнообразием пигментов. Из всех этих веществ вероятно самое важное—хлорофилл; оно-то и вышло победителем в борьбе за существование и завоевало сушу. С этой точки зрения было бы крайне интересно проверить результаты Энгельмана более точными прямыми опытами.

Таким образом роль хлорофилла в явлении разложения углекислоты может быть резюмирована в следующих выражениях: он поглощает лучи обладающие наибольшей энергией, и передает эту энергию частицам угольной кислоты, которые сами по себе не подвергались бы разложению, так как прозрачны по отношению к этим энергическим лучам.

Но не можем ли мы сделать еще один шаг в анализе этого сложного явления, — не можем ли мы попытаться заглянуть в молекулярный механизм этого фото-химического процесса, не в состоянии ли мы поставить эту способность разлагать углекислоту в зависимость от какого-нибудь элементарного свойства световой волны?

До сих пор внимание физиков почти исключительно сосредоточивалось на двух свойствах световой волны — на ее длине и на скорости распространения. Но форма волны зависит и от ее амплитуды. Исследования Ланглея и Абнея делают возможным приблизительную оценку относительной амплитуды различных волн. Я сделал попытку такого вычисления. Следующий рисунок (рис. 6) резюмирует эти вычисления и может послужить для обсуждения занимающего нас вопроса. Получаемый результат крайне любопытен. Начиная с темных лучей, лежащих за красным пределом (рис. 6 слева), амплитуда, или, выражаясь обыкновенным языком, высота волн, возрастает по мере приближения к видимой части спектра. Она достигает maximum'а в красной части (рис. 6, I, 7, 6), соответствующей длине волны 0,000700 и 0,000600 миллиметра, и затем быстро убывает к фиолетовому концу. Второй рисунок (рис. 6, II) представляет форму световых волн в красной части спектра на основании более подробных данных Абнея. Максимальная амплитуда соответствует приблизительно длине волны в 0,000666 мм. Припомним, что maximum поглощения хлорофиллом соответствует длине волны=0,000664 мм. Мы приходим таким образом к любопытному заключению, что хлорофилл всего энергичнее поглощает те именно волны света, которые отличаются наибольшей амплитудой колебания.

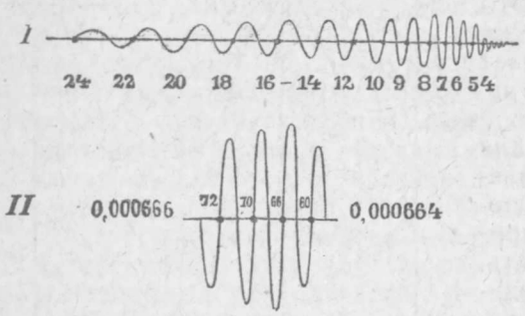



Рис. 6.

Какой же сделаем мы из этого вывод? Прибегнем для этого к сравнению с более обычным нам явлением. Представим себе, что горизонтальная линия (рис. 6, I) означает уровень спокойного моря, волнистая же линия — море, возмущенное бурей, а точки—корабль в различных местах его пути, и зададимся вопросом, в какой части этого возмущенного пространства корабль наш всего более подвергается опасности крушения. Очевидно, что крушение последует всего вероятнее не там, где море колышет тяжелая зыбь, не там, конечно, где по его поверхности пробегает быстрая, но мелкая рябь, а там именно, где высокие валы то взбрасывают корабль на крутые гребни, то низвергают в глубокие бездны. То же самое происходит на пути солнечного луча, возмущающего этот безбрежный эфирный океан, видимый только нашим умственным взорам. Именно в той части солнечного спектра, в которой валы достигают наибольшей высоты, частица углекислоты претерпевает крушение, диссоциируется под учащенными ударами световых волн.

Таким образом мы начинаем угадывать внутренний механизм этого явления. Частицы хлорофилла приводятся в сотрясение световыми волнами, обладающими наибольшей амплитудой колебания, и это-то элементарное свойство, вероятно, делает хлорофилл столь исключительно пригодным для осуществления самого энергического из всех известных нам химических действий света — этой диссоциации угольной кислоты, являющейся исходной точкой растительной жизни, источником всех жизненных явлений на нашей планете.

---



Таковы главнейшие результаты исследований, обнимающих этот пятнадцатилетний период, который нас отделяет от последнего заседания конгресса нашего в этом городе. Мы далеки еще до полного разрешения задачи, но, я полагаю, со мною согласятся, что мы уже обладаем необходимыми элементами для действительно научной теории хлорофилловой функции.

Бросая обратный взгляд на пройденный путь ввиду благоприятного поворота, недавно совершившегося в науке, в пользу тех идей, одиноким защитником которых я оставался в течение долгих лет, я, кажется, по совести могу сказать, что сделал, что мог, для того, чтобы обеспечить за ними успех. Я исследовал вопрос со всех доступных сторон, все точнее и точнее его ограничивая, разнообразя и совершенствуя приемы исследования и пользуясь для его объяснения каждым новым успехом в смежных областях химии и физики. Не покидая ни на минуту почвы прямого опыта, я не пускался в рискованные теории, а ограничивался только ролью свидетеля, констатирующего факты и помнящего обязанность всякого добросовестного свидетеля говорить „истину, всю истину и ничего, кроме истины“ [1]).

## ПРИМЕЧАНИЯ.

Для упрощения цитат и установления времени появления моих работ по занимающему вопросу, привожу подробный их перечень.

1) *Прибор для исследования разложения углекислоты* и проч. 1867. Труды первого съезда естествоиспытателей в С.П.Б. Реф. в Botanische Zeitung 1868.—Заключает описание приема исследования, теперь ставшего общеупотребительным, но нередко приписываемого Пфефферу.

2) *Ueber die relative Bedeutung von Lichtstrahlen verschiedener Brechbarkeit bei der Kohlensaürezersetzung in Pflanzen.* Bot. Zeitung 1869. Теоретическое и экспериментальное опровержение теории Дрепера; точное применение метода цветных экранов; первое указание связи с тепловым напряжением.

3) *Ближайший состав хлорофилла.* 1869. Труды II съезда. Реф. в Bot. Zeit. 1869. Первое указание, что ближайшее составное начало хлорофилла не синее, как предполагали, а зеленое (хлорофиллин).

4) *Спектральный анализ хлорофилла.* Спб. 1871 (с двумя таблицами). Описание точного способа обозначения спектров (теперь приписываемого Прингсгейму). Исследование оптических свойств и ближайших составных начал хлорофилла, заключающее все основные факты, позднее только подтвержденные Шотаром, Краузом, Саксе, Тчирхом и Ганзеном.

5) *Спектр твердого хлорофилла.* Ж. Русск. Хим. Общ. 1872. Реф. в Berichte d. D. Chem. G. Описание микроспектрального прибора (позднее известного под именем микроспектроскопа Энгельмана). Доказательство тожества спектров живого хлорофилла и его растворов. Объяснение аномалического спектра листьев.

6) *Газовая пипета.* Ж. Р. Х. О. 1872. Описание нового приема для анализа малых количеств газа.

7) *Термоэлектрический прибор для физиологических целей.* 1872. Проток. Бот. Отд. С.П.Б. Общества Естествоиспытателей.

8) *Новая реакция хлорофилла.* 1872. Проток. бот. отд. Спб. Общества Естествоиспытателей.

9) *Sur l'action de la lumière dans la décomposition de l'acide carbonique par le granule de chlorophylle.* Atti del Congresso internazionale botanico tenuto in Firenze. 1874. Описание первых результатов, полученных в спектре. Доказательство совпадения между maxima поглощения и разложения. Описание микроспектроскопа.

10) *Об усвоении света растением.* 1875. Спб. (с двумя таблицами). Критический обзор всей сюда относящейся литературы. Опровержение экспериментальных исследований и теоретических соображений Пфеффера и Сакса. Подробное описание метода исследования и результатов по отношению к вопросу о значении оптических свойств хлорофилла. Указание на возможность совпадения с maximum энергии в нормальном спектре.

---

[1]) См. приведенные в конце примечаний отзывы Сакса.

11) *Растение как источник силы.* 1875. Публичная лекция. О количественном соотношении между энергией, получаемой растением от солнца и слагаемой в запас.

12) *Sur la décomposition de l'acide carbonique dans le spectre solaire par les parties vertes des végétaux.* Comptes rendus de l'Académie. 1877.

13) *Recherches sur la décomposition de l'acide carbonique dans le spectre solaire.* Annales de Chimie et de Physique. 1877.

14) *Критический разбор спектроскопических исследований Прингсгейма над желтыми пигментами.* 1876. Проток. Бот. Отд. Спб. Общества естествоиспытателей. Реф. в Just. Bot. Jahresbericht. Опровержение соображений Прингсгейма и критика метода Крауза.

15) *La Chlorophylle &.* Протоколы ботанического конгресса в Амстердаме. Реф. в Revue Scientifique. 1877.—Краткое извлечение из № 4 и 14.

16) *О физиологическом значении хлорофилла.* 1879. Речи и протоколы VI съезда естествоиспытателей в С.П.Б. Обзор современного состояния вопроса и указание на возможность совпадения maxima энергии и разложения в нормальном спектре.

17) *Спектр листьев.* Экспериментальное доказательство аномалии, представляемой спектром листьев. 1879. Проток. бот. секции VI съезда естествоиспытателей и пр.

18) *Объективное изучение закона абсорбции света хлорофиллом.* Там же.

19) *Разбор теории Прингсгейма о физиологическом значении хлорофилла.* Труды Петровской академии. 1879. Опровержение этой теории, значительно позднее предпринятое Ганзеном.

20) *Количество полезной работы, производимой в зеленом листе.* 1881. Проток физического отдела общества любителей естествознания и бот. отдела Петербург. ского общества естествоиспытателей. Реф. в Bot. Centralblatt. 1883. Изложение способа определения количества солнечной энергии, поглощаемой хлорофиллом листа, при помощи аппарата, описанного выше (№ 7), и установление отношения между количеством солнечной энергии, поглощенной листом, и производимой химической работой.

21) *Действие зеленого света на разложение углекислоты.* 1882. Проток. ботанич. отд. С.-Петербургского общества естествоиспытателей. Реф. в Bot. Centralblatt. 1883. Доказательство его бездействия.

22) *Растение и солнечная энергия.* Проток. физич. отд. общ. любителей естествознания. Указание на совпадение между характеристической абсорбционной полосой хлорофилла и положением maximum'a энергии в нормальном спектре (по Ланглею).

23) *Критика метода бактерий.* 1882. Проток. общества испытателей природы.

24) *La distribution de l'énergie dans le spectre solaire et la chlorophylle.* Comptes Rendus de l'Académie. 1883.

25) *Микроэвдиометр.* 1883. Проток. общ. испытат. природы. Новый метод анализа крайне малых количеств газа для физиологических целей.

26) *Зависимость фотохимических явлений от амплитуды световой волны.* Журн. русск. химического общ. 1884.

27) *Action chimique et action physiologique de la lumière.* Comptes Rendus de l'Académie. 1885.

Беспристрастный обзор этого списка, я полагаю, будет достаточен для того, чтобы установить следующие три пункта: 1) что в этих исследованиях, обнимающих семнадцатилетний период, я шел строго систематическим путем; 2) что, между тем как другие исследователи ограничивались исследованием той или другой частности, я постоянно занимался исследованием вопроса во всей его совокупности; и, наконец, 3) что я ранее других исследователей вполне самостоятельно *прямым и точным опытом* установил факты, послужившие основой для современной теории хлорофилловой функции, упразднившей теорию Дрепера, которую тем не менее Сакс продолжает упорно отстаивать, правда, с бо́льшим авторитетом, чем успехом [1]).

1884.

[1]) См. Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie 1882, t. I, p. 368... „все прямые опыты доказывают, что maximum выделения кислорода лежит в желтых лучах". „В общем результате исследование хлорофиллового спектра не дало ни одного физиологически важного факта, т.-е. мы знали бы о физиологической функции хлорофилла столько же, если бы ровно ничего не знали о его спектре"..

# IV. Космическая роль растения.

Крунианская лекция (Croonian lecture) [1]), читанная в Лондонском Королевском Обществе 30 (17) апреля 1903 года.

Когда Гулливер в первый раз осматривал академию в Лагадо, ему прежде всего бросился в глаза человек *сухопарого вида,* сидевший уставив глаза на огурец, запаянный в стеклянном сосуде.

На вопрос Гулливера диковинный человек пояснил ему, что вот уже восемь лет, как он погружен в созерцание этого предмета в надежде разрешить задачу улавливания солнечных лучей и их дальнейшего применения.

Для первого знакомства я должен откровенно признаться, что перед вами именно такой чудак. Более тридцати пяти лет провел я, уставившись если не на зеленый огурец, закупоренный в стеклянную посудину, то на нечто вполне равнозначащее — на зеленый лист в стеклянной трубке, ломая себе голову над разрешением вопроса о запасании *впрок* солнечных лучей. Если я решаюсь выступить перед этим знаменитым обществом с кратким отчетом о скромных результатах моего многолетнего труда, то лишь в надежде, что предмет этот имеет хотя и очень отдаленное, но тем не менее несомненное, отношение к тому вопросу, который доктор Крун, просвещенный и щедрый основатель этой лекции, считал наиболее уместной для нее темой. В течение длинного ряда лет содержанием для этих лекций служил вопрос *о мышечном движении,* позднее зашла речь *о движениях животных и растений* и, наконец, *о происхождении жизненных движений* вообще.

Быть может, мне дозволено будет сделать еще шаг в этом направлении, в сущности последний возможный шаг, и повести речь об энергии, затрачиваемой во всех этих движениях, о ее отдаленнейшем источнике—о солнечном луче, слагающемся в запас в зеленом листе.

Я полагаю, излишне напоминать вам, что вопрос этот был предметом многочисленных исследований в этой стране (и в Америке) в течение более чем столетия. Достаточно напомнить всем знакомые имена: Пристли, графа Румфорда, Добени, сэра Девида Брюстера, Джона Вильяма Дрепера, сэра Джона Гершеля, Роберта Гёнта, сэра Джорджа Стокса, Эдварда Шунка, Сорби, сэра Уильяма Абнея, Блякмана и last not least—[2]) Гораса Брауна, чтобы показать, какой глубокий интерес возбуждал этот вопрос с самых разнообразных точек зрения. Я мог бы прибавить, что

[1]) Эта лекция, основанная на капитал, завещанный доктором Круном, современником Галлилея и одним из первых членов общества, читается ежегодно почти в течение двух веков, для чего приглашаются выдающиеся английские или континентальные ученые: стоит только упомянуть имена Гёксли, Вирхова и Гельмгольтца.

[2]) Последний, но не из последних.

чтение блестящей книги Тиндаля „Теплота как движение“ и, в результате этого чтения, знакомство с классическим произведением Роберта Майера *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel* послужили толчком для всей моей последующей работы. И должно сознаться, что момент был для того исключительно благоприятный: Бунзен и Кирхгоф недавно открыли это могучее орудие исследования—спектральный анализ; сэр Джордж Стокс применил его к изучению химических превращений крови; Дезен и Тиндаль разработали термоскопический метод Меллони; Сент-Клер-Девиль сделал свое великое открытие диссоциации углекислоты; Бунзен и Дойер, упростив методы газового анализа, сделали их легко доступными для физиолога и, наконец, Буссенго только что опубликовал свои классические исследования над ассимиляцией углерода, в которых показал, что этот процесс может быть легко изучаем на отдельных листьях или даже кусочках листьев.

С первого же шага, на первой странице моей первой русской работы, в 1868 году, я определил намеченную задачу во всей ее широте в следующих выражениях:

„Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, проследить их участь в растении до их уничтожения, т.-е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой—вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к осуществлению которой должны быть направлены все силы ботаников“.

Я могу только добавить, что скромные результаты, полученные после длинного ряда лет только подтверждают, что я во всяком случае не преувеличивал трудностей задачи.

Когда я приступил к своей задаче, ходячее представление об этом фото-химическом процессе, совершающемся в зеленом листе, сводилось к убеждению, что действие различных лучей света должно быть в зависимости от их относительной *яркости*. Это убеждение основывалось главным образом на классических исследованиях Дрепера, произведенных им в солнечном спектре. С теоретической точки зрения мне представлялось крайне невероятным, чтобы такой по существу *эндотермический* и, следовательно, зависящий от энергии действующих лучей химический процесс мог находиться в каком-нибудь отношении с чисто-физиологическим свойством лучей, не имеющим, помимо органа зрения, никакого объективного существования. Света, понимаемого в тесном смысле этого слова, не существует для растения. Но факты, предъявляемые таким авторитетом в этой области исследования, каким был Дрепер, не могли быть устранены на одном основании их малой теоретической вероятности. Изучение классического мемуара Меллони о перемещении максимума теплового эффекта в зависимости от чистоты спектра навело меня на след экспериментальной ошибки в исследовании Дрепера. Его спектр был крайне нечист. Он получал его при помощи отверстия в $^3/_4$ дюйма в диаметре (Волластоновская узкая щель, повидимому, еще не вошла в то время в общее употребление). Таким образом, было найдено удовлетворительное объяснение для совпадения максимума химического процесса с максимумом *яркости* лучей в желто-зеленой части спектра. В нечистом спектре, полученном при помощи широкой щели, эта часть—фактически почти белая, слегка окрашенная в эти цвета, и, следовательно, действует суммой всех лучей спектра. Только края такого спектра действительно монохроматичны.



Второй шаг заключался в том, чтобы доказать, что такое совпадение двух maxima—яркости и химического действия—фактически не существует.

Сравнения этих трех кривых (рис. 1—кривой ассимиляции углерода, яркости и энергии в солнечном спектре), заимствованных из моей первой (и последней) немецкой работы, достаточно для того, чтобы убедить в отсутствии какой-либо связи между химическим действием и Фраунгоферовою кривой яркости света. В то же время в пределах видимого спектра усматривается несомненное соотношение с кривою распределения энергии.

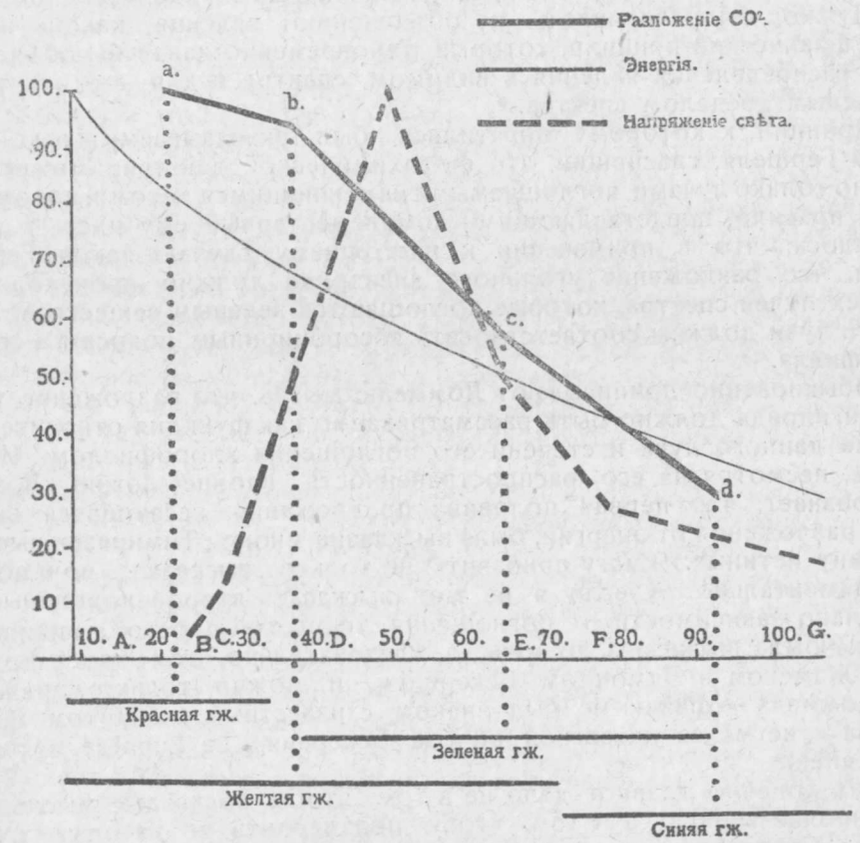



Рис. 1.

В этой первой, предварительной работе я остановился на более простом и удобном приеме цветных жидких экранов (теперь сказали бы: светофильтров), введенных в употребление Сенебье и усовершенствованных Добени. Я применил только более точное вычисление результатов и графическое их выражение. В то же время я в первый раз применил прием анализа газов, теперь вошедший во всеобщее употребление, но совершенно ложно приписываемый Пфефферу, хотя, по его собственному сознанию, он его у меня заимствовал.

Но если этих аргументов и фактических результатов было вполне достаточно, чтобы раз навсегда покончить с ходячими идеями о зави-

симости разложения углекислоты от относительной *яркости* различных лучей спектра, так как она опиралась исключительно на опыты Дрепера, то в свою очередь их не было достаточно для построения какой-нибудь новой теории. Нельзя было, например, без дальнейших разъяснений допустить, что разложение углекислоты зависит просто от относительной энергии луча. Максимум энергии лежит, как известно, в инфракрасной части призматического спектра, а замечательные опыты Кальете (почему-то почти всегда опускаемые в многочисленных исторических очерках нашего вопроса) несомненно доказали, что темные тепловые лучи, профильтрованные через известный Тиндалевский раствор иода в сероуглероде, не могут вызывать разложения угольного ангидрида в зеленом листе.

Нужно было привлечь к объяснению явления какой - нибудь новый физический принцип, который одновременно давал бы объяснение и для распределения явления в видимом спектре и для его отсутствия за красным пределом спектра.

Принцип, к которому обратились, был так называемый закон сэра Джона Гершеля, гласивший, что фотохимическое действие может быть вызвано только лучами, поглощаемыми изменяющимся телом и потому, как общее правило, представляющими комплементарный ему цвет [1]). Предполагалось, что в применении к настоящему случаю закон Гершеля значил, что разложение угольного ангидрида должно происходить на счет тех лучей спектра, которые поглощаются зеленым веществом листа, что эти лучи должны соответствовать абсорбционным полосам в спектре хлорофилла.

Обыкновенно приписывают Ломмелю мысль, что разложение угольного ангидрида должно быть рассматриваемо как функция относительной энергии данного луча и степени его поглощения хлорофиллом. Но это мнение, несмотря на его распространенность, вполне ложно. Ломмель сам признает, что первая половина предложения, касающаяся зависимости разложения от энергии, была высказана мною: „Тимирязев высказал половину истины". Я могу прибавить: не только „высказал", но и доказал экспериментально. А если я не мог высказать второй половины, т.-е. касательно зависимости от поглощения, то по той простой причине, что она уже была высказана до меня, а, следовательно, тем более до Ломмеля—Жаменом и Эдмондом Бекерелем, и можно только удивляться, что Ломмель — физик не был знаком с известным учебником физики Жамена и не менее известной книгой Бекереля „La Lumière, ses causes et ses effets".

Но, конечно, главное дело не в том, чтобы высказать мысль, хотя бы и вполне верную, а в том, чтобы подтвердить ее на опыте. *Nullius in verba* [2]) теперь, как и столетия тому назад, должно быть руководящим правилом всякого исследователя. Другими словами, нужно было повторить знаменитый опыт Дрепера, избежав его ошибки, а в этом и заключалось главное затруднение. Обыкновенно принято также считать, что это было осуществлено в первый раз моим старым другом, профессором Н. К. Мюллером. Но, к сожалению, и на этот раз я не могу подтвердить ходячего мнения. Дело в том, что Мюллер не доставил этого прямого доказательства о связи между поглощением света листом и совершающимся в нем химическим процессом, да и не мог сделать

[1]) Закон этот еще ранее был высказан Гротгусом, в Митаве.

[2]) Девиз королевского общества, имеющий смысл, что не следует в науке опираться на слова.



этого, так как не располагал единственным средством избежать ошибки Дрепера. В своей первой работе, появившейся ранее моей, он экспериментировал в довольно чистом спектре, но тогда напряжение света не было достаточно велико, и он *не получил разложения угольного ангидрида*, а заключал о нем лишь на основании различия в интенсивности обратного процесса дыхания (т.-е. *образования углекислоты*). Во второй работе, появившейся уже после моего исследования, он мог прямо констатировать разложение углекислоты, но только ценою чистоты своего спектра—ширина его щели была почти та же, что и у Дрепера, и результат был почти тот же, т.-е. главный максимум разложения оказался в желтых лучах.

Если я позволю себе останавливаться подробнее на этом вопросе, то не из тщеславного желания установить свой приоритет, но на основании твердого убеждения, что избранный мною путь остается и теперь, как был тогда, единственным средством избежать ошибки Дрепера. Мюллер не придумал никакого средства избежать, а следовательно, и не мог избегнуть этой ошибки. Дилемма, так ясно обнаруживаемая двойной неудачей Мюллера, заключалась в следующем: если спектр чист, напряжение света недостаточно для обнаружения разложения угольного ангидрида; если, наоборот, мы широко раскроем щель и увеличим напряжение света в спектре, мы можем быть вперед уверены, что получим максимальное действие в средине спектра, в его желто-зеленой части. Существовало только одно средство избежать обоих рогов этой дилеммы—увеличить интенсивность чистого спектра, уменьшив его размеры, но тогда и листовые поверхности, выставляемые в спектре, были бы соответственно уменьшены, а следовательно, и количества газов, с которыми пришлось бы оперировать, были бы слишком малы для их измерения при помощи тех газометрических приемов, которые химия того времени могла предложить к услугам ботаника.

Главная задача, следовательно, сводилась к тому, чтобы, так сказать, изменить масштаб газометрических измерений, не поступившись точностью методы и удобствами операций. Хотя я с той поры не раз менял подробности устройства приборов, основание придуманной мною методы газового анализа осталось то же самое. Листья вводятся в цилиндрические трубки потребного диаметра, а еще лучше — в плоские трубки [1]) (чем достигается увеличение поверхности листа), а газы измеряются и анализируются в трубках наименьшего возможного диаметра.

Все необходимые манипуляции—переливание газов и их обработка реактивами—достигаются при помощи предложенной мною в 1871 году газовой пипеты, которую я до сих пор считаю наиболее удобной (рис. 2). Она представляет прочное сочетание пипеты и ртутной ванны, благодаря чему восходящему концу сифонопипеты можно сообщить такой малый наружный (не свыше $1^1/_2$ миллиметра) диаметр, что он может проникать в измерительные трубки в 2 миллиметра внутреннего диаметра. Достоинство этого приема заключается и в том, что газы не встречают на пути ни крана, ни каучуковой трубки.

Все необходимые операции сводятся вкратце к следующему: благодаря видоизмененной мною форме Бунзеновского газометра приготовляемая в нем смесь воздуха и углекислоты, проходя чрез еще особую пипетку, так сказать, режется на ломти потребного объема и распределяется по плоским трубкам с листьями. После достаточной экспозиции

[1]) Я их употребляю с 1870 года.

в спектре газы отбираются при помощи выше описанной пипеты и приводятся для анализа в упомянутые измерительные трубки, дозволяющие измерение с точностью до $^1/_{1000}$ кубического сантиметра.

Благодаря этим приспособлениям задача получения *достоверных* аналитических данных с зелеными поверхностями, подвергнутыми действию *чистого* спектра, была в первый раз разрешена, и я считаю до сих пор этот метод единственным заслуживающим полного доверия.

Действительно, два другие приема, которые применялись для разрешения этой задачи, несравненно менее точны. Счет пузырьков газа, выделяемых при этих условиях водяными растениями (что можно очень красиво демонстрировать в проложении при помощи волшебного фонаря) [1]), хотя бы измеряли их диаметр, как это делал в последнее время Коль, не может быть предложен как сколько-нибудь точный способ. Правда, мы можем получить значительно более надежные результаты, воспользовавшись моим *микроэвдиометром*—маленьким аппаратом, позволяющим в несколько минут собрать и подвергнуть анализу пузырек газа не более булавочной головки, но и в этом случае источники погрешности, проистекающие от водяной среды, в которой производится опыт, хотя и сведенные на minimum, все же не могут быть вполне устранены.

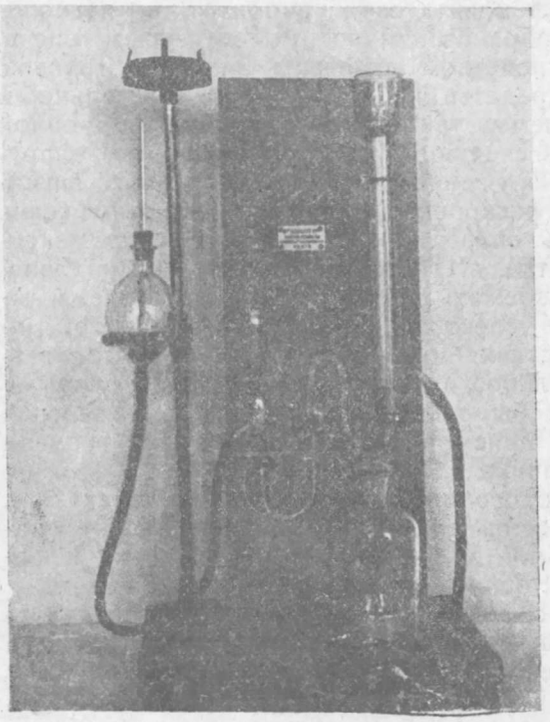


Рис. 2.

Что касается до третьего приема, до пресловутого определения кислорода при помощи бактерий, предложенного Энгельманом, то я продолжаю придерживаться того мнения, что этот прием слишком окольного свойства, и остаюсь при убеждении, что химические вопросы должны разрешаться химическими методами. К тому же мы вскоре будем иметь случай наглядно убедиться, как мало можно полагаться на этот прием исследования.

Таким образом, мы видим, что только выработка газометрического метода, дозволяющего измерение и анализ очень малых количеств газа, дала возможность изучить процесс разложения углекислоты в чистом спектре.

Но было еще два предварительных вопроса, которые необходимо было разрешить, прежде чем приступить к изучению этого основного вопроса о связи между фотохимическим процессом и поглощением света в зеленом листе. Нужно было изучить спектры поглощения хлорофилла и его ближайших составных начал точнее, чем это было сделано до тех пор. Не стану приводить здесь результатов моего, напечатанного в 1871 году, на русском языке исследования, в котором я пытался в первый раз классифицировать эти тела на основании их спектроскопических признаков, — скажу только, что позднейшие исследования, в особенности Гартлея, Шунка и Морхлевского, их подтвердили в основных чертах. Остановлюсь только на способе изображения спектров, который я тогда в первый раз ввел и до самого последнего времени старался усовершенствовать. До тех пор абсорбционные спектры изображались как бы состоящими из *отдельных* темных полос, чередующихся со световыми промежутками, что, конечно, соответствовало только известным, совершенно произвольно выхваченным, концентрациям или толщинам слоя. Сопоставляя целый ряд спектров, соответствующих различным толщинам слоя, я получил *спектрограммы*, вполне характеризующие вещество (рис. 6). Для этих наблюдений я предложил в различное время несколько аппаратов. Позднее я отказался от этого хлопотливого последовательного зарисовывания спектров, все же оставляющего простор

[1]) Этот прием демонстрации, описанный мною лет двадцать тому назад, года два тому назад Пфеффер приписал себе.



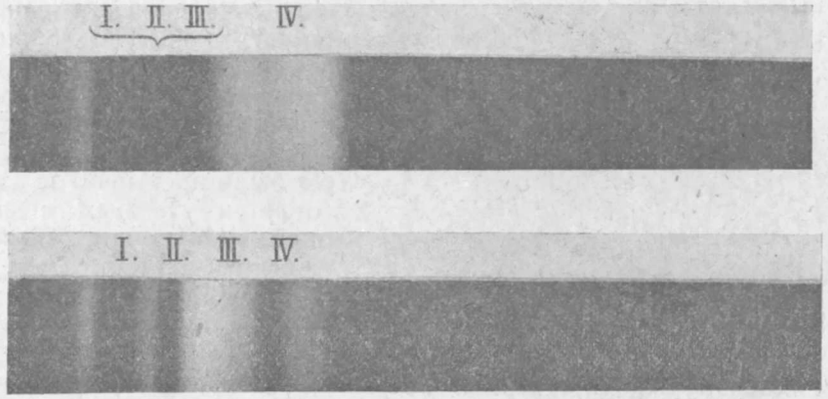



Рис. 3.

для субъективных ошибок, и заменил его непосредственным наглядным наблюдением этих спектрограмм в *клиновидных* сосудах (способ, если не ошибаюсь, в первый раз примененный покойным профессором Гладстоном), и, наконец, мне удалось осуществить самый удобный и вполне объективный прием исследования спектров в форме этих *фотоспектрограмм*.

Первые фотографии хлорофиллового спектра я получил еще в 1892 году на обыкновенных Ильфордовских пластинках (рис. 3) [1]), при продолжительной экспозиции (в несколько минут), с желтым светофильтром, но теперь предпочитаю замечательные по своей ортохроматичности и отсутствию полос поглощения пластинки Кадета—*Spectrum*. Наиболее удобная форма клиновидного прибора, которую я окончательно выработал,—та, которая изображена здесь (рис. 4, 5). Кубический сосуд, разделенный диагональной перегородкой на два призматические отделения, наполняется с одной стороны раствором, с другой—раство-

[1]) И превосходных пластинках, изготовлявшихся в то время нашим известным фотографом *А. Эйхенвальдом*.

рителем. Щель может вращаться так, что по желанию можно фотографировать или спектр любой концентрации или полную спектрограмму. В последнем случае удобнее давать щели *горизонтальное* положение, так как при этом условии легко приготовить раствор желаемой концентрации и можно воспользоваться подвижной спинкой (swing back) камеры для наведения всех частей спектра на фокус. В этих фотоспектрограммах мы, конечно, имеем наилучшее средство изображения спектров, но, как мы увидим далее, в некоторых случаях мне приходилось прибегать к еще другому приему—*спектрофотометрическому*.

Рис. 4.

Возвращаясь к нашей основной задаче, мы видим, как существенно важно было знать действительную форму абсорбционной кривой. Так как все до той поры изображаемые спектры были прерывчатые (т.-е. состояли из темных и светлых полос), то трудно было себе объяснить, почему (как в опытах Дрепера) химическое действие распределялось в спектре непрерывно [1]).

Только вооружившись этими газометрическими и спектроскопическими приемами, я мог, наконец, повторить классический опыт Дрепера, не опасаясь впасть в его ошибку. В результате моего исследования явилось полное подтверждение применимости закона Гершеля к нашему случаю. Не только оба максимума вполне совпадают, но и кривая разложения вполне воспроизводит кривую поглощения света, по крайней мере, в наименее преломляющейся части спектра (рис. 6 верх). Можно заметить, что вторичные абсорбционные maxima, повидимому, не отражаются на химическом процессе, но еще подлежит сомнению (особенно после последних исследований Шунка и Морхлевского), принадлежат ли эти линии главному составному началу хлорофилла или какому-нибудь из его продуктов разложения.

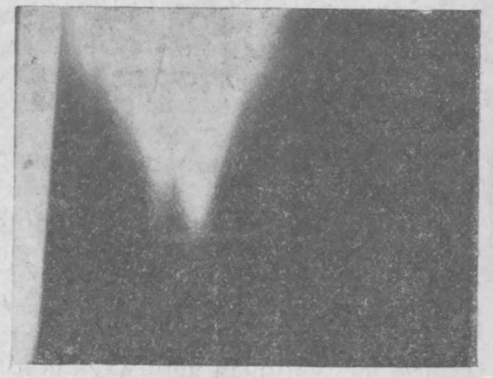
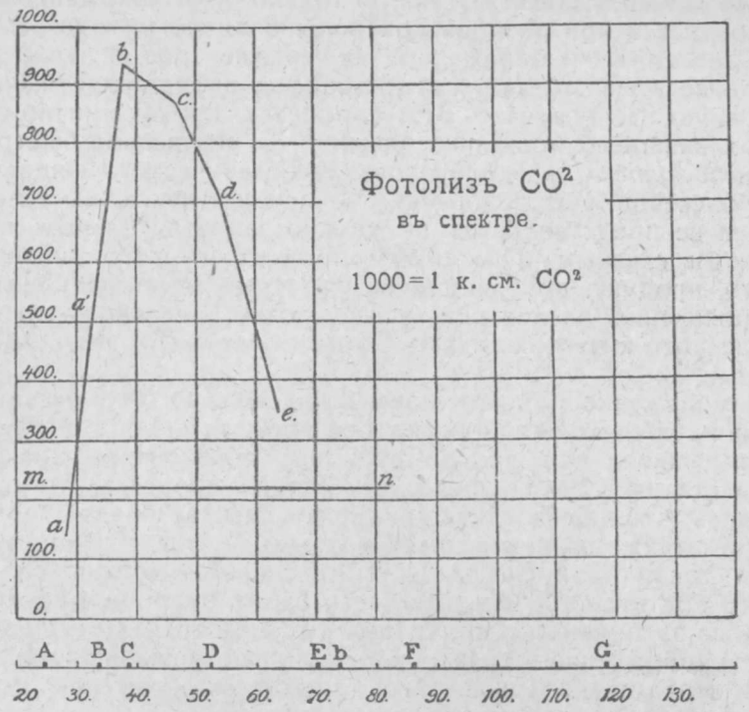


Рис. 5.

[1]) Ломмель на основании такого недостаточного знакомства со спектром и высказывал мнение, что химическое действие в спектре должно быть прерывчатое.





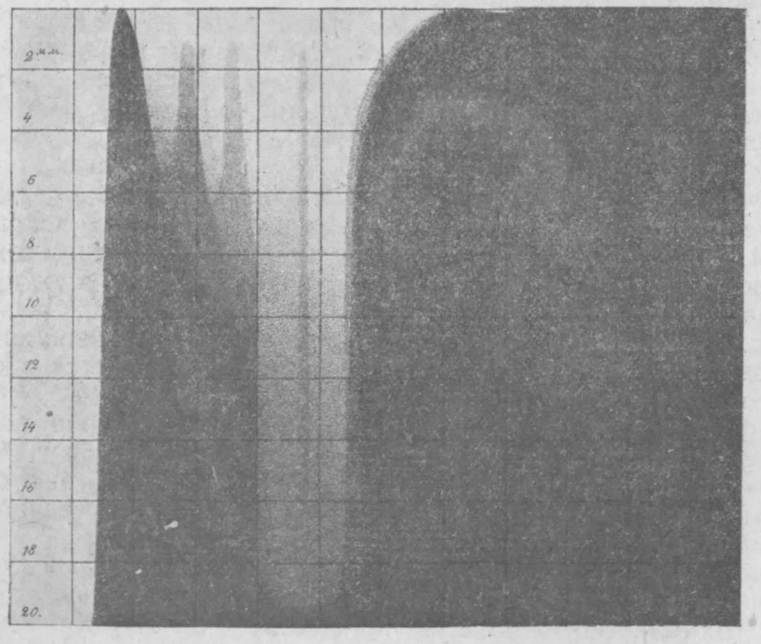




Рис. 6.

Тот же самый результат, как в только что изложенном опыте, я получил позднее и при помощи совершенно иного метода. Разложение угольного ангидрида, изображенное на чертеже (рис. 6 верх), *фотолиз*, как правильнее всего называть этот процесс, представляет начальную и, конечно, самую важную часть этого процесса, так как именно он зависит от действия внешнего источника энергии. За ней весьма быстро следует процесс *фотосинтеза*, т.-е. образования органического вещества. Хотя, благодаря блестящим исследованиям Брауна и Мориса, мы теперь знаем, что крахмал не представляется не только исключительным, но, может быть, даже и главным *ближайшим* продуктом этого синтеза, тем не менее — это продукт, появляющийся уже через несколько минут после первого проявления разложения углекислоты, а главное — это продукт, присутствие которого может быть легко обнаружено при помощи реакции с иодом.

Если разложение угольного ангидрида должно быть рассматриваемо как функция тех световых волн, которые соответствуют полосам поглощения хлорофилла, а с другой стороны, образование крахмала—как следующая стадия того же фотохимического процесса, то естественно предположить, что образование крахмала в спектре будет строго локализовано, будет также ограничиваться местами, соответствующими абсорбционным полосам хлорофилла. Другими словами, должно ожидать, что если спектр достаточной интенсивности будет отброшен на живой лист, предварительно лишенный крахмала, то он отпечатает в этом листе невидимое изображение — спектр хлорофилла, образованный микроскопическими зернами крахмала. Это скрытое изображение может быть затем проявлено при помощи реакции с иодом.

Это мое предположение было вполне подтверждено следующим опытом. Здоровые и находящиеся в связи с растением листья гортензии, предварительно лишенные крахмала, после 5—6 часовой экспозиции в очень интенсивном и чистом спектре были подвергнуты известной иодной пробе на крахмал. Они представили вполне отчетливый спектр хлорофилла с резко обозначенной главной полосой поглощения между Фраунгоферовыми линиями *B* и *C* и постепенно стушевывающимся действием в сторону синей части спектра (рис. 7). Второстепенных полос, как и при изучении разложения углекислоты, нельзя было обнаружить.

Синие и фиолетовые лучи не оказали почти никакого действия. Этот последний результат, вероятно, следует приписать тому обстоятельству, что появление крахмала является только результатом двух противоположных процессов—образования крахмала и его растворения, так что, начиная с известного напряжения света, когда ассимиляция углерода недостаточно энергична, первый процесс уравновешивается вторым, и в листе не отлагается избыточного крахмала.

Эти факты естественно приводят нас к рассмотрению вопроса об относительном влиянии на рассматриваемый нами процесс лучей наиболее преломляющейся части спектра. Можно было заметить (рис. 6), что до этой поры мои исследования ограничивались его наименее преломляющейся половиной.

Относительно второй половины спектра господствовало убеждение, что входящие в ее состав лучи играют сравнительно ничтожную роль в нашем фотохимическом процессе. Мнение это основывалось на том же классическом опыте Дрепера и на многочисленных опытах с желтыми и синими светофильтрами. Но все опыты этой второй категории заслуживают мало доверия, так как точные фотометрические измерения доказывают, что лучи, *пропускаемые* этими цветными средами, ослаблены в весьма различной мере и что, следовательно, получаемые химические результаты не могут быть непосредственно между собою сравниваемы [1]). Результаты эти также не сравнимы между собою и при производстве опытов в спектре, так как дисперсия в более преломляющейся части спектра значительно сильнее, чем в части, менее преломляющейся; по этой причине в первых своих опытах я и удовольствовался менее преломляющеюся частью и не распространил их на синюю и фиолетовую часть. Здесь кстати можно показать, как капризны и ненадежны результаты, получаемые при помощи Энгельмановского бактериального метода. Для этого достаточно сопоставить результаты, полученные самим Энгельманом и одним из горячих защитников его метода, Пфеффером. Между тем как Энгельман обнаружил ясный второй максимум в синей части, Пфеффер, экспериментируя по тому же методу, никакого второго максимума не получил. Этот прием, следовательно, не только негоден для количественного измерения, но даже ненадежен для простого обнаружения явления.



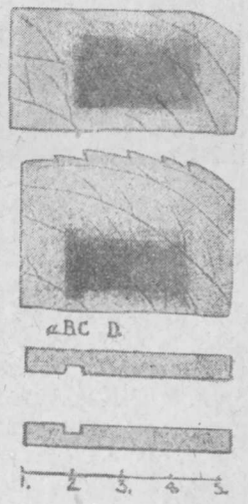


Рис. 7.

Казалось бы, что недостаток, присущий призматическому спектру, можно было бы всего проще устранить простым вычислением, допустив, что действие света пропорционально его напряжению. Но так как закон, определяющий связь между процессом и напряжением света, не был известен, то это предположение было бы голословно, и в действительности, как мы увидим далее, закон этот гораздо сложнее.

Казалось бы также, что задачу эту еще проще разрешать экспериментальным путем,—стоит только произвести опыт не в призматическом, а в диффракционном спектре. Но ряд опытов, сделанных мною при помощи превосходной Роуландовской решетки, дал только отрицательные результаты. Как в опытах Мюллера, напряжение света не было достаточно для обнаружения разложения углекислоты. Пришлось вернуться к спектру призматическому. Позволю себе сослаться на слова Ланглея, который, несмотря на почти баснословную чувствительность своего болометра, говорит в одной из своих позднейших работ: „В конце концов призма гораздо удобнее решетки“.

Работать с призмой, желая избежать ошибки, проистекающей от различной дисперсии в различных частях спектра, в этом случае значило просто воспользоваться известным способом для сложения лучей, разложенных призмой. При таких условиях мы соединяем интенсивность призматического спектра с удобством диффракционного. Я вначале пользовался прибором Ж. Дюбоска для получения комплементарных цветов. Он состоит из цилиндрической линзы и призмы очень малого угла, наклеенной на стекляную пластинку. Вместо спектра мы получаем две полосы комплементарного цвета.

---

[1]) На это обстоятельство я указывал еще в 1868 г. Хотя ботаники до сих пор приписывают разъяснение его Волкову, но всякий понимающий дело без труда поймет, что вся статья Волкова обнаруживала только его незнакомство с строгой физической постановкой вопроса.

Позднее я придумал видоизменение этого аппарата (искусно выполненное Ф. Пелленом), состоящее из двух таких стеклянных пластин с соответствующими им призмами. При помощи зубчатки оба стекла могут скользить параллельно одно другому и делят спектр не на две, а на три части (рис. 8).

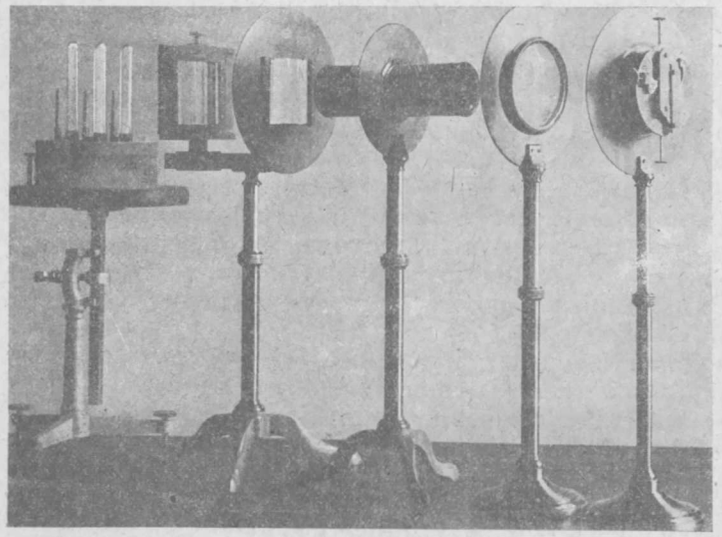


Рис. 8.

Так как при исследовании газового обмена трубки с листьями погружены своими нижними концами в ртуть, то спектр по необходимости нужно делить на части в вертикальном направлении, но в других случаях, как увидим, можно с удобством пользоваться еще более простым способом (предложенным, если не ошибаюсь, Кундтом) и делить спектр в горизонтальном направлении, при чем цветные поверхности могут быть непосредственно сопоставлены (рисун. 9). Как уже сказано, способы эти, если спектр делится на участки, *равные между собою* (по отношению к диффракционному спектру), соединяют преимущества решетки и призмы: различие в дисперсии устранено, как в диффракционном спектре, а интенсивность света остается та же, что в призматическом.

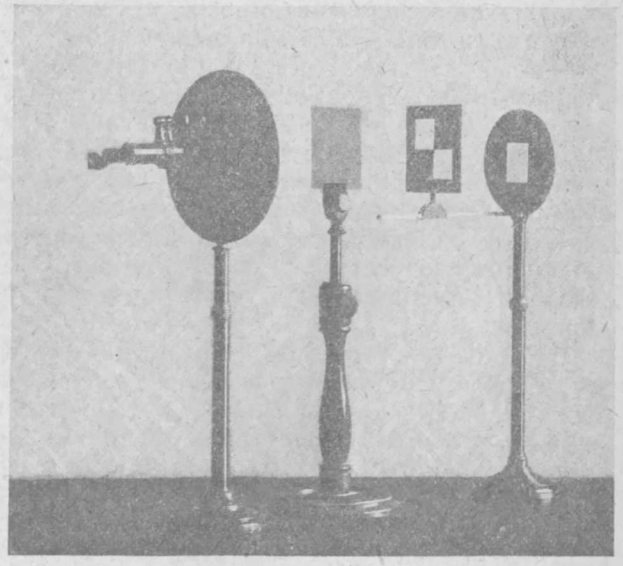
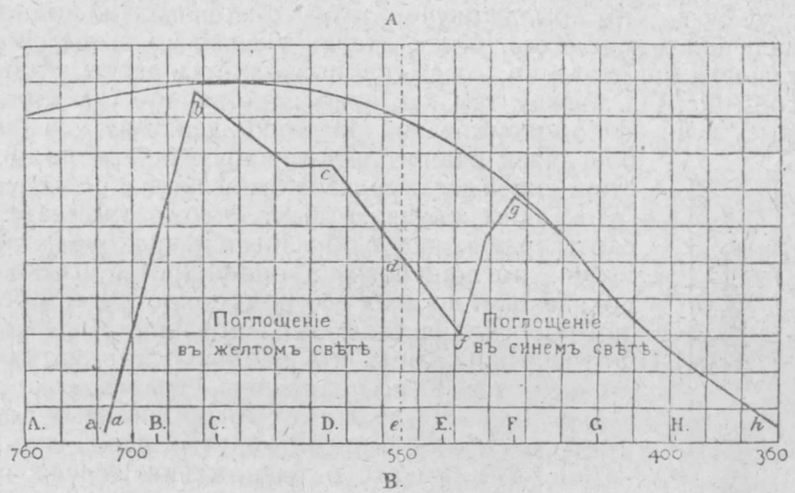


Рис. 9.

Мало того, в последнем отношении этот метод представляет даже преимущество перед призматическим. В случае надобности можно употреблять спектр в значительной степени нечистый (т.-е. полученный при помощи широкой щели, дающей более света), лишь бы только получаемые цветные полосы света были равномерно окрашены и представляли равные поверхности. Стоит только анализировать входящий в их состав свет [всего проще при помощи маленького Сорби - Браунинговского



спектроскопа со скалою в длинах волн (рис. 9), и тогда, несмотря на то, что изолируемые спектральные участки будут захватывать край за край, аналитические результаты могут быть прямо нанесены на скалу нормального спектра. Таким образом благодаря этому методу не только неточность, проистекающая от различия в дисперсии, но и в значительной мере неточность от нечистоты спектра могут быть устранены и таким образом достигнута возможность прямого сравнения результатов при максимальной силе света. Добавлю только, что до сих пор я предпочитаю работать с чистым спектром.



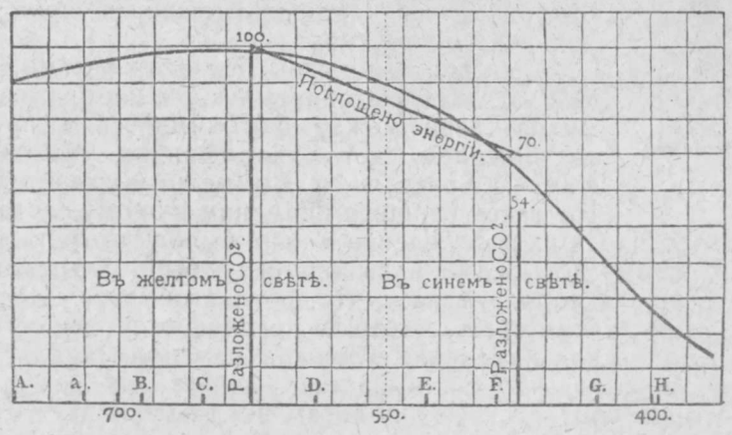




Рис. 10.

Опыт, предпринятый с целью определить относительное действие двух половин спектра, был веден следующим образом.

Луч света от большого гелиостата Фуко (работы Пеллена в Париже) с зеркалом в 80×40 см. концентрировался на щели при помощи линзы в 25 см. в диаметре, разлагался призмой прямого видения и снова собирался при помощи указанного выше прибора в две полосы дополнительного цвета—желтую и синюю. Если принять, что границы действующих лучей соответствуют длинам волн в 700—400 миллионных миллиметра, то линия, проходящая приблизительно около длины волны в 550 миллионах миллиметра, будет делить спектр на две половины, равные по отно-

шению к спектру диффракционному (рис. 10 *B*). Данные газового анализа, полученные для двух равных зеленых поверхностей, выставленных в желтой и синей полосе, могут быть, следовательно, прямо между собою сравниваемы и нанесены на скалу диффракционного спектра.

Они могут быть выражены в следующих цифрах: если мы примем количество угольного ангидрида, разложенное в желтой половине, (в среднем из 6 опытов) за 100, то действие синей половины будет 54 (рис. 10 *B*). Главный результат, следовательно, сводится к тому, что синим и фиолетовым лучам до сих пор приписывали слишком слабое действие.

Тот же результат был получен и по отношению к иодной пробе на крахмал, при чем спектр был разделен указанным выше способом в горизонтальном направлении; тогда обе поверхности располагаются одна над другой (рис. 11). Между тем как непосредственно в спектре синие и фиолетовые лучи не обнаруживали никакого действия, на этот раз, благодаря равной интенсивности обеих половин, действие синей части спектра было вполне резко выражено.

Рис. 11.

Таким образом факт, что разложение углекислоты, равно как и образование крахмала, зависит от лучей, поглощенных хлорофиллом, можно считать доказанным во всех его подробностях, тем более, что фосфороскопические исследования Анри Бекереля; фотографии Абнея и в особенности тщательное болометрическое исследование Доната показали, что в инфракрасной части нет абсорбционных полос, чем и объясняется вышеупомянутый факт, что Кальете не получил никакого разложения углекислоты при помощи лучей, профильтрованных чрез Тиндалевский иодный раствор.

Теперь мы должны перейти к рассмотрению второго из двух упомянутых выше соображений, касающихся связи между фотохимическим процессом и поглощением света хлорофиллом. Мы видели, что Жамен, Бекерель и Ломмель высказывали мнение, что закон Гершеля применим к этому случаю. Но мне представлялось, что в их рассуждении можно было усмотреть логическую ошибку, что между посылками и выводами не было надлежащей связи.

Закон Гершеля подразумевает, что фотохимическое действие ограничивается теми лучами света, которые поглощаются веществом, *испытывающим* химическое изменение. Гершель сам применил этот закон к хлорофиллу, показав, что он выцветает, линяет как раз в тех лучах спектра, которые соответствуют полосам поглощения.

Но в разложении углекислоты мы имеем совершенно иной случай: вещество, подвергающееся разложению,—бесцветный газ, а поглощается свет совсем иным веществом—хлорофиллом. Решительно не было возможности усмотреть здесь прямого применения закона Гершеля, и вот почему я и не настаивал на его применении в начале моих исследований. Но по этой же причине я один из первых приветствовал и оценил все значение для физиологии блестящего открытия Фогеля—его *оптических* сенсибилизаторов—еще в то время, когда многие авторитетные ученые отрицали самое открытие [1]).

[1]) Обратно, и Фогель был одним из немногочисленных немецких ученых, принявших мои результаты, когда они еще отвергались всеми немецкими ботаниками.



Это замечательное открытие не только произвело революцию в практике фотографии, но и доставило физиологу то недостающее логическое звено, отсутствие которого не дозволяло ему распространить закон Гершеля на фотохимический процесс, совершающийся в зеленом листе. Вслед за Фогелевским открытием действия эозина появилось исследование Э. Бекереля над сенсибилизирующим действием хлорофилла на чувствительную коллодиальную пластинку, так что без малого через год после появления моего первого сообщения (на конгрессе ботаников во Флоренции) я уже мог дать своим опытам рациональное объяснение с точки зрения Фогелевской теории сенсибилизаторов. Эта мысль, что хлорофилл играет в живом огранизме роль оптического сенсибилизатора, которую я высказал в первый раз в 1875 году, теперь может считаться общепринятой, но, я полагаю, найдется немного ботаников, которые имели бы случай видеть фотографическое действие хлорофилла на чувствительную пластинку. Благодаря любезности покойного Э. Бекереля я видел в 1877 году его превосходные коллодиальные пластинки, но теперь коллодиальный способ мало распространен, и потому я пытался найти наиболее легкий способ для демонстрирования действия хлорофилла на обыкновенную броможелатинную пластинку. Спиртовые растворы хлорофилла в этом случае неудобны, и я нашел, что их можно очень удобно заменить хлорофиллатом натрия, растворимым в воде.

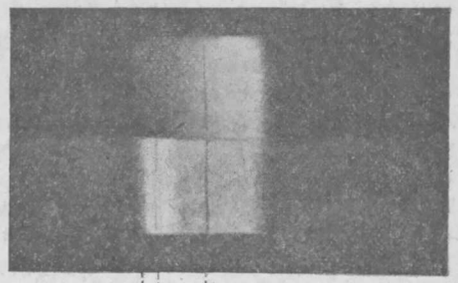


Рис. 12.

Вот пластинка (Ilford, Ordinary), наполовину погруженная в баню хлорофиллата натрия и затем выставленная в спектр, ограниченный при помощи желтого светофильтра его наименее преломляющеюся частью. Ясно видно, что, между тем как на обыкновенной пластинке действие света останавливается приблизительно при линии *D*, в той ее части, которая была погружена в хлорофилловую баню, выступает резкая широкая полоса, соответствующая главной абсорбционной полосе хлорофилла между линиями *B* и *C* (рис. 12).

Я старался провести аналогию между действием хлорофилла в листе и в фотографической пластинке еще далее и показать, что хлорофилл — оптический сенсибилизатор не только в смысле Фогеля, но и в смысле сэра Уильяма Абнея.

Сэр Уильям Абней, как известно, признает, что всякий оптический сенсибилизатор, как общее правило, представляет из себя линючую краску, т.-е. быстро обесцвечивается под влиянием света. Классические исследования сэра Джона Гершеля над обесцвечиванием бумаги, окрашенной хлорофиллом, уже доказывали, что хлорофилл принадлежит к этой категории. Вот отпечаток листа папоротника, полученный при помощи хлорофилла. Лист этот был наложен на пластинку из коллодиума, окрашенного хлорофиллом. После непродолжительной экспозиции на солнце все поле выцвело, а части, защищенные листом, сохранили свою оригинальную окраску. Изображение фиксируется непродолжительным погружением в баню из медного купороса. Подвергая такие коллодиально-хлорофилловые пластинки действию различных лучей спектра, я убедился,

что обесцвечивание вызывается теми же лучами, которые вызывают разложение углекислоты.

Мне, может быть, будет дозволено остановиться несколько подробнее на этом важном вопросе о роли хлорофилла как сенсибилизатора. Сенсибилизаторы подразделяются обыкновенно на две группы: на сенсибилизаторы химические и оптические. Первые считаются просто поглотителями одного или более продуктов реакции, последние в то же время поглощают лучистую энергию. Оптическому сенсибилизатору в то же время приписывается обыкновенно роль и химического, но обратное, конечно, не очевидно. Существование химических сенсибилизаторов допускалось задолго до открытия Фогеля; много случаев такого действия можно найти в известной, уже упомянутой книге Э. Бекереля, и потому еще в 1871 году в своем исследовании „Спектральный анализ хлорофилла" я указывал, что за хлорофиллом можно признать роль сенсибилизатора в этом, чисто химическом смысле. Я настаивал на том, что процесс разложения угольного ангидрида—по существу процесс диссоциации, что „скорость процесса диссоциации зависит от удаления ее продуктов", „что растение действует как поглотитель, постоянно нарушающий равновесие между угольным ангидридом и продуктами его диссоциации", и наконец, что мы, вероятно, должны допустить существование двух видоизменений хлорофилла, подобных гемо- и оксигемоглобину крови, при чем второй из них способен образовать продукт, аналогичный карбонилгемоглобину.

В то время мне казалось, что эти два состояния окисления соответствуют нормальному зеленому хлорофиллу и тому, что сэр Джордж Стокс назвал „измененным" (modified) хлорофиллом (рис. 3), так как мои опыты поставили вне сомнения, что это последнее тело—продукт окисления первого. Но позднее я нашел новую реакцию хлорофилла, которую я считаю крайне важной с физиологической точки зрения, теперь нами обсуждаемой. Когда на хлорофилловый раствор умеренной концентрации действуют водородом в момент выделения, получается почти бесцветное или бледно-желтое тело, обладающее при значительной концентрации превосходным пурпуровым цветом. Вещество это может существовать только при полном отсутствии кислорода. Приходя в прикосновение с воздухом, оно почти моментально принимает свой прежний зеленый цвет. Спектр этого продукта восстановления хлорофилла (я предложил для него название протохлорофиллина или проще протофиллина) характеризуется при слабой концентрации отсутствием полос поглощения в наименее преломляющейся части спектра, но при достаточной концентрации представляет ясную полосу, почти соответствующую II полосе хлорофилла, и другую около IV, но без следов главной хлорофилловой линии I. Это был первый случай получения продукта, который отличался полным отсутствием того, что считалось главной характеристикой хлорофилла. Очевидно, мы здесь в первый раз имели дело с производным хлорофилла, из которого при его соприкосновении с кислородом почти моментально обратно возрождается хлорофилл.

Получив эти столь важные реакции восстановления и обратной регенерации хлорофилла в его растворах, я приложил все старания, чтобы доказать присутствие протофиллина в живом растении. Так как образование хлорофилла в этиолированных сеянцах является реакцией окисления (факт этот был установлен в моей лаборатории Дементьевым в 1873), то было естественно обратить именно в этом направлении свои поиски за протофиллином, так легко окисляющимся в хлорофилл. Указания, встречаемые в литературе, впрочем, мало к тому поощряли. Так называемый *этиолин* немецких ботаников всегда представлял характеристические спектральные черты хлорофилла. Мои первые шаги были также неудачны. Я получал, правда, растворы, в которых II полоса была более резко выражена, чем в хлорофилле; она равнялась I, даже превосходила ее, но тщетно искал я растворов, в которых I полоса совершенно отсутствовала бы, пока не напал на мысль, что предосторожности, которые до тех пор принимались, не были достаточны для точного устранения действия света. Я заключил горшки с семенами, предназначенными для прорастания (лучшим материалом оказался подсолнечник), в жестянки, которые в свою очередь помещались в шкафу в фотографической комнате, а растворы приготовлялись в той же темной комнате с соблюдением предосторожностей, употребляемых в ортохромной фотографии. Результатом этого приема было получение протофиллина без следов хлорофиллового спектра.



Так как красящая способность этих растворов незначительна, то пришлось изучать их спектры в трубках в 1/2 метра длиною. Обыкновенно 10—20 семянодолей было достаточно для получения необходимого раствора для наполнения этой трубки. Но стоило выставить на свет на минуту одну или даже часть семянодоли, чтобы получить раствор с ясными резкими полосами хлорофиллового спектра. Эти факты указывают вне всякого сомнения, что в живом растении существует красящее вещество со свойствами восстановленного хлорофилла, почти моментально превращающееся в хлорофилл под влиянием света.

Конечно, было бы еще важнее получить непосредственное доказательство присутствия этого продукта восстановления хлорофилла в зеленом листе; только установление этого факта могло бы быть принято как доказательство, что хлорофилл играет роль химического сенсибилизатора. Но открытие его присутствия в зеленом листе сопряжено с несомненными трудностями. Как я только что указал, растворы *протофиллина* обладают красящею способностью несравненно более слабою, чем растворы хлорофилла, и потому эти последние всегда могут маскировать их присутствие. Таким образом, допустив, что предполагаемое восстановление хлорофилла совершается в зеленом листе, мы можем ожидать, что оно не обнаружится ни в изменении цвета листа, ни в изменении спектра его раствора, а разве только в изменении интенсивности зеленой окраски, в известном ее выцветании или побледнении. Такая, более бледная окраска листьев, выставляемых на свет, действительно неоднократно замечалась, но обыкновенно ее приписывают перемещению или изменению в форме хлоропластов,—предположение, как мне кажется, мало вероятное в применении к палисадной паренхиме, особенно когда лучи не падают в направлении, строго параллельном продольной оси клеточек. Мне представляется весьма вероятным, что по крайней мере значительная часть этого выцветания зеленых листьев может быть приписана превращению хлорофилла в протофиллин.

Подводя итог, мы можем, следовательно, допустить существование не только двух, как в крови, но даже трех состояний окисления зеленого вещества растения. Эти превращения, вероятно, послужат нам исходной точкой для теории хлорофилла как *химического* сенсибилизатора.

Представив доводы в пользу предположения, что хлорофилл играет роль сенсибилизатора в обоих смыслах этого слова, т. е. химического, или поглотителя продуктов реакции, и оптического, или поглотителя деятельных лучей, я постараюсь сделать еще шаг далее и привести соображения, заставляющие меня видеть в нем не только одного из бес-

численных представителей этой группы, но и вещество, совсем особенно приспособленное к этой функции.

С самого начала моих исследований я был убежден, что такая по существу эндотермическая реакция, как диссоциация угольного ангидрида, должна стоять в каком-нибудь отношении с энергией луча, принимающего участие в процессе. В то время физики не обладали никакими точными сведениями о распределении энергии в спектре, но я тем не менее определенно высказал мысль, что будущие исследования в диффракционном спектре могут изменить ходячие представления о тепловом эффекте различных лучей и докажут, что наибольшей энергией обладают не инфракрасные лучи, а известные лучи видимого спектра, быть может, те самые, которые поглощаются зеленым растением, — так что два максимума—энергии и абсорбции хлорофиллом, быть может, в конце концов совпадут.

Эти мои предсказания блистательно оправдались в известных опытах Ланглея и сэра Вильяма Абнея. Я обратил внимание на это предвиденное мною совпадение в небольшой заметке в Comptes Rendus Парижской Академии вскоре после появления работы Ланглея. Так как моя точка зрения до сих пор оспаривается, так как даже верность моих ссылок подвергнута сомнению Энгельманом, я считаю себя вынужденным предъявить оригинальные данные. Вот кривые обоих исследователей, заимствованные из статьи сэра Вильяма Абнея из „Proceedings“ Королевского Общества за 1887 (рис. 13). Максимум энергии соответствует длине волны, лежащей на двух третях между 600- и 700-миллионными миллиметра, скажем, на 666 (цифра, легко запоминаемая, так как это число Зверя!). Максимум поглощения лежит где-то на двух третях между B и C, т.-е. между 686 и 656, — значит, также приблизительно при 666-миллионных миллиметра. Позднее Ланглей доставил еще другие данные, которые приведены на рис. 10, так как мы вскоре будем иметь случай к ним обратиться. Должно заметить, что эти последние данные относятся к тому, что Ланглей называет „высоким солнцем“,—для средней интенсивности, за весь день, совпадение с первой кривой (рис. 13) было бы более полное. Мы можем взглянуть на это соотношение еще с другой точки зрения. Здесь (рис. 14) представлена попытка выразить относительные амплитуды волн, соответствующих различным частям спектра, и можно усмотреть, что наибольшая амплитуда колебаний соответствует как раз той части спектра, где лежит главная абсорбционная полоса хлорофилла (666) и максимум разложения угольного ангидрида [1]).

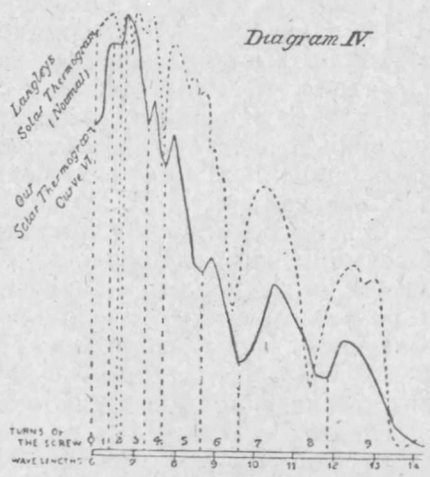


Рис. 13.

Но, быть может, мы найдем еще более убедительный аргумент в пользу предположения, что фотохимическое действие лучей является функцией их энергии в сравнении действия хлорофилла и других сенси-

[1]) Еще поразительнее представится нам это совпадение, если мы обратимся к скале электромагнитных волн проф. П. Н. Лебедева („Физическое Обозрение“ 1901 г.). Из числа каких-нибудь 50 октав, на ней изображенных, весь видимый спектр занимает



билизаторов, а еще более в сравнении относительного действия желтого и синего света в только что приведенном опыте.

Существует факт, опирающийся на свидетельство таких опытных наблюдателей, как Эдер и Фогель, и особенно ясно вытекающий из обстоятельного исследования Акуорта, — именно, что оба максимума, абсорбции света сенсибилизатором и фотографического его действия на сенсибилизированную пластинку, не представляют строгого совпадения, при чем, как общее правило, этот последний всегда бывает смещен в сторону красного конца спектра. До сих пор не предложено никакого объяснения для этого факта, не предлагает его и Акуорт, хотя считает, что правило это стоит вне сомнения и не встречает ни одного исключения. Но по отношению к хлорофиллу в исследование Акуорта, повидимому, вкралась ошибка. Он полагает, что и хлорофилл не представляет исключения из установленного им закона — что максимум фотографического действия не совпадает с максимумом поглощения в I абсорбционной полосе, а смещен в сторону красного конца спектра. При внимательном рассмотрении его соответствующей фигуры возникает однако серьезное сомнение. Как во всех случаях, Акуорт дает две кривые—абсорбции и сенсибилизации, но в действительности его указания по отношению к спектру хлорофилла (как в тексте, так и в фигуре) представляются неточными. Вот его собственные слова: „Die Absorption dieser Emulsion ist, was die Haupt und weniger brechbare Band betrifft, deutlich ausgeprägt. Dieses beginnt etwas vor C, erreicht bei C 1/3 D ein Maximum; jenseits desselben ist die Absorption nicht hinlänglich scharf zu verfolgen um sie genau zeichnen zu können“ [1]).

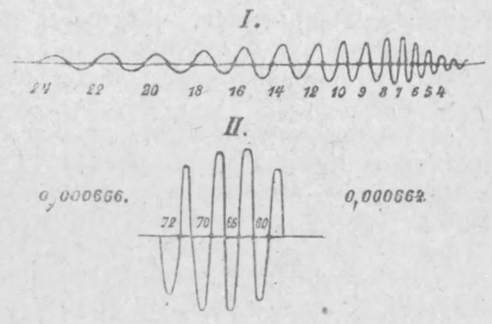


Рис. 14.

Но мы знаем на основании бесчисленных наблюдений, что главная абсорбционная полоса хлорофилла лежит между B и C, т.-е. там, где бесчисленные наблюдатели помещают главную полосу I хлорофилла,— показание это согласно со всеми другими свидетельствами. Начиная с первого опыта Э. Бекереля и кончая моими фотографиями, мы неизменно встречаем максимум фотографического действия между линиями B и C. Таким образом, Акуорт помещает максимум фотографического действия совершенно верно, но максимум поглощения несомненно неверно, и только благодаря этой ошибке у него хлорофилл подходит под общее правило.

На деле эти обе точки вполне совпадают, и в силу этого совпадения хлорофилл представляет исключение из общего правила относительно смещения максимума фотографического действия в красную сторону спектра (по сравнению с максимумом поглощения). Мне представляется, что как это исключение, так и самое правило нашло бы

всего одну; главная абсорбционная полоса хлорофилла занимает, примерно, десятую ее часть, и в этом-то незначительном интервале встречаются и maximum энергии и maximum химического действия.

[1]) «Абсорбция этой эмульсии, что касается главной наименее преломляемой полосы резко выражена. Она начинается немного раньше C достигает максимума на расстоянии 1/3 от C до D; но другую же сторону абсорбция недостаточно резко выражена и потому ее нельзя точно указать».

себе объяснение в простом допущении, что фотохимическое действие зависит не только от степени поглощаемости вызывающей его группы лучей (из которых слагается абсорбционная полоса), но и от относительной энергии или амплитуды колебания соответствующих волн. В каждой абсорбционной полосе (в пределах видимого спектра) сторона, ближайшая к красному концу, будет состоять из лучей, обладающих большей энергией, чем сторона, ближайшая к фиолетовому, и на основании только что сделанного допущения максимум фотографического действия должен смещаться в эту сторону. Так будет, пока мы не дойдем до той части в красном, где оба максимума—абсорбции и энергии—совпадают. В этом месте не будет никакого повода для смещения фотографического максимума, и мы таким образом получим объяснение для факта, почему хлорофилл представляет любопытное исключение из общего правила, применимого ко всем остальным сенсибилизаторам. Конечно, самым лучшим *experimentum crucis* для проверки моей гипотезы был бы опыт с удивительной инфракрасной фотографией сэра Вильяма Абнея—если бы оказалась, что в инфракрасной части спектра [1]) закон Акуорта извратился, максимум фотографического действия стал бы перемещаться в другую сторону, но попрежнему в направлении максимума энергии. Конечно, такие опыты лежат вне круга деятельности ботаника.

А пока мне кажется, что и те факты, с которыми мы только что познакомились, по отношению к сравнительному действию желтых и синих лучей могут быть истолкованы в смысле предполагаемой связи между химическим процессом и энергией луча. Мы можем в действительности рассматривать этот случай как предельный, так как он дозволяет нам непосредственное сравнение действия двух групп лучей, поглощаемых одним и тем же телом на двух пределах видимого спектра и, следовательно, обладающих наибольшим различием по отношению к присущей им энергии. Мы видели, что если разлагающее $CO_2$ действие лучей наименее преломляющейся части спектра выразится цифрой 100, то действие лучей наиболее преломляющейся—выразится цифрой 54.

Но мы должны еще принять во внимание различную степень поглощения света хлорофиллом в этих двух частях спектра. Казалось бы, всего проще принять во внимание только видимые абсорбционные полосы растворов, представляющих такую же степень концентрации красящего вещества, как и в листе (мы увидим вскоре, как получаются такие растворы). Так я в действительности и поступил на первых порах. Но эта оценка только лишь приблизительная, так как невооруженный глаз—плохой фотометр для оценки слабых и, главное, постепенных различий в световом напряжении. Как уже сказано выше, в таких случаях нужно прибегать к приему спектрофотометрическому. Выбор фотометра не безразличен; так, например, до последнего времени употребляемый спектрофотометр Фирорта с двойною щелью (примененный и Энгельманом в его микроспектральном приборе) не внушает доверия, как я это высказал немедленно по его появлении и позднее доказал простым наблюдением. Из всех предложенных спектрофотометров самым практичным, т.-е. соединяющим точность с простотой, я считаю спектрофотометр Дарзонваля, которым пользуюсь уже много лет [2]). Вот спектрофотометрические кривые для растворов нормального и *измененного* хлорофилла (Стокса). А вот спектрофотометрическая кривая, соответствующая поглощению света одним листом клена, подобным тем, с которыми были произведены опыты с желтым и синим светом (рис. 10 *A*). Приведенные к нормальному спектру энергии эти относительные количества поглощения *света* выразятся площадями a, b, c, d, e и e, d, f, g, h. Общее количество энергии всего видимого спектра я заимствую, как уже сказано, из статьи Ланглея „Энергия и зрение", помещенной в Philosophical Magazine, за 1889 год. Относительные количества энергии, поглощенной листом, соответственно этим площадям a, b, c, d, e и e, d, f, g, h, будут 100 для желтого и 70 для синего света. Если мы сопоставим их с числом, выражающим разложение угольного ангидрида в тех же группах лучей (100 для желтого и 54 для синего), то получим новый аргумент в пользу предполагаемой прямой связи между химическим процессом и энергией луча (рис. 10 *B*).

[1]) То-есть на другом скате кривой энергии.

[2]) В 1896 году я предъявлял в ботаническом отделе общества любителей естествознания спектрофотометрические кривые для хлорофилла и его производных, полученные при помощи этого спектрофотометра.



Приняв во внимание все сказанное, мы, кажется, в праве утверждать, что факты говорят в пользу допущения (по крайней мере насколько это касается хлорофилла), что фотохимическое действие луча зависит не от одной только степени его поглощаемости, но и от энергии или амплитуды колебания входящих в его состав волн или, другими словами, что из двух волн, одинаково поглощаемых, наибольшее действие окажет та, которая обладает наибольшей амплитудой колебания. С этой-то точки зрения и представляется, что хлорофилл, поглощающий те именно лучи, которые обладают наибольшей энергией, можно считать не только сенсибилизатором, но, может быть, наилучшим из сенсибилизаторов, особенно приспособленным к своей функции.

---

Я чувствую, что я не могу расстаться с изложенными до сих пор результатами моих исследований, не сказав несколько слов относительно положения, принятого по отношению к ним самой обширной школой немецких физиологов, представленной Саксом и Пфеффером. Вот самое позднейшее мнение, высказанное по этому поводу Саксом, когда ему, несомненно, были известны мои исследования. „Все прямые наблюдения показывают, что максимум выделения кислорода лежит в желтом свете. В общем итоге все до сих пор произведенные исследования относительно спектра хлорофилла не обнаружили ни одного факта, который имел хотя бы малейшее физиологическое значение, — другими словами, мы знали бы о физиологической функции хлорофилла ровно столько же, если б нам вовсе не был известен его спектр". Слова эти не нуждаются в комментариях.

Также общеизвестно, что профессор Пфеффер был долгое время моим оппонентом и самым отъявленным сторонником старой теории. В первом издании своего учебника он останавливается на моей работе и признает ее за экспериментальную ошибку, не заслуживающую внимания. Но вскоре за появлением его книги во мнении ученых обнаружился поворот в пользу моей точки зрения, благодаря Ван-Тигему во Франции и профессору Сиднею Вайнзу в этой стране [1]). В то же время

[1]) Из прений, возникших, согласно обычаю Королевского Общества, после моей лекции, я узнал следующую лестную для меня подробность. „Когда я,—сказал Вайнз,—в то время еще начинающий преподаватель, дошел в своем курсе до главы об ассимиляции, я остановился в недоумении перед резким противоречием между немецкими авторитетами и Тимирязевым. Мне казалось, что Тимирязев прав, но я все же обра-

Энгельман и Рейнке, хотя при помощи методов, несравненно менее точных, чем те, которые были применены мною, получили результаты, согласные с моими. Пфефферу невозможно было далее защищать свою старую позицию, и во втором издании своей книги он фактически принимает мое воззрение, но зато при обсуждении вопроса не упоминает даже моего имени. Результаты, которые подлежали сомнению, презрительно отвергались, пока они были связаны с моим именем,—теперь, когда их приходится признать верными, они просто приписываются двум упомянутым немецким исследователям. Мало того, для примирения его прежней и современной точек зрения им развивается еще новая теория, столь же ложная, как старая. Профессор Пфеффер утверждает, что существуют две различные кривые для того же процесса ассимиляции: одна, первичная, соответствующая абсорбционному спектру хлорофила, и другая, вторичная, имеющая максимум в желтых лучах. Но не трудно доказать, что этой вторичной кривой не существует вовсе. Если бы Пфеффер был прав, то я должен был бы получить его вторичную кривую, но именно я первый и самым несомненным образом получил первичную, т.-е. единственную, имеющую реальное существование, поэтому он и был вынужден обойти молчанием мои работы. Его вторичная кривая, помимо ее теоретической невероятности, просто фикция, выдвинутая вперед, чтобы прикрыть его вынужденное отступление.

Указав на положение, принятое по отношению ко мне этими германскими физиологами, я тем более чувствую себя вынужденным высказать свою признательность покойному Эдмонду Бекерелю и Бертло, так как благодаря им мои труды проникли на страницы Comptes Rendus и Annales de Chimie et de Physique.

## II.

До сих пор мы рассматривали нашу задачу с ее качественной стороны, мы изучали фотолиз, или разложение угольного ангидрида, и фотосинтез, или образование крахмала, в их зависимости от химических и оптических свойств хлорофилла и относительной энергии действующих лучей.

Теперь мы рассмотрим то же явление с количественной точки зрения, т.-е. в его отношении к общему количеству падающей на зеленый лист энергии,—попытаемся найти закон, выражающий зависимость этого явления от напряжения лучистой энергии.

Эдмонд Бекерель в его неоднократно нами цитированной книге „La Lumière, ses causes et ses effets“ первый обратил внимание на количественный учет солнечной энергии, слагающейся в зеленом растении; он сделал первую попытку определения того, что Горас Броун недавно так уместно назвал *экономическим коэффициентом* этого фотохимического процесса. Он получил очень умеренную цифру. Потенциальная энергия органического вещества, образуемого культурой подсолнечника (одной из самых продуктивных), составляет $^4/_{1000}$ солнечной энергии, выпадающей на данную площадь. Лесные культуры дают только $^1/_{100}$. Несколько лет позднее (в 1871 г.) я применил те же приемы вычислени

тился за советом к своему коллеге, также молодому физику. Ознакомившись с во просом, он сказал: конечно, прав Тимирязев. Этот молодой физик,—добавил Оксфорд ский профессор,—теперь лорд Рейлей“.



к более определенным физиологическим данным (вместо агрономических, которые только и были в распоряжении Бекереля) и получил около 1%. В 1876 году мой старый друг, профессор Н. Мюллер, сделал в первый раз прямой опыт, поместив и лист, разлагавший углекислоту, и пиргелиометр в одинаковые условия. Он получил до 5%, и эта оценка на мой взгляд слишком высокая, что может быть приписано тому, что его пиргелиометрические данные слишком велики в сравнении с обыкновенно принимаемыми. В 1894 году я повторил этот опыт, поместив лист и пиргелиометр в одинаковые условия, как будет изложено далее, и получил цифру 3,3%. Должно заметить, что как в опытах Мюллера, так и в моих листья находились в искусственной среде, в газовой смеси, содержавшей 5 — 10% угольного ангидрида, дающей наиболее выгодные результаты. Совершенно недавно М. Горас Броун сделал в высшей степени любопытное и гораздо более затруднительное определение той же величины. Он произвел свой опыт при естественных условиях, т.-е. в струе атмосферного воздуха с его нормальным содержанием угольного ангидрида. Он получил 0,5%, но в одном случае (когда воздух был обогащен угольным ангидридом, так что содержание этого последнего в $5^1/_2$ раз превышало нормальное) эта цифра возросла до 2%.

Теперь, когда мы можем с уверенностью сказать, что разложение углекислоты вызывается только теми лучами, которые поглощаются хлорофиллом, становится очевидным, что этот „*экономический коэффициент*“ должен прежде всего зависеть от степени поглощения света зеленым веществом листа. Я считаю излишним настаивать на том, как важно для физиолога знать эту величину, т.-е. ту долю солнечной энергии, которую растение может использовать. Следующий термоскопический прием, предложенный мною в 1884 году, представляется мне и теперь наиболее простым и точным способом определения этой величины. Задача в том виде, в каком она представляется в действительном листе, крайне сложна, вследствие явлений светорассеяния, представляемых клеточками и отдельными зернами хлорофилла – явлений очень сходных с тем, которое представляет слой частичек серебра в фотографической пластинке, как это было недавно остроумно разъяснено сэром Вильямом Абнеем. Но эта задача может быть значительно упрощена, если вместо естественного листа мы возьмем то, что можно назвать жидким листом. Если при помощи стальной сечки мы высечем из листа известную площадь и растворим зеленое вещество этого куска в таком количестве алкоголя, которое выполнит вполне стеклянную ванночку с параллельными стенками, просвет которой представляет ту же площадь, то мы получим жидкий слой красящего вещества той же концентрации. Если рядом с этим раствором мы определим поглощение света стеклянным сосудом и растворителем, то разность этих двух величин даст нам поглощение, которое должно быть прописано зеленому веществу листа. Все измерения производились при помощи особой формы термоэлектрического столбика, придуманного мною еще в 1870 году и первый раз выполненного для меня самим стариком Румкорфом,—формы совершенно сходной с той, которую недавно предложил Рубенс. Брусочки или проволочки (смотря по тому, какие употребляются металлы), из которых состоят термобатареи, спаиваются в форме зигзагов, так что оба ряда спаев обращены в одну сторону (а не в противоположные, как в столбике Меллони). Когда один из рядов обращен к солнцу, а другой защищен экраном, мы измеряем непосредственное солнечное лучеиспускание.

Поставив на пути луча сосуд с раствором хлорофилла, узнаем долю лучеиспускания, пропускаемого этим раствором и сосудом, и, наконец, помещая только сосуд с растворителем, узнаем количество лучистой энергии, пропускаемое этими средами. Разность между этими двумя последними цифрами дает поглощение лучистой энергии хлорофиллом. Наконец, отношение этой величины к первоначально определенной дает ту долю лучистой энергии солнца, которая поглощается хлорофиллом листа. Эти три операции могут быть сведены к двум: к определению действия непосредственной инсоляции и действия разности двух жидкостей в двойной ванночке. Вот придуманный мною аппарат, искусно выполненный в 1889 году Ф. Пелленом (фиг. 15, 16).

Рис. 15.

На дне металлического цилиндра помещается только что описанная термобатарея, защищенная от колебаний температуры, которые могли бы быть вызваны движениями воздуха, целым рядом двойных щелей. В пазу, впереди наружной пары щелей движется двойная ванночка для растворов, заключенная в металлическую коробку, снабженную двумя поднимающимися вверх ставеньками. При определении непосредственной инсоляции одна из щелей закрывается металлической коробкой (понятно, с опущенной ставенькой), при определении поглощения хлорофиллом обе щели закрыты коробкой, понятно, с открытыми обеими ставеньками. Я назвал этот аппарат *фитоактинометром*, так как он дает нам меру для той доли лучистой энергии солнца, которая может быть использована растением в самой важной его функции. Вот ряд таких определений для одного и для трех листьев. Три—максимальное число листьев, которые можно накладывать с пользою для растения; свет, достигающий четвертого, как показал профессор Мюллер, уже лишен химического действия [1]).

**Поглощение солнечной энергии хлорофиллом листьев.**

Непосредственный солнечный свет.

| *Клен.* | % |
|---|---|
| 1 лист (средняя из 32 опытов) | 27 |
| 3 листа ( „ „ 4 „ ) | 31 |

[1]) Этот простой термоскопический прием всегда, где он применим, должно предпочитать более хлопотливой и менее надежной фотометрической оценке поглощения. Эта мысль высказана мною еще в 1869 году.



| *Липа.* | % |
|---|---|
| 1 лист (средняя из 6 опытов) | 29 |
| 3 листа ( „ „ 3 „ ) | 35 |
| *Дуб.* | |
| 1 лист ( „ „ 4 „ ) | 23,5 |
| *Подорожник.* | |
| 1 лист | 23,4 |
| *Potamogeton lucens.* | |
| 1 лист (средняя из 8 опытов) | 20 |

Желтый свет.

| *Клен.* | |
|---|---|
| 1 лист ( „ „ „ „ ) | 13,8 |

Красный свет.

| *Клен.* | |
|---|---|
| 1 лист | 10 |

Прежде чем воспользоваться этими цифрами для обсуждения вопроса об *экономическом коэффициенте* и максимальном использовании химического действия солнечного света, нужно еще разрешить вторую из только что указанных задач,—определить зависимость химического действия от *напряжения* света. Очень часто и совершенно произвольно допускают, что фотохимическое действие пропорционально напряжению света, несмотря на то, что совершенно обратное доказано в случаях, где применялись самые точные методы: стоит напомнить блестящие исследования сэра Вильяма Абнея над фотографическими пластинками.

Влияние *напряжения* света на разложение угольного ангидрида листом было изучено Волковым, Ван Тигемом, Арейслером, Фаминциным, Рейнке, но результаты их не согласны между собою и трудно сравнимы, вследствие чего я предпринял обстоятельное исследование вопроса. Приемы исследования, которые я употреблял, были следующие. В темной комнате при

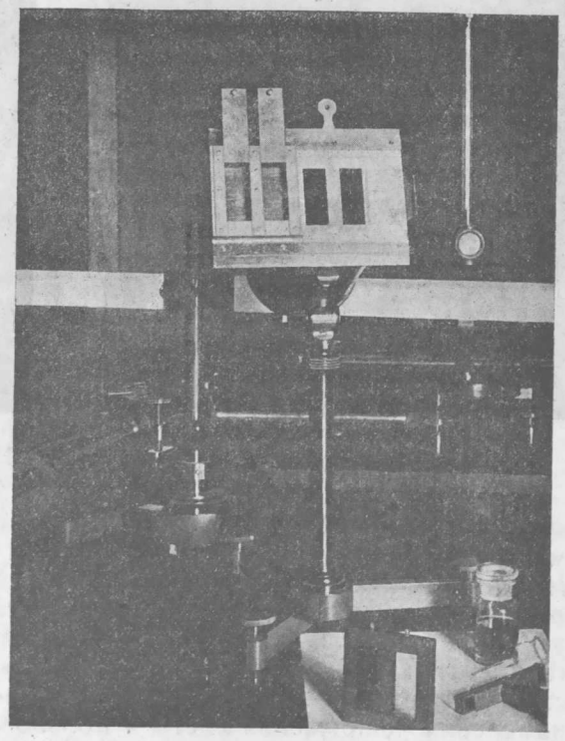


Рис. 16.

помощи большого гелиостата Фуко (с зеркалом в 80—40 с. м.) и линзы (в 25 с. м. диаметра) получается конус солнечных лучей (рис. 17, 18). По оси этого конуса располагается оптическая скамья в два метра длиною со скалой, разделенной на сантиметры. По этой скамье двигаются 5 подъемных столиков, а на каждом из них помещается один из вышеописанных аппаратов (плоских трубок, погруженных в ртуть), содержащих отрезки листьев равной площади. Расстояния на скамье избираются таким образом, чтобы относительное напряжение света выражалось числами 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, при чем за единицу принималась непосредственная инсоляция (в нормальном направлении) на расстоянии 2 — 3 часов по ту и по другую сторону полудня, когда колебание ее (как видно из наблюдений н. пр. Крова) не особенно

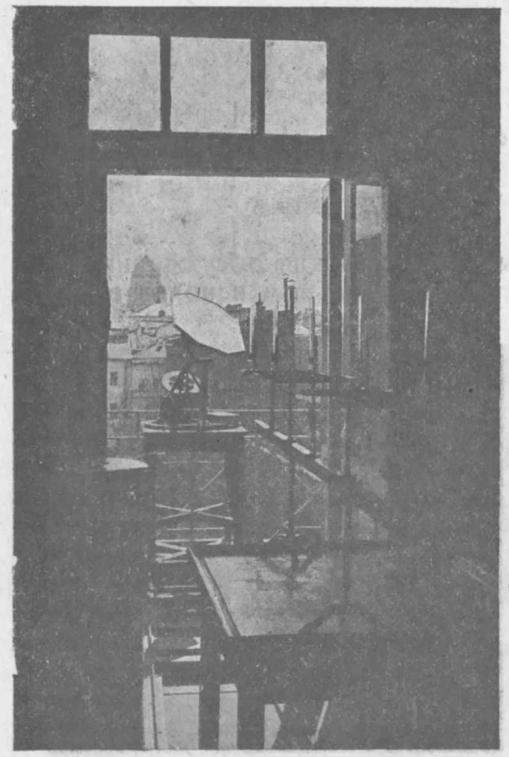


Рис. 17.

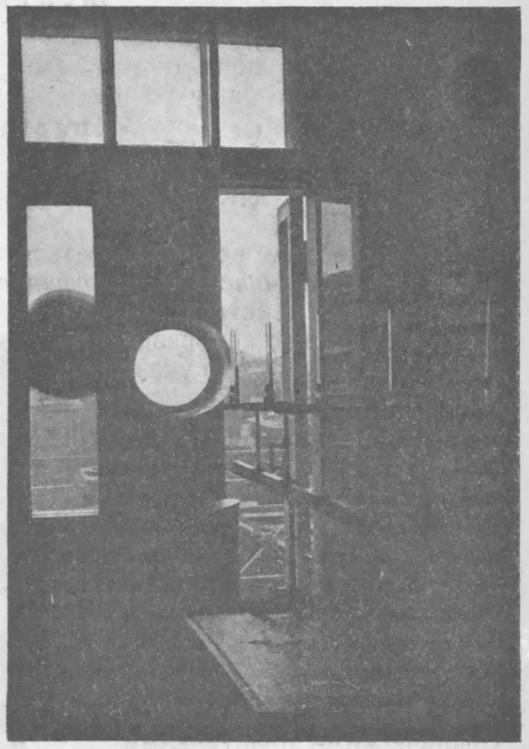


Рис. 18.

велико. Каждый опыт, благодаря чувствительности газометрического метода, уже ранее изложенного, длится не более 15—20 минут, так что можно было вперед рассчитывать на безоблачное солнце. Эта форма опыта довольно хлопотлива, так как наблюдатель нуждается в особой темной комнате и таких ценных и громоздких аппаратах, как большой гелиостат и такая же оптическая скамья, и потому позднее я придумал следующую форму простого переносного аппарата. На этот раз для измерения напряжения света я пользовался законом синусов. Металлическая платформа, вращающаяся вокруг вертикальной оси, может в то же время на шарньере быть установлена в направлении солнечного луча



(для чего она снабжена диоптрами). С ней соединяются шарньерами же четыре других маленьких платформочек (рис. 19, 20). Каждая из них получает по прибору с листьями. Эти четыре платформочки могут быть установлены под такими углами, что листья будут получать свет в отношении 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$. Так как опыт длится, как уже сказано, не долее 15—20 минут, то наблюдатель может легко перемещать общую платформу так, чтобы первый лист находился всегда под прямым углом к падающему солнечному лучу. Понятно, здесь приходится принимать во внимание потерю света вследствие различного отражения и поглощения под различными углами стенками сосудов, и по этой причине я предпочитаю в этом случае употреблять плоские трубки, специально изготовленные для меня известной фирмой Лейбольда в Кёльне. Они сделаны из пластинок зеркального стекла, спаянных особой эмалью. Образчик того же стекла исследуется фотометрически, будучи помещен на круге с делениями перед щелью спектрофотометра Дарзонваля.

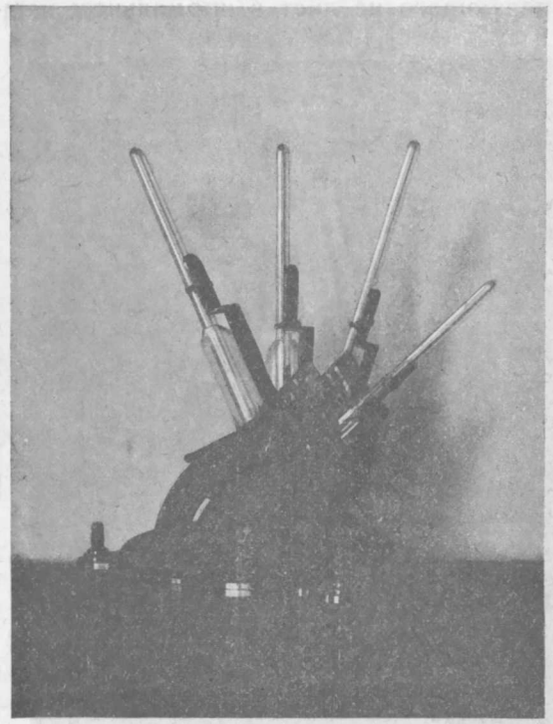


Рис. 19.

Третий прием, которым я пользовался в самом начале, заключался в применении моего микроэвдиометра к анализу пузырьков газа, выделяемых водяным растением, напр., побегами Ellodea или еще лучше большими листьями Potamogeton lucens. Количества газа, выделяемого в одну минуту, вполне достаточно для измерения и анализа, так что в десять минут тот же объект может быть перемещен в различные точки на оптической скамье. Конечно, этот прием не имеет притязания на такую же степень точности, как первые два, но его недостатки лежат, как уже сказано выше, в самой природе водяного растения. С другой стороны, он имеет то несомненное преимущество, что применяется к одному и тому же объекту, так что все индивидуальные различия устраняются, а равно и промежуток времени так незначителен, что можно быть уверенным в постоянстве светового напряжения в течение всех четырех или пяти операций каждого опыта.

В целом, эти опыты, произведенные различными методами над различными растениями, дали сходные результаты, которые могут быть выражены в следующей кривой, где 100 означает количество угольного ангидрида, разложенное при освещении листа лучом, падающим в нормальном направлении около полудня. Рассмотрение этой кривой допускает следующие выводы.

1. Если принять во внимание все степени напряжения, в пределах которых производились опыты, то о простой пропорциональности не

может быть речи. Должно добавить, что Рейнке производил опыты и при более значительных напряжениях. Хотя он производил эти опыты при помощи мало надежного приема *счета* пузырьков, но в этих широких чертах результаты его опытов могут заслуживать доверие. Подвергая свою веточку Ellodea действию света сходящегося конуса лучей, он мог определить влияние интенсивностей, *превышающих* непосредственную инсоляцию в 2, 4, 8, 16 раз, и не мог заметить никакого повышения химического действия: кривая переходила в линию, параллельную абсциссе.

2. Максимальное действие достигается при напряжении, приблизительно равном *половине* напряжения солнечного луча, непосредственно падающего на лист в нормальном направлении.

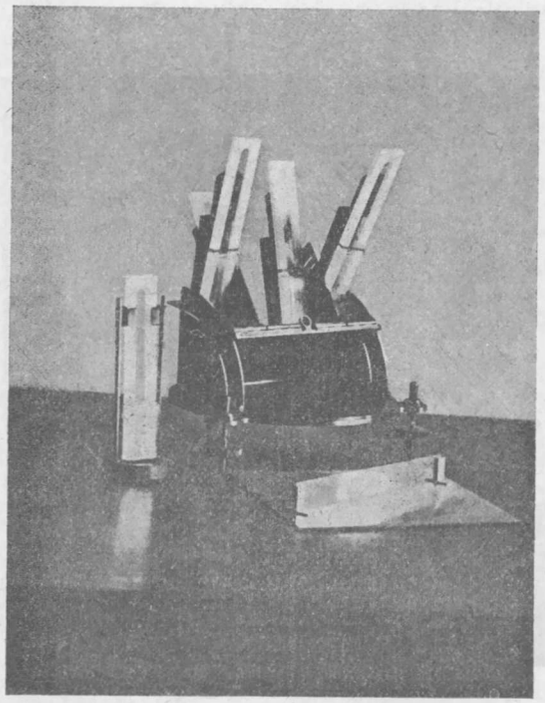


Рис. 20.

3. До известной степени напряжения, действие можно считать пропорциональным ему. Пройдя известную точку (указанную в рис. 21) дальнейшее возрастание напряжения не сопровождается приростом химического действия.

Мы должны теперь попытаться найти объяснение для общей формы этой кривой. Но, прежде чем перейти к ее обсуждению, еще нужно коснуться одного соображения касательно другой формы работы производимой лучистой энергией в листе. Визнер поставил вне сомнения, что значительная часть испарения воды, происходящего в зеленом листе, совершается насчет лучистой энергии, поглощаемой хлорофиллом. Эту долю общего процесса было предложено обозначить термином *хлоровапоризация*. Мой старый друг, покойный профессор Дегерен, открыл весьма любопытный факт, позднее подтвержденный профессором Зорауером и особенно Жюмелем—именно, что две важнейшие функции листа—усвоение углерода и хлоровапоризация—в известном смысле взаимно-дополнительны; испарение воды падает в присутствии угольного ангидрида. Эта связь представлялась бы совершенно естественной—раз тот же источник энергии распределяется между двумя процессами, — если б мы не знали, как велик избыток солнечной энергии, выпадающий на поверхность листа. Но теперь, когда мы знаем ту долю полной солнечной радиации, которая поглощается листом, мы можем попытаться в общих чертах сравнить это количество лучистой энергии, поглощаемой листом, с тем, которое затрачивается на двойную работу: на химический процесс усвоения углерода и на физический процесс хлоровапоризации.



Мы видели, что поглощение хлорофиллом одного листа достигает 27% падающей на него лучистой энергии (наклонная черта) солнца. Мы видели, что максимальный экономический коэффициент при усвоении углерода в нашем случае достигал (нижняя горизонтальная черта) 3,3%. Но сверх этого процесса в листе совершается физический процесс хлоровапоризации. В 1894 году я сделал ряд определений количества воды, испаряемой листьями при тех же условиях, т.-е. в тех же плоских трубках над ртутью. При данных условиях опыта — испарении в замкнутых сосудах и насыщенной атмосфере — можно быть уверенным, что большая часть явления должна быть приписана хлоровапоризации [1]).

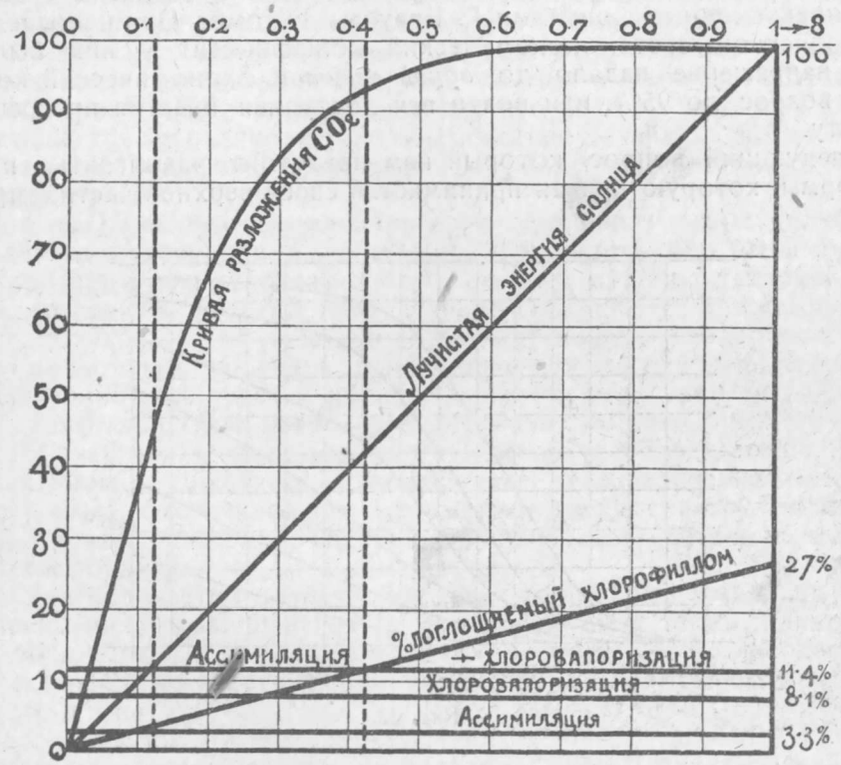



Рис. 21.

Черта (вторая горизонтальная) изображает затрату лучистой энергии на процесс хлоровапоризации (выраженную, как и в предшествовавших случаях, в процентах прямой инсоляции). Эта затрата в средних цифрах достигает 8%. Наконец, третья черта представляет сумму затрат на работу, происходящую в листе, как химическую, так и физическую, приблизительно = 11%. Эта черта в известной точке (б) пересечет линию доступной листу, поглощаемой им энергии. Начиная с этой точки (влево), вся доступная листу энергия будет превращаться в работу и, следовательно, 2 процесса, химический, и физический, будут находиться в

[1]) Позднее я сделал несколько сравнительных опытов над зеленой и белой частью того же листа пестролистой Aspidistra, но количества данных еще не достаточно для правильного вывода.

антагонизме, как это обнаружено Дегереном. Пройдя эту точку (влево), а конечно, и ранее ее, так как ни в каком случае экономический коэффициент не может достигать 100%, лист уже не будет получать лучистую энергию в количестве, достаточном для поддержания обоих процессов при их максимуме, и кривая химического процесса, которую мы рассматриваем, должна быстро падать. В этой второй точке (а), доступной хлорофиллу, энергии уже не будет достаточно для поддержания при его максимуме даже одного процесса усвоения углерода. Этих соображений, я полагаю, достаточно для объяснения первой (левой) половины нашей кривой.

Я могу добавить, что эти результаты вполне согласны с позднейшими превосходными опытами Г. Брауна и Ескомба. При непосредственном солнечном свете экономический коэффициент у них был 27%. Когда напряжение падало до *одной десятой*, экономический коэффициент возрос до 95%, или почти вся доступная энергия превращалась в работу.

Следующий вопрос, который нам предстоит разъяснить,—причина той формы, которую кривая принимает в своей верхней части,—предста-

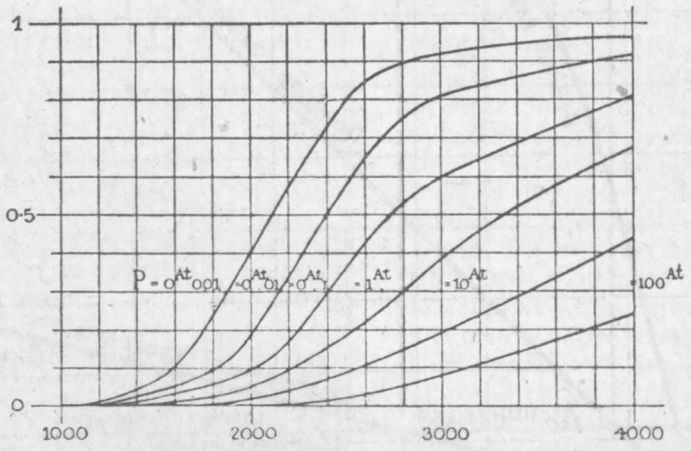



Рис. 22.

вляется более загадочным. Конечно, простейшее объяснение для такого химического процесса заключалось бы в предположении, что, начиная с известной точки, лучистая энергия, падающая на лист, будет в избытке. Но можно ли допустить, что солнечная энергия может быть в избытке, помня, какой скромной цифрой выражается экономический коэффициент химической работы?

Очень часто можно слышать мнение, что химический процесс, совершающийся в зеленом листе, представляется парадоксальным. В самом деле, он совершается при обыкновенной температуре, между тем как химическое явление, лежащее в его основе—диссоциация угольного ангидрида—может быть воспроизведено в наших лабораториях лишь при очень высоких температурах, измеряющихся тысячами градусов. Вот диаграмма Лешателье (рис. 22), изображающая ход диссоциации угольного ангидрида в зависимости от температуры и давления. Но этот парадокс, конечно, только кажущийся, и, если я не ошибаюсь, еще граф



Румфорд показал каким образом то, что он называл „химическим свойством света", может быть сведено к действию вызываемой им высокой температуры. В его мемуаре *„Исследование химических свойств, приписываемых свету"*, мы встречаем следующее место: „теплота, вызываемая поглощением лучей света, должна по необходимости существовать, по крайней мере в *момент ее появления*, в почти бесконечно *малых пространствах*, а отсюда вытекает, что только в телах, которые *немыслимо малы,* может она вызывать *прочные действия* (durables effects), сколько-нибудь соответствующие ее высокому напряжению". Еще ранее, в мемуаре *„О распространении тепла в жидкостях"*, граф Румфорд применяет этот принцип *малых пространств*, т.-е. малой сферы действия, которой ограничивается фотохимическое действие, и к занимающему нас случаю. Вот его слова: „не может ли наша гипотеза относительно высокого напряжения тепла, развивающегося там, где свет задерживается... помочь нам в объяснении того образования чистого воздуха (pure air), которое обнаруживается в великолепных опытах д-ра Ингенгуза, когда зеленые листья живых растений, погруженные в воду, подвергались действию солнечных лучей".

Под *малыми пространствами* граф Румфорд, вероятно, разумел пространства молекулярные, но мне представлялось, что было бы интересно проверить его гипотезу и более грубым, приблизительным путем. Теперь, когда мы уверены, что явление совершается в хлоропласте и зависит только от тех лучей, которые поглощаются хлорофиллом, мы можем попытаться получить приблизительное представление о сфере действия солнечных лучей и об интенсивности этого действия. Необходимые данные для этого вычисления будут следующие: общее количество лучистой энергии, измеряемое пиргелиометром; общая площадь, ограниченная кривою Ланглея, показывающею распределение энергии в спектре; часть этой площади, соответствующая спектру поглощения отдельного хлоропласта, и, наконец, толщина слоя красящего вещества в этом хлоропласте.

Общее количество солнечной энергии установлено довольно согласными данными Крова, Ланглея и Савельева. Мне также приходилось делать наблюдения с переносным актинометром Крова. Я полагаю, мы будем всего ближе к истине, приняв цифру 1,3 калории на квадратный сантиметр в минуту.

Часть энергии, соответствующая поглощению отдельным хлоропластом, была определена следующим образом. Сорби-Браунинговский микроспектроскоп был применен как простой калориметр (т.-е. без призмы) для получения раствора хлорофилла той же концентрации, как в хлоропласте [1]). Этот раствор был исследован при помощи спектрофотометра Дарзонваля.

Касательно последнего пункта — толщины слоя красящего вещества—мне приходится стать в разрез с ходячими идеями, распространенными между физиологами. Обыкновенно принимают, что зеленое вещество распределено во всем протопласте. Но уже много лет тому назад Негели при помощи следующего простого наблюдения показал, что оно ограничивается его поверхностью. Если на микроскопический препарат, заключающий хлорофилловые зерна (Негели наблюдал зерна Clivia и Aspidistra), подействовать водой, то они лопаются, и зеленая

---

[1]) В действительности был взят раствор половинной концентрации; причина, почему я так поступил, выяснится ниже, когда будет речь о строении хлоропласта.

оболочка, или шелуха, принимает чаще всего форму двух створок. Я неоднократно повторял наблюдение Негели над хлоропластами Fajus, более удобными вследствие их значительных размеров. Освобожденные из клеточек хлоропласты рассматриваются в сахарном растворе такой концентрации, в которой они нисколько не изменяются. При разбавлении раствора водой наступает момент, когда зерна лопаются. Прибавляя в этот момент раствора медного купороса, можно задержать их в этой стадии, и если еще прибавить эозина, то получаются очень изящные препараты, напоминающие почку розового мака с ее двустворчатой чашечкой. Другой способ для изучения распределения красящего вещества в зерне заключается в наблюдении его в красном свете; тогда можно заметить, что так называемые grana выступают в виде черных точек, распределяющихся тонким слоем на поверхности.

Если мы желаем примерно оценить толщину этой цветной пленки—строгое измерение конечно здесь невозможно,—то получаем величину приблизительно в $^1/_{10}$ микрона.

Вооружившись всеми этими необходимыми данными, мы можем, наконец, получить приблизительное представление о температуре, которая могла бы быть достигнута в этом слое хлорофиллового пигмента, предполагая, конечно, что вся эта лучистая энергия могла бы накопляться без обратного излучения. Мы получаем поразительную цифру—около 6000°!

Я знаю из собственного опыта, как трудно свыкнуться с такими цифрами. Но некоторые аналогии нам в этом помогут. Когда мы ударяем сталью о кремень в отвесном направлении, мы, конечно, достигаем только незначительного повышения температуры, но, если искусным ударом по касательной мы сосредоточиваем всю затраченную энергию на небольшом отскакивающем осколке, мы доводим его до белого каления. Или остановимся на аналогии, более близкой к нашему случаю: при помощи собирательного стекла мы получаем на солнце температуры в тысячи градусов, как это было недавно осуществлено профессором Церасским. В этом случае мы концентрируем солнечный свет в плоскости, вертикальной к направлению луча, но мы можем сделать то же самое и по третьей оси, т.-е. в направлении самого луча, уменьшая толщину поглощающего свет слоя. Было вычислено, что платиновая (вычерненная) пластинка не толще $^1/_{500}$ миллиметра, будучи выставлена на солнечный свет, могла бы расплавиться — понятно, все в том же предположении, что могло бы быть устранено обратное излучение. Да и на практике увеличение чувствительности современных термоскопических приборов (болометра, термоэлектрического столбика Рубенса и пр.) основано на уменьшении толщины воспринимающих лучи металлических частей. Мне кажется, что и на этот раз можно повторить остроумные слова Г. Брауна: мы все более и более убеждаемся, что растение обладает гораздо более основательными сведениями по физике, чем мы готовы допустить.

Конечно, об этих высоких температурах, как таковых, не может быть и речи, и если я настаиваю на этом термометрическом сравнении для разъяснения действия той лучистой энергии, которая накопляется в такое короткое время в таком ничтожном пространстве, то лишь с целью показать несостоятельность выше приведенного парадокса и указать на аналогию с процессом диссоциации, так превосходно изученным химиками. В действительности мы, вероятно, имеем здесь дело с процессом, обратным тому, который Видеман назвал *хеми-люминесценцией*, т.-е. с



прямым переходом лучистой энергии в химическую работу без промежуточной, хотя бы скоропреходящей стадии высокой температуры. Таким путем легко объяснился бы кумулирующий, интегрирующий характер фото-химических процессов. В отсутствии угольного ангидрида лучистая энергия, не превращающаяся непосредственно в химическую работу, проявляется как теплота, ускоряющая процесс хлоровапоризации.

Возвращаясь к нашей кривой, изображающей связь между напряжением света и количествами диссоциированного в листе угольного ангидрида, и сравнивая ее с диссоциационной кривой Лешателье, мы, может быть, в праве приписать их бросающееся в глаза сходство той же причине. Не можем ли мы допустить, что в известной точке, где кривая принимает горизонтальное направление, температура хлорофилловой пленки—позволяю себе ради аналогии еще раз прибегнуть к этому термину—напряжение энергии, накопляющейся в таком малом пространстве, так высоко, что диссоциация угольного ангидрида (при данном парциальном давлении) будет *полная*. Понятно, что, пройдя эту точку, никакое дальнейшее повышение температуры не будет уже оказывать влияния на химический процесс, и кривая получит направление, параллельное абсциссе.

Конечно, я не утверждаю, что обе цифры вполне совпадают (у меня половина 6000°, т.-е. приблизительно 3000°), но во всяком случае это величины одного порядка. Как бы то ни было, мы должны допустить, что в тонкой пленке хлорофилла, в которой осуществляются условия, тождественные с действием очень высокой температуры, между тем как окружающая среда остается холодной, частицы угольного ангидрида находятся в состоянии, особенно благоприятном для их диссоциации, очень сходном с тем, которое наблюдается в классической tube chaud et froid Генри Сент-Клер Девиля.

Эти соображения касательно крайней тонины слоя хлорофилловой пленки приводят и к иного рода соображениям, значение которых нельзя не отметить. Мы в первый раз получаем хотя бы приблизительное представление о степени концентрации красящего вещества в хлоропласте. Если принять за единицу концентрацию раствора, представляющего в толщине 1 см. типическую изумрудно-зеленую окраску и характеристический спектр (с 4 полосами), то придем к довольно неожиданному заключению, что в естественном состоянии в хлоропласте концентрация пигмента будет приблизительно в 4000 раз более Практически это будет почти твердое состояние, и поверхностный цвет его будет почти черный. Из этого факта можно сделать два немаловажные вывода. Во-первых, получается объяснение для почти полного отсутствия флуоресценции, которым отличаются живые зеленые органы. Из обстоятельного исследования Вальтера вытекает, что флуоресценция быстро падает с концентрацией раствора. Если принять во внимание состояние концентрации хлорофилла в хлоропласте, то можно себе объяснить это отсутствие флуоресценции и в то же время должно допустить, что химический процесс, совершающийся в хлорофилле, будет тем более энергичен, чем слабее флуоресценция, так как известен факт, что растворы хлорофилла, представляющие наименьшую флуоресценцию, всего легче обесцвечиваются при выставлении на свет.

Другой вывод, пожалуй, еще более существен. Неоднократно повторялась мысль, что хлорофилл, извлеченный из растения, утрачивает свою способность разлагать угольный ангидрид, в подтверждение чего приводились опыты, в которых раствор хлорофилла, выставленный на свет в

соприкосновении с угольным ангидридом, не разлагал его. Теперь мы видим, что все эти опыты лишены убедительной силы, так как условия совсем не те, что в хлоропласте. Все равно, как если бы мы желали определить поглощение света сажей и взяли для этого не чистую сажу, а смесь одной ее части и 4000 частей окиси цинка. Хлорофилл, собственно говоря, почти черное тело, и если мы его называем зеленым, то приблизительно в том же смысле, в каком мы, пожалуй, могли бы назвать сажу желто-бурой, так как в тонком слое она действительно такого цвета. В растворах хлорофилла, которые употреблялись до сих пор, то же количество энергии, которое в хлоропласте сосредоточено в тонкой пленке, распределено в слое жидкости, толщина которого в тысячи раз более. Я не хочу этим сказать, что опыт с хлорофиллом в состоянии большой концентрации *должен* дать положительные результаты, но он *может* их дать, и во всяком случае обратное не доказано. По крайней мере, я не вижу, почему хлорофилл сохраняет свое действие как сенсибилизатор на Ag Cl и Ag Br, а должен утратить это свойство по отношению к угольному ангидриду,—различие двух явлений, конечно, только количественное, а не качественное.

Прежде чем покинуть обсуждение этой кривой, я желал бы указать на некоторые выводы, которые можно сделать из этого закона зависимости усвоения углерода от напряжения света в применении к известным фактам, касающимся географического распределения и биологических особенностей растений. Хорошо известен факт, что в высших широтах растение требует более короткого промежутка времени для достижения известных стадий развития, чем в низших широтах. Это обыкновенно приписывают большей продолжительности дня. Но и солнце стоит тогда не так высоко, и до той поры пока предполагалось, что действие света пропорционально его напряжению, это объяснение было очевидно неудовлетворительно. Теперь, когда мы знаем, что только приблизительно половина непосредственной полуденной инсоляции может быть использована, мы можем легче понять, что более долгий период при менее значительной высоте солнца оказывается более полезным, чем период более короткий при более высоком стоянии солнца.

Мы в праве сделать еще шаг далее и притти к заключению, что значительное напряжение солнечных лучей около полудня может быть не только бесполезно для растения в отношении усвоения углерода, но прямо вредно, как вызывающее усиленное испарение, которое может даже грозить самому существованию растения в периоды засух. Ботаникам хорошо знакомы самые разнообразные формы и движения листьев, начиная с пушистости верхней поверхности и оканчивая вертикальным положением (ребром к зениту) пластины, постоянным, как у растения-компаса, или периодическим (около полудня), как у многочисленных растений, представляющих явления дневного сна. Все эти особенности справедливо рассматриваются как приспособления, сводящие к минимуму процесс испарения. Но можно было бы подумать, что эта экономия в испарении не может быть осуществлена без соответственного ущерба для усвоения углерода. Избегая жажды, растение будет страдать от голода. Теперь мы можем быть уверены, что на деле этого не будет, так как уже половины полуденной инсоляции достаточно для поддержания максимального питания. Здесь мы имеем дневную кривую инсоляции в калориях (по Крову), переведенную на горизонтальную поверхность обыкновенного листа, и двойную кривую, изображающую количество лучистой энергии, доступное листу растения-компаса с его пластинами, расположенными в плоскости меридиана, ребром кверху (рис. 23). Если мы припомним вновь, что только половина энергии, доставляемая солнцем в полдень, может быть использована в процессе усвоения углерода, то легко усмотрим, что площади An'n'C для горизонтального и A.D.D.C. для вертикального листа мало одна от другой отличаются, между тем как в этом последнем случае растение будет ограждено от зловредного действия большого избытка лучистой энергии в часы близкие к полудню, когда влажность атмосферы (кривая n.n.) наименьшая и, следовательно, испарение наиболее сильное.

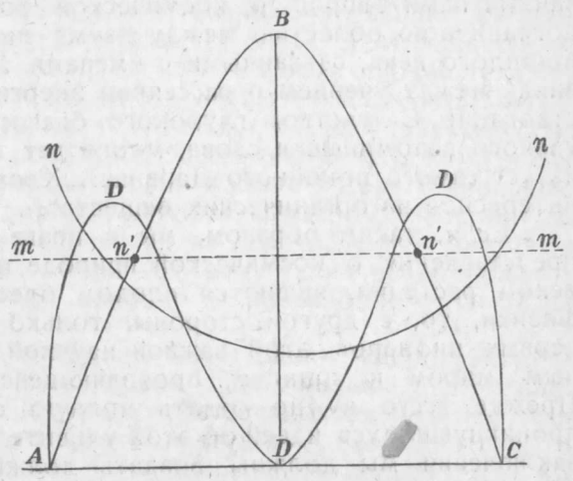



Рис. 23.

Те же соображения применимы и к листьям, имеющим белое опущение на верхней поверхности, которое можно уподобить матовому стеклу [1]). До тех пор, пока этот экран не ослабляет напряжения света ниже его половины около полудня (при нормальном направлении луча), растение будет в выгоде по отношению к испарению—без ущерба для питания.

---

Мы можем этим ограничить те выводы, которые вытекают из рассмотрения оптических свойств хлорофилла. В противность Саксу, мы в праве сказать, что все, что нам известно о функции хлорофилла, может быть выведено из его оптических свойств, и этот вывод вполне понятен, так как процесс усвоения углерода — в то же время процесс *усвоения солнечного света* [2]). Таким образом функция хлорофилла может быть по праву названа *космической функцией* растения. Профессор Больцман в замечательной речи, произнесенной в Венской академии в 1886 году выразил эту мысль в очень красноречивой форме: „Всеобщая борьба за существование, охватывающая весь органический мир, не есть борьба за вещество: химические элементы органического вещества находятся в избытке в воздухе, воде и земле; это также не борьба за энергию,— она, к сожалению, в непревратимой форме, в форме теплоты, щедро рассеяна во всех телах; это борьба за энтропию, становящуюся доступной при переходе энергии от пылающего солнца к холодной земле. Для возможного использования этого перехода развертывает растение неизмеримую поверхность своих листьев и вынуждает солнечную энергию, прежде чем она упадет до уровня температуры земли, вызывать какими-то, ближе не исследованными путями, химические синтезы, еще неведомые

---

[1]) Опушение нижней поверхности служит только как средство для задержания движений воздуха а, может быть, как „фон", отражающий обратно лучи света для их вторичной химической утилизации.

[2]) *Об усвоении света растением* — так озаглавлена моя первая русская работа (1875); совсем недавно я с удовольствием встретил это выражение в Naturphilosophie проф. Оствальда.

нашим лабораториям. Продукты этой-то химической кухни и составляют предмет борьбы в животном царстве". С такой точки зрения исследованный нами вопрос о космической роли растения является какою-то пограничною областью между двумя великими научными обобщениями прошлого века, связанными с именами Лорда Кельвина и Чарльза Дарвина—между учением о рассеянии энергии и учением о борьбе за существование. С чувством глубокого благоговения пред памятью великого ученого вспоминаю я слова, много лет тому назад слышанные в Дауне из уст самого покойного Дарвина: „Хлорофилл это, быть может, самое интересное из органических веществ".

Если, таким образом, мы в праве считать, что наши современные представления о космической природе процесса, совершающегося в зеленом растении, являются плодом блестящих завоеваний современной физики, то, с другой стороны, только справедливо попытаться найти первых пионеров этой важной научной идеи о связи между растительным миром и солнцем, проявляющейся в хлорофилловой функции. Прежде всего нужно отдать полную справедливость Сенебье, вполне проникнувшемуся идеей об этой удивительной связи. Но еще ранее этого заключения мы должны воздать должное одной научной теории, которая слишком часто упоминается только как пример аберации человеческого ума. Я разумею теорию флогистона. Конечно, можно было ожидать, что теория, имевшая своими адептами таких ученых, как Пристли, как Кавендиш, не могла быть просто признана абсурдом, и мы действительно знаем, что Гельмгольц и особенно Одлинг сделали попытку ее реабилитации. Для того, чтобы схватить истинный смысл этой знаменитой теории, мы должны только подставить вместо этого злополучного слова „флогистон" более привычное нам выражение—потенциальная энергия, и мы увидим, как близки были основные представления защитников флогистона о занимающем нас явлении к нашим современным понятиям. Стоит остановиться на следующих словах Сенебье: „Мне кажется, что я вижу, как частицы света соединяются с телами; я хотел бы думать, что этот свет вновь будет поражать мои взоры в пламени горючих веществ; мне кажется, что он образует эти смолы, с которыми имеет так много сродства, эти маслянистые вещества, насыщенные его теплотой, его пламенем, эти спиртовые частицы семян и плодов, пропитанные его огнем... Наконец, этот флогистон, который солнце отлагает в растении, не будет ли он источником того, который обращается в других царствах природы?"

Когда ботаник-турист, посещающий женевский ботанический сад, останавливается перед рядом мраморных бюстов знаменитых ботаников, уроженцев этого города, с Сенебье на первом плане, он может быть уверен, что стоит у колыбели физиологической ботаники XIX века, точно так же, как в наши дни, если б он хотел увидать, откуда несомненно начнется современное движение зарождающегося столетия, он должен направить свои шаги в другой ботанический сад, поближе к нам [1]), и приветствовать в Джодрельской лаборатории новую точку отправления по пути, впервые проложенному Сенебье и Соссюром.

В нашем историческим обзоре мы должны, однако, отступить еще на одно столетие. Сенебье, с его обычной правдивостью, упоминает автора, которому он сам обязан своими основными представлениями о связи между светом и веществом. Мы найдем эту мысль в книге, „написанной", как нас уведомляет сам автор, „по желанию некоторых членов королевского общества и читанной в его заседаниях". Мы должны открыть „третью книгу" О п т и к и и прочесть „Вопрос 30", начинающийся словами: „Не могут ли грубые тела и свет взаимно превращаться и не могут ли тела получать значительную часть своей деятельности от частиц света, вошедших в их состав? Потому что все горючие тела при нагревании выделяют свет до тех пор, пока остаются достаточно нагретыми, и, наоборот, свет задерживается телами, когда ударяется о их частицы, как это было выше показано". Несколькими строками далее мы читаем снова „Превращение тел в свет и света в тела совершенно согласно с общим порядком природы, которая, повидимому, любит (is delighted) превращения", и, наконец, вслед за перечислением примеров таких превращений, следует заключение—„в ряду таких разнообразных и странных превращений почему бы природе не превращать тела в свет и свет в тела?"

[1]) Ботанический сад Кью близ Лондона.



Если, по прочтении этих строк, мы обратимся к микроспектру и увидим, как хлорофилловые зерна, сохраняя свой обычный цвет и прозрачность в желтых и зеленых частях спектра, становятся черными, как угольки, при перемещении их в красную или синюю часть спектра, то можем быть уверены, после всего, что было ранее сказано, что мы действительно присутствуем здесь при таинственном процессе „превращения света в тела", благодаря которому этот ничтожный черный комочек вещества является истинным звеном, соединяющим величественный взрыв энергии в нашем центральном светиле со всеми многообразными проявлениями жизни на обитаемой нами планете.

Призма более чем два века тому назад раскрыла природу солнечного луча. Призма же, у нас на глазах, в руках нашего председателя [1]), сэра Нормана Локиера и других искусных исследователей, продолжает раскрывать тайну происхождения этого луча, и я убежден, что опять та же призма раскроет и конечную судьбу этого луча здесь на земле—его „превращение в тела".

Таким образом, мы приходим к окончательному выводу, что в этой книге „*Оптики*" мы встречаем не только первую и самую широкую постановку занимающей нас задачи, но и верное средство для ее разрешения.

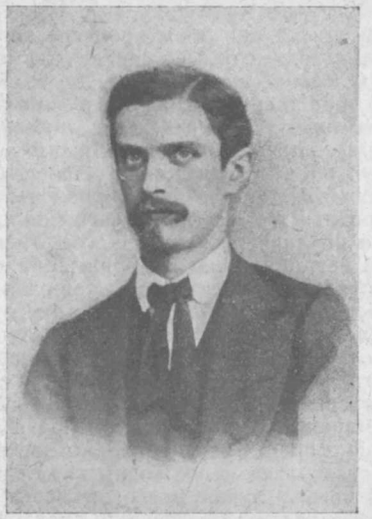
Не гадал Джонатан Свифт, когда строчил свою ядовитую сатиру на королевское общество [2]), что то, что ему представлялось очевидным бредом сумасшедшего, оказалось пророческим откровением бессмертного гения Ньютона.

[1]) Сэра Вильяма Гуггинса, справедливо считающегося пионером астрономической спектроскопии.

[2]) Известно, что под академией в Лагадо Свифт разумел королевское общество.

# ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

## ИССЛЕДОВАНИЯ



К. А. Тимирязев.
С портрета 1868 г.

# I. Прибор для исследования воздушного питания листьев и применения искусственного освещения к исследованиям подобного рода.

(1867).

Усвоение углерода зелеными частями растений под влиянием солнечных лучей, без сомнения, самое важное, самое, если можно так выразиться, типическое отправление растительного организма. Процесс этот одним из первых сделался предметом опытных исследований. Понятно, что мысль о происхождении углерода растений из воздуха, мысль о воздушном питании листьев, могла возникнуть только тогда, когда, вследствие великих открытий Лавуазье, был создан закон неисчезаемости вещества. К этому времени, т.-е. к концу истекшего и к первым годам настоящего столетия, и относятся важнейшие, классические работы по этому вопросу; с тех пор наука ничего или почти ничего не приобрела в этом направлении.

Но между тем в параллель с величайшим научным обобщением восемнадцатого столетия—законом неисчезаемости вещества—девятнадцатый век провозгласил другой закон, не менее общий, не менее богатый последствиями, — закон неисчезаемости или сохранения силы. Этот закон, столь плодотворный, проливший столько света в других областях знания, в физике, в химии, в физиологии животных, не мог остаться без влияния на физиологию растений.

В процессе усвоения углерода следует различать собственно два процесса: восстановление, или вернее диссоциацию углекислоты и, по всей вероятности, воды, и образование из продуктов разложения органического вещества. Тот и другой процесс сопровождаются поглощением живой силы, как это, очевидно, вытекает из исследований С. Клер-Девиля [1]) и Бертло [2]). Первый показал, что диссоциация углекислоты может быть произведена при высокой температуре, а второй,—что синтез органического вещества сопровождается значительным поглощением теплоты. Источник этих сил, необходимых для образования органического вещества в растеньи—солнце.

Согласно с расширением воззрений, господствующих в науке, изменяется и задача исследователя. На основании всего сказанного, наука, при исследовании занимающего нас явления, не может в настоящее время довольствоваться одним количествен-

---

[1]) Leçons sur la dissociation.
[2]) Méthodes génerales de Synthèse organique и Thermochimie в An. de Ch. 9: 1865.

ным определением превращающихся при этом процессе веществ, она должна стремиться к столь же строгому учету тех сил, которые участвуют в этом явлении.

*Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, проследить их участь в растеньи до их уничтожения, т.-е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой,—вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к достижению которой должны быть дружно направлены все силы физиологов.*

А между тем, если обратиться к истории этого вопроса, убеждаешься, как бедна изысканиями подобного рода ботаническая литература. Можно сказать, что со времени Соссюра наука нисколько не подвинулась в понимании этого явления.

Одна из главнейших причин этого застоя заключалась в отсутствии простого, легкого, но в то же время точного способа исследования этого явления. Существовали превосходные точные способы, но они были применимы лишь для простого количественного определения углекислоты и выделяющегося кислорода. Голое констатирование этого факта разложения углекислоты представлялось уже сложным, затруднительным опытом, каково, например, классическое исследование Буссенго над лозой. Производить же эти опыты при измененных химических и физических условиях было решительно невозможно. С другой стороны, всякий раз, когда желали делать подобные исследования, приходилось удовлетворяться менее точными методами, дававшими сомнительные результаты. Следующий пример лучше всего объяснит высказанную мысль. Разложение углекислоты в различных частях солнечного спектра составляло предмет исследований целого ряда ученых: Добени, Дрепер, Гарднер, Гунт, Гладстон, Клоез, Сакс, Волков—один за другим занимались этим вопросом. Повидимому, предмет этот имеет обширную литературу, и однако, если тщательно анализировать эти работы, окажется, что ни одна из них не выдерживает строгой критики с точки зрения методов, употребленных их авторами. Достаточно, например, указать на громадный процент азота, полученный всеми без исключения исследователями. При том замечательно, что позднейшие работы уступают во всех отношениях более старым; так Сакс и Волков уже отступились от строго количественного, химического пути, и как бы обошли вопрос, ограничиваясь счетом пузырьков газа непостоянного состава [1]).

Приведенный пример доказывает, что в науке ощущался недостаток в простом, но точном способе исследования этого явления. Этот недостаток пополнен, этот способ дал в последнее время Буссенго. В ряде мемуаров „Sur la fonction des feuilles“ [2]) этот ученый в первый раз употребил метод, дозволяющий изучить это явление в его простейшей форме, т.-е. над одним листом, и притом со всей требуемой точностью и при всевозможных искусственных условиях. Но, к сожалению, в этих мемуарах [3]) мы не находим никаких указаний ни на устройство прибора, ни на приемы исследования, словом, ничего, относящегося до экспериментальной стороны вопроса. В них даже встречаются некоторые противоречия, приводящие сначала в сомнение: так, например, Буссенго говорит, что сосуд, в котором помещались листья, замыкался ртутью, и, вслед за тем, приводит целый ряд наблюдений над вредным влиянием ртутных испарений.

Занимаясь летом прошлого, 1867, года исследованиями над воздушным питанием листьев, я старался устроить прибор по возможности простой и удобный и после нескольких попыток остановился на следующем, к описанию которого и перехожу.

Состоит он из обыкновенной, так называемой абсорбционной, трубки с кубическим делением на 1/2 и 1/5 доли кубического сантиметра. Понятно, что точность результатов при той и другой трубке одинакова, если для исследования берется лист с произвольною поверхностью, но при данном листе с небольшой поверхностью следует оказывать предпочтение второй, как более чувствительной. Трубка погружается в небольшую ртутную ванну [4]). Лист вводится в трубку посредством весьма простого приспособления: в небольшую перекладину из пробки величиною в диаметр трубки вставляется запаянный снизу кончик стеклянной трубки; трубочка эта наполняется водою и в нее погружается черешком или влагалищем (у злаков) испытуемый лист. Таким образом лист осторожно вдвигается в верхнюю часть трубки. Для получения определенного объема воздуха ртуть всасывается в трубку до желаемой высоты посредством введения в нее каучуковой трубочки, которая затем вытягивается; для устранения вредного влия-

[1]) В настоящее время этот недостаток исследования о влиянии различных частей солнечного спектра на разложение углекислоты отчасти пополнен работой Кальте (Comptes Rendus. 1867, LXV. 8), произведенной, повидимому, по способу Буссенго.

[2]) Comptes Rendus 1866—66.

[3]) Они составляют часть подготовляемого автором большого сочинения.

[4]) Благодаря этому приспособлению можно обходиться с незначительным количеством ртути, что во многих отношениях удобно, и притом лист не приходит в прикосновение со ртутью, что было бы неизбежно при обыкновенном наполнении трубки ртутью.



ния ртутных испарений и для поддержания атмосферы влажною поверхность ртути покрывается тонким слоем воды, которую вводят туда посредством обыкновенной пипеты с каучуковым шаром. Производят отсчитывание, наблюдая температуру и высоту барометра. Из прибора, служащего газометром [1]), пропускают желаемый объем углекислоты [2]), что достигается со всею желаемой точностью посредством так называемого Доэровского зажима. Снова производят отсчитывание и выставляют прибор на свет. По окончании опыта отсчитывают остаток углекислоты, поглощая едким кали, вводи-

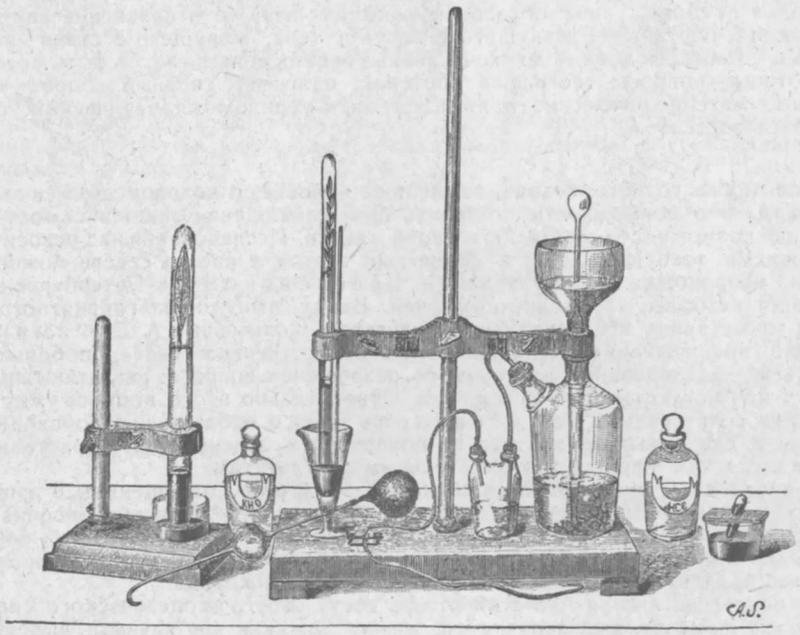


Рис. 1.

мым посредством пипеты, и снова отсчитывают. Из разности углекислоты до и после опыта заключают о количестве ее исчезнувшем, т.-е. разложенным листом [3]).

[1]) Обыкновенного так называемого Либихова прибора для сернистого водорода.

[2]) Испытывают предварительно ее чистоту, пропуская несколько пузырьков ее в едкое кали.

[3]) Привожу в виде примера весь ход опыта: четыре столбца соответствуют четырем отсчитываниям, v — объем газа, b — высота барометра, b′ — высота ртути в трубке, b″ — высота столба воды (в последнем случае раствора едкого кали) над ртутью, t — температура термометра прибора, t′ — температура термометра при барометре.

| | A. | B. | C. | D. |
|---|---|---|---|---|
| v | 22,6 | 31,6 | 32,2 | 27,8 |
| b | 750,1 | 750,1 | 747,8 | 747,4 |
| b′ | 200 | 96 | 89 | 104 |
| b″ | 19 | 19 | 19 | 46 |
| t | 16°,6 R | 16°,9 R | 17°,4 | 17°,4 |
| t′ | 23°,2 | 24° | 24° | 23° |

На основании этих данных и принимая во внимание упругость водяного пара при данной температуре (в последнем случае уменьшенную на известную величину вследствии присутствия едкого кали—величина определена Буссенго) и некоторые другие поправки, получаем объем газа при 0° и нормальной высоте барометра.

Тогда $B - A =$ количеству взятой углекислоты, $C - D =$ количеству оставшейся, $(B - A) - (C - D) =$ количеству углекислоты разложенной во время опыта.

Удобства этого способа исследования заключаются в следующем: 1) исследование производится над отдельным листом, а не над целым растением (следовательно, не происходит одновременного выделения углекислоты не зелеными частями растенья), и притом в его естественной среде; 2) определяется абсолютное количество углекислоты, а не процентный состав пробы газа, и не определяется ничего лишнего, как, например, кислорода; 3) при исследовании не требуется никаких лабораторных пособий: ни весов, ни аспираторов, ни больших количеств ртути и пр.; 4) наконец, прибор этот вполне переносный; мне случалось производить наблюдения в поле, срывая лист и помещая его тут же рядом в приборе. Таким образом можно изучать это отправление растения при его естественной обстановке: живущего в лесу—в тени, живущего в степи—под палящими лучами солнца. Подобные многочисленные наблюдения помогут, быть может, разъяснить некоторые вопросы географии растений, например, спорный вопрос—могут ли обыкновенные метеорологические данные служить мерилом климатических условий, в которых живет растенье.

---

Второе, после точного метода, важнейшее условие, о котором должен заботиться исследователь,—это возможность поставить свои наблюдения вне зависимости от случайностей, по возможности иметь их в своей власти. Исследования над усвоением углерода растениями требуют света, а солнечным светом у нас на севере можно пользоваться очень непродолжительное время. По Веселовскому, в Петербурге в среднем выводе бывает не более 150 солнечных дней. Ввиду этого неблагоприятного обстоятельства, а также ввиду превосходных результатов, полученных А. С. Фаминциным относительно воспитывания водорослей при искусственном свете, любопытно было предпринять ряд исследований для прямого разрешения вопроса: разлагают ли растения углекислоту при искусственном освещении. Относительно этого вопроса уже существовали указания в литературе. Так Декандоль и Био наблюдали, происходит ли при искусственном свете выделение газа на поверхности зеленых частей растений, погруженных в воду, и оба пришли к отрицательным результатам.

Декандоль [1]) производил свои опыты в погребе, освещенном 6 аргандовыми лампами, свет коих по его мнению равнялся $^5/_6$ солнечного [2]). Листья Eucomis punctata, Lycium barbarum, Phillyrea media, Sempervivum arboreum, Aristolochia Sipho, освещенные в продолжении 8 часов, не выделяли газа, а газ, собранный по прошествии 24 часов и подвергнутый анализу Вокленом, содержал всего 2% кислорода.

Био подвергал листья Agave americana свету своего геодезического сигнального аппарата и не замечал выделения газа, между тем как он начинал выделяться немедленно, как только выставляли лист на солнце. Таким образом оба исследователя пришли к заключению, что при искусственном свете выделения кислорода не происходит, хотя должно заметить, что при употребленном ими способе исследования небольшие количества кислорода могли ускользнуть от наблюдения. Между тем А. С. Фаминцин получал при ламповом свете вполне нормальное развитие водорослей, образование крахмала и, что всего важнее, выделение на поверхности совершенно здоровых организмов пузырьков газа, по всей вероятности, кислорода [3]).

Полученных мною данных еще недостаточно, по причинам изложенным ниже, для произнесения какого-либо окончательного заключения, но из производимых опытов оказывается, что в тех случаях, в которых было замечено разложение углекислоты, оно происходило в самых незначительных размерах, как это можно усмотреть из следующего сравнения разложения при ламповом и солнечном свете. Источником света служил мне фонарь А. С. Фаминцина, описанный им в его работе над крессом [4]), но освещение было слабее, так как то же количество света, которое в его опытах сосредоточивалось на нескольких нитях водоросли, у меня распределялось на сравнительно значительную поверхность листа.

Вот некоторые из полученных мною результатов. Лист олеандра, с поверхностью в 24 □ сантиметра, при ламповом свете в продолжении 12 часов не разложил ничего. Между тем лист *Amygdalus nana* (я выбираю именно его, так как из всех исследованных мною летом листьев он наиболее подходит, по консистенции и цвету, к олеандру)

---

[1]) Mém. pres. à l'Acad. des Sc. par divers Savants T. I. Expériences relatives a l'Influence de la lumière sur les végétaux. Lu le 26 thermidor an 8 § 4.

[2]) Это, очевидно, ошибка или опечатка, так как из приводимых им цифр (заимствованных у Румфорда и Бугера) можно заключить, что оно равнялось $^1/_{296}$ солнечного.

[3]) Действие света на водоросли и некоторые другие близкие к ним организмы. С.-Петербург 1866.

[4]) Die Wirkung des Lichtes auf das Wachsen der keimenden Kresse. Mémoires de l'Académie, T. VIII, № 15.



с поверхностью в 7 □ с. м. при июльском солнце разложил в продолжении 6 часов 4,6 куб. сант. углекислоты, следовательно поверхность в 24 □ см., в течении 12 часов разложила бы 32 к. с.

Опыт повторенный над подобным же листом олеандра дал снова отрицательный результат.

Лист папируса с поверхностью в 11,2 □ сант. в продолжении 40 часов разложил 1 куб. сант.; за то же время при летнем солнечном свете одинаковая поверхность листа овса разложила бы 55, просо — 70 куб. сант. Все приведенные здесь летние наблюдения произведены при условиях, которые можно считать за maximum инсолации, так как термометр с черным шариком во все время не показывал менее 30 — 33 R [1]).

Веточка мирта при 12 часовом освещении лампою в одном случае дала 0,8 куб. сант., а в другом ничего.

Впрочем, все эти результаты могут быть объяснены болезненным состоянием растительности в эту пору года (в декабре). В подтверждение этого я могу даже привести следующий факт: веточка мирта, выставленная на рассеянный свет в продолжении 6 часов, не разложила ничего.

Для окончательного разрешения вопроса необходимо повторить эти опыты весною или летом, выставляя один и тот же лист несколько раз попеременно в солнечный и ламповый свет.

(Из „Сборника 1-го Съезда Русских Естествоиспытателей“).

---

[1]) Наблюдения эти произведены в Симбирской губернии.

# II. О значении лучей различной преломляемости в процессе разложения углекислоты растениями.

(Предварительное сообщение).

Эта статья, напечатанная в Botanische Zeitung 27 Jahrgang 12 März, 1869, приводится ниже в этой книге в докторской диссертации К. А. Тимирязева „Об усвоении света растением“. См. стр. 242 настоящего сборника.

# III. Спектральное исследование хлорофилла [1]).

Из протокола седьмого заседания 30-го августа.

1) Читано письменное сообщение К. А. Тимирязева, в котором он сообщил результаты спектрального анализа хлорофилла, произведенного им в Гейдельберге. Результаты эти следующие:

a) Ближайшие составные части хлорофилла не филлоксантин и филлоциановая кислота, как полагает Фреми, а филлоксантин и аммиачное соединение тела ярко-зеленого цвета, которое я предлагаю назвать *хлорофиллином*.

b) Характеристические для спектра хлорофилла линии поглощения принадлежат этому аммиачному соединению, хлорофиллину. Сверх того, тело это имеет еще одну линию в синей части спектра; в хлорофилле линия эта маскируется филлоксантином. Филлоксантин представляет только сплошное поглощение синих и фиолетовых лучей. Таким образом, сочетание спектров обоих тел дает спектр хлорофилла.

c) Филлоциановая кислота Фреми не что иное, как хлорофиллин, измененный действием энергических кислот. *Хлорофиллин* и филлоциановая кислота дают два параллельных ряда соединений с основаниями [2]). Соединения эти отличаются, как между собой, так и от хлорофилла, спектральными признаками. Как сказано выше, спектр аммиачного соединения *хлорофиллина* тождествен со спектром хлорофилла.

d) Филлоциановую кислоту и ее производные можно превратить в хлорофиллин и его производные действием щелочного раствора окиси цинка. Превращение это, сопровождаемое изменением в спектре, вполне напоминает превращение пигмента крови при действии на него окисляющих и восстанавливающих веществ. Тот же процесс превращения бурой филлоциановой кислоты в зеленый *хлорофиллин* совершается гораздо медленнее (в течение нескольких недель или месяцев) без содействия посторонних тел. По всей вероятности, процесс этот — окисление (или присоединение углекислоты?), хотя до сих пор мне удалось непосредственно наблюдать его только при действии перекиси свинца. Другие окисляющие средства или действовали слишком энергично, или не оказывали никакого действия.

Судя по свойству этиолированных растений, синеть от кислот (Финсон, Сакс), они должны содержать филлоциановую кислоту,—отсюда их способность зеленеть.

e) Вопреки господствующему мнению, изменение хлорофилла под влиянием солнечного света происходит без доступа кислорода. Следовательно, это не окисление. Полнейшая аналогия между действием солнечного света и водорода в момент выделения убеждает меня, что процесс этот восстановление.

f) Описанные два процесса, зеленение и желтение, окисление и восстановление хлорофилла под влиянием воздуха и света, по всей вероятности, послужат ключем к разъяснению роли хлорофилла в процессе усвоения углерода растений.

---

[1]) Труды второго Съезда русских естествоиспытателей в Москве, происходившего с 20 по 30 августа 1869 года. Часть вторая (Отд. ботаники, анатомии и физиологии растений) стр. 23.

[2]) Первые—зеленого и вторые—бурого цвета.

# IV. Спектральный анализ хлорофилла.

*Рассуждение, представленное в физико-математический факультет Императорского С.-Петербургского университета для получения степени магистра ботаники К. А. Тимирязевым.*

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

В исследовании, могущем рассчитывать только на ограниченный круг читателей специалистов, излишне, даже неуместно было бы распространяться о важном физиологическом значении хлорофилла, а следовательно, о том глубоком интересе, который представляет изучение этого тела.

В настоящее время не подлежит сомнению, что зерно хлорофилла—тот орган, в котором неорганическое вещество, углекислота и вода, превращается в органическое, что зерно хлорофилла тот фокус, та точка в мировом пространстве, в которой живая сила солнечного луча, превращаясь в химическое напряжение, слагается, накопляется для того, чтобы впоследствии исподволь освобождаться в тех разнообразных проявлениях движения, которые нам представляют организмы, как растительные, так и животные. Таким образом, зерно хлорофилла—исходная точка всякого органического движения, всего того, что мы разумеем под словом жизнь.

Но если, благодаря новейшим успехам физики и химии, мы настолько подвинулись в общем понимании этого процесса—усвоения углерода растениями,—то самый механизм этого процесса для нас и теперь почти так же темен, как он был за сто лет пред сим[1]). Здесь не место вдаваться в объяснения причины этого непонятного застоя физиологии растений. Очевидно, что для разъяснения сущности этого процесса необходимо вполне изучить физические условия, при которых он происходит (т.-е. влияние света, теплоты и проч.), и ближе ознакомиться с веществом, присутствием которого он обусловливается, т.-е. с хлорофиллом.

Между тем изучение этого тела сопряжено с непреодолимыми трудностями: во первых, оно встречается в почти неизмеримо малых количествах, не кристаллизуется, не летуче и т. д., словом, не обладает ни одним из физических свойств, необходимых для получения тела в чистом состоянии. Химическая функция его также неизвестна. Этих условий достаточно, чтобы показать всю бесплодность попыток установить его формулу. И действительно, произведенные элементарные анализы полны противоречия. По мнению одних исследователей, хлорофилл содержит азот; по мнению других,—не содержит его. Содержание углерода колеблется в различных анализах между 48 и 76%, содержание водорода между 5 и 11%. Наконец, бесплодность элементарных анализов становится окончательно очевидной, когда мы узнаем, что даже относительно ближайшего состава существует полное разногласие: по мнению одних, это однородное тело, по мнению других—соединение или смесь двух, трех, четырех или пяти тел.

Таким образом, первый вопрос, который предстоит разрешить, это вопрос о ближайшем составе хлорофилла, но этот-то вопрос, ввиду указанного отсутствия определенных физических свойств, и представляется крайне затруднительным. Значительным пособием в этом отношении, однако, могут служить известные оптические свойства хлорофилла, открытые Брюстером и подробнее описанные Стоксом, именно своеобразное

---

[1]) Великому открытию Пристлея в настоящем году минет ровно сто лет—оно сделано 18 августа 1771 года.

поглощение света и флуоресценция. Эти признаки драгоценны особенно в том отношении, что они дозволяют нам следить за исследуемым телом во всех операциях, которым оно подвергается, и несомненно указывают тот момент, когда оно начинает изменяться, т.-е. терять те свойства, которыми оно отличалось в самом организме, напр., в живом листе. Таким образом, благодаря этому методу исследования, устраняется один важный источник ошибок—становится невозможным смешивать продукты изменения или разрушения с действительными ближайшими составными началами. Плодотворность этого метода исследования с избытком доказывается примером его применения к изучению пигментов крови.

Применение спектрального анализа к определению ближайшего состава хлорофилла составляет предмет настоящего исследования [1]).

Мне казалось, что подобного рода исследование представляет необходимый и самый логический приступ к изучению хлорофилла, но само собою понятно, что его следует рассматривать только как первый шаг, который определит направление дальнейших исследований.

Исследование разделено на три части: в первой приведен сжатый очерк предшествовавших исследований, предпринятых для разъяснения ближайшего состава хлорофилла. Очерк этот дополняется, по возможности, полным сводом литературы, приведенным в конце. Во второй части изложены собственные наблюдения и опыты; в ней приведены только факты и умышленно опущено всякое отношение их к физиологическим явлениям. Эти выводы и заключения составляют предмет третьей части.

Считаю необходимым сказать несколько слов об этой последней части. По самой сущности своей, она имеет совершенно гипотетический характер; это, насколько мне известно, первая попытка, первое приближение к объяснению физиологической роли хлорофилла. Многие, быть может, найдут ее преждевременной и неуместной, но мне кажется, что в физиологии, как науке по преимуществу дедуктивной, гипотеза имеет вполне законное право на существование, лишь бы пользующиеся этим орудием исследования знали ему цену, не смешивали гипотезы с доказанной теорией.

Гипотеза должна быть только попыткой объяснить явление на основании имеющихся на лицо данных. Она представляет только связное изложение наличного, в данный момент, запаса фактов, следовательно, по самой своей природе изменчива. Вероятных объяснений факта много, возможных еще более, истина одна. Умение из массы возможных объяснений факта сразу выхватить единственное истинное—дар немногих избранных умов; масса научных деятелей достигает истины более копотливым путем исключения возможных и вероятных объяснений до тех пор, пока не наткнется на истину. Это единственный верный путь, каждый шаг на котором составляет приобретение.

Таким образом гипотеза, даже ложная, приносит свою долю пользы: в случае ее опровержения, остается одним возможным объяснением менее, ограничивается число остающихся объяснений, суживается круг, приближающий нас к единственному центру—к истине. В том заслуга всякой гипотезы, в том ее оправдание.

---

[1]) Исследование это произведено главным образом в 1869 году, в лаборатории Бунзена, и отчасти в 1870 году, в лаборатории Бертло.

## 1. Исторический очерк.

Пелтье и Каванту. Макер-Принсеп. Кламор-Маркварт. Берцелиус. Мульдер. Моро. Вердель. Рисслер. Фипсон. Сакс. Пфаундлер. Глазевиц. Фреми (первое исследование). Фильоль. Кромайер. Фреми (второе исследование). Микели. Фильоль Жоден. Мюллер.—Спектральные исследования: Брюстер. Стокс. Ангстрём. Гартинг. Аскенази. Микели. Шён. Луневский.

Первое основательное исследование зеленого начала листьев принадлежит Пелтье и Каванту. Эти исследователи назвали его хлорофиллом. Под хлорофиллом они разумели вещество, извлекаемое алкоголем из свежих частей растений и обработанное кипящей водой. Они верно описали некоторые его свойства—отношение к растворителям, осаждение гидратом глинозема, известковой водой и т. д. Им было известно, что уксусная кислота не изменяет хлорофилла, а минеральные кислоты изменяют; впрочем, по непонятной причине, они делают исключение для серной кислоты, которая, по их мнению, не изменяет хлорофилла.

Следующее, в хронологическом порядке, исследование принадлежит Макер-Принсепу. Его занимал собственно вопрос о переходе зеленого вещества в желтое и красное вещество осенних листьев и в пигменты цветочных покровов. Он не сомневался в происхождении всех этих тел из хлорофилла Пелтье и Каванту, который он называл, по примеру Декандоля „Chromulle“. Превращение зеленого вещества в желтое он считал окислением и описал обратное превращение желтого вещества осенних листьев в зеленое, при действии щелочей. Впрочем, факт этот был опровергнут Кламор-Марквартом.[1]

Кламор-Маркварт получил хлорофилл тем же способом, как Пелтье и Каванту, за тем исключением, что выпаривал спиртовой раствор и растворял остаток в эфире, для отделения некоторых экстрактивных веществ. Он желал преимущественно определить отношение хлорофилла к синим и желтым пигментам цветочных покровов и пришел на основании своих опытов к заключению, что хлорофилл, соединяясь с водою (при продолжительном соприкосновении с нею), превращается в желтое тело—антоксантин, а теряя воду в соприкосновении с серной кислотой, образует синее тело—антоциан.

Берцелиус изучил хлорофилл основательнее своих предшественников и даже позднейших исследователей. Он полагал возможным различать три видоизменении этого тела, но должно сознаться, что способ их получения и характеристика весьма неопределенны. Вот, вкратце, результат его исследований.

Материалом служили листья Crataegus Aria, содержащие, судя по темному цвету, много хлорофилла. Из одной порции хлорофилл был немедленно извлечен эфиром и полученный раствор исследован по прошествии полугода. Другая порция была засушена и подвергнута обработке эфиром через несколько месяцев. Она дала менее хлорофилла, и цвет его был желтоватый. Растворы были исследованы отдельно.

Отогнав часть эфира и слив оставшуюся (*a*) с полученного осадка, он подверг этот остаток обработке алкоголем, который извлек из него часть (*b*) высокого зеленого цвета и оставил черноватый остаток (*c*).

Раствор *b* дал *первое видоизменение*, цвета *свежих листьев*; эфирный раствор *a* и нерастворимый в алкоголе осадок *c—второе видоизменение*, цвета *сухих листьев* [1]).

*Первое видоизменение, цвета свежих листьев.* Спиртовой раствор *b* был выпарен, и остаток растворен в хлористоводородной кислоте. Кислый раствор изумрудно-зеленого (синевато-зеленого?) цвета, при разбавлении водою, давал зеленый, при насыщении мрамором—бурый осадок. Зеленый осадок, промытый водою, растворялся в алкоголе, с

---

[1]) Берцелиус не определяет яснее, какой именно цвет он под этим разумеет.

черновато-серым оттенком, но, после 12 часовой обработки концентрированным раствором едкого кали, дал раствор травянисто-зеленого цвета.

Уксусная кислота осаждает из этого раствора хлорофилл в виде зеленых хлопьев. Промытый и высушенный, он представляет настоящий хлорофилл, растворимый в алкоголе, эфире, соляной кислоте и щелочах.

Он несомненно соединяется со щелочами, и алкоголь не извлекает его из этих соединений. С баритом и известью дает нерастворимые осадки. От азотной кислоты принимает желтый цвет (о подобном действии других кислот Берцелиус не упоминает). В толстом слое на свет не представляется красным.

*Второе видоизменение, цвета сухих листьев.* Эфирный остаток *a* и не растворившаяся в алкоголе часть *c* были смешаны с дымящеюся соляною кислотою, поглощенный эфир заменен новым, смесь взболтана и, по отделении слоев, ярко-желтый эфирный слой слит с сине-зеленого кислого раствора; кислый раствор осажден водою и мрамором, полученный осадок снова растворен в соляной кислоте, при чем остался черный нерастворимый остаток (см. ниже, третье видоизменение). Полученный кислый раствор более не осаждается водою—это главная его характеристическая черта [1])—и потому был осажден мрамором, в виде бурых хлопьев. Цвет спиртового раствора грязно-бурый; в толстом слое, при свечах—*высокий красный.* Остальные свойства те же, что у первого видоизменения.

В щелочах растворяется с той же краской. Продолжительное действие атмосферного воздуха, при значительной поверхности, ни при обыкновенной температуре, ни при нагревании, не превращает этих растворов в первое видоизменение.

Эфирный раствор, слитый с кислого раствора второго видоизменения, содержит желтое вещество—*ксантофилл.*

*Третье видоизменение.* Это тот нерастворимый в соляной кислоте осадок, о котором было упомянуто выше. Он отличается грязным цветом и слабою растворимостью в соляной кислоте, алкоголе и эфире; более растворим в щелочах.

Затем Берцелиус обратил внимание на действие солнечного света. Он полагал, что в осенних листьях хлорофилл превращается в ксантофилл, хотя говорит, что всякий хлорофилл содержит желтое тело ксантофилл, следовательно мог бы сделать и другое предположение, что осенью хлорофилл разрушается и остается один ксантофилл. Он полагал, что это превращение—восстановление, на том основании, что сходное изменение вызывает соляная кислота с цинком. Впрочем, он высказывается по этому поводу весьма осторожно, со всевозможными оговорками.

Следующее после Берцелиуса и, очевидно, сделанное под его влиянием исследование принадлежит Мульдеру. Мульдер придерживался метода Берцелиуса, но осаждал кислый раствор мрамором, а не водой. Он первый сделал элементарный анализ, показал, что хлорофилл содержит азот, и старался доказать, что хлорофилл превращается в ксантофилл посредством восстановления.

Моро также придерживался методов Берцелиуса, за чистый хлорофилл принимал осажденный мрамором хлористоводородный раствор, а в спиртовом растворе различал до пяти веществ, которые означал просто буквами A—E. В исследовании Моро, как и в исследованиях Берцелиуса, достойно замечания, что вещество, осаждаясь из раствора, становится отчасти нерастворимым в своем растворителе. Объяснение этому факту мы найдем ниже. Главные вещества, найденные Моро, были хлорофилл Берцелиуса и желтое вещество (жир, по мнению Моро)—ксантофилл. В желтых, этиолированных и осенних листьях Моро нашел следы вещества, принимавшего от действия кислот синий цвет.

Вердель первый нашел, что хлорофилл содержит железо, и указал на аналогию его в этом отношении с пигментом крови. Свой чистый хлорофилл он получал, осаждая спиртовой раствор известковой водой, разлагая осадок соляной кислотой и взбалтывая кислый раствор с эфиром, который отнимал у него часть растворенного вещества. По поводу присутствия железа в хлорофилле, Ристлер составил целую, более или менее фантастическую, теорию. Он объяснял зеленый цвет растений одновременным присутствием синевато-зеленой закиси и желтой окиси железа и предполагал, что эти два окисла железа образуют гальваническую пару, которая разлагает воду и углекислоту.

Фипсон обратил внимание на то, что желтые листья от действия кислот принимают зеленый или синий цвет. Свежие зеленые листья, при подобной же обработке, сначала буреют, потом синеют.

Подобное же явление было замечено Саксом относительно этиолированных частей растений. По его мнению, в этих частях, ожидающих только известного толчка, сообщаемого светом, чтобы позеленеть, заключается бесцветное тело, лейкофилл, принимающее зеленый или синевато-зеленый цвет при действии кислот. Сакс полагает, что в природе это превращение вызывается озоном.

[1]) Этого факта я не могу подтвердить, вероятно, раствор был очень слабой концентрации, и потому не осаждался.



Пфаундлер подтвердил результаты Верделя относительно содержания в хлорофилле железа и указал на связь между присутствием железа и явлением хлороза—связь, экспериментально доказанную гр. Сальм-Горстмаром и Гри старшим. Пфаундлер получал хлорофилл, подвергая свертыванию выжатый сок растений, обрабатывая сверток алкоголем, растворяя в соляной кислоте остаток от выпаривания спиртового раствора и осаждая кислый раствор горячей водой. Таким образом полученный хлорофилл был, следовательно, хлорофилл Берцелиуса; он оказался бурого цвета с сильной флуоресценцией. Анализ показал, что он не содержит азота. Пфаундлер старался затем проверить справедливость воззрения Глазевица, высказавшего мнение, что многие растительные пигменты, в том числе хлорофилл, быть может, не что иное, как продукты, получающиеся из кверцетина, эскулина и тому подобных тел, при действии окиси железа, щелочей и воздуха. Это предположение не оправдалось относительно кверцетина: полученные тела отличались от хлорофилла многими признаками.

Глазевиц выразил также мнение, что хлорофилл, быть может, производное берберина, получающееся при нагревании его до 200° с водою, в запаянной трубке. Продукт этой реакции—тело ярко-зеленого цвета с красной флуоресценцией; но едва ли это хлорофилл, судя по тому, что с кислотами он окрашивается в красный цвет, вместо синего.

Фреми первый вполне определенно выразил мнение, что хлорофилл состоит из соединения двух цветных начал, именно желтого и синего. На эту мысль его навело дробное осаждение спиртового раствора водой и водным глиноземом, при чем первоначально осаждается зеленый, затем желтый лак. Кипящий или концентрированный спирт снова извлекает красящее вещество. Но подобным образом невозможно достигнуть полного разделения. Щелочи, по мнению Фреми, превращают хлорофилл в золотисто-желтое тело [1]), дающее с водным глиноземом желтый лак. Спиртовой раствор этого тела снова окрашивается кислотою в зеленый цвет. Таким образом, по мнению Фреми, щелочи превращают синий пигмент в желтый, а кислоты восстановляют первоначальный синий цвет, который со второю, желтою составною частью дает зеленый Следующий опыт, повидимому, подтверждает это воззрение самым наглядным образом. Если обработать хлорофилл смесью соляной кислоты и воды, то зеленое вещество. сначала буреет, а затем распадается на два слоя: нижний синий, а верхний золотисто-желтый. Фреми называет синее тело *филлоцианином*, желтое—*филлоксантином.* Синее тело при насыщении кислотой превращается в бурое, растворимое в спирте и эфире, которое Фреми называет *филлоксантеином.* Таким образом, филлоцианин и филлоксантеин в сущности одно и то же тело в кислом и среднем растворе. Но Фреми иначе объясняет факт; он считает филлоцианин, т.-е. кислый раствор, за неизмененное тело, а филлоксантеин за то же тело, измененное действием оснований. Это вдвойне неверно. Во первых, изменяющее действие кислот не подлежит сомнению, так как от первых капель жидкость буреет (как показали уже Пельтье и Каванту и другие) и затем уже принимает синий цвет. А во-вторых, щелочи не имеют того действия, которое им приписывает Фреми, и, кроме того, уравнение соляной кислоты может быть произведено мрамором, а продукт будет тот же филлоксантеин.

Филлоксантин Фреми нечто иное, как ксантофилл Берцелиуса, судя по тому, что Фреми нашел его в почти чистом виде в осенних листьях. В молодых этиолированных листьях он нашел, кроме того, филлоксантеин, что обнаруживается их окрашиванием в синий цвет при действии кислот.

Фильоль, в исследовании, посвященном почти исключительно пигментам цветов, указал, что хлорофилл теряет свой зеленый цвет от ничтожных количеств минеральных кислот и некоторых органических, каковы щавелевая.

Кромайер поспешил подтвердить теорию Фреми и, желая доказать существование синего тела, приводит положительно не существующие факты. Для получения хлорофилла он подверг свеже-выжатый сок свертыванию, извлек из свертка хлорофилл эфиром, выпарил, обработал спиртовым раствором едкого кали, *уравнил* разбавленный водою щелочной раствор соляною кислотою, при чем получил в осадке желтые хлопья и раствор превосходного синего цвета. Этот раствор при выпаривании образовал синие хлопья, которые, будучи *промыты* водою, дали чистый *филлоцианин*, в виде *темно-синей* порошковатой массы [2]). При осаждении раствора в соляной кислоте уксусным

[1]) Факт этот неверен и опровергается второй работой Фреми.

[2]) Это показание Кромайера неверно с начала до конца. Все неточности мною подчеркнуты. Раствор не мог быть средний, иначе вещество получилось бы в осадке и притом не синего, а бурого цвета. Полученный при выпаривании осадок был, очевидно, недостаточно промыт, иначе он не был бы синий. Ясно, что Кромайер имел дело с телом, содержавшим большой избыток кислоты, и вообще слишком порадел, желая доказать то, чего и Фреми не утверждал, именно существование среднего синего тела.

свинцом получались подобные же результаты. Кромайер положительно утверждает, что раствор филлоцианина в алкоголе—синего цвета, но никто, ни до него, ни после него, ничего подобного не видал.

Впоследствии Фреми снова вернулся к своей теории и предложил другой способ разделения филлоцианина и филлоксантина, дающий превосходные результаты, но еще менее прежнего подтверждающий существование синего тела. Хлорофилл, или просто спиртовой раствор, или разложенный спиртом лак, осаждается избытком баритовой воды. Из полученного осадка алкоголь извлекает желтое тело—филлоксантин, оставляя нерастворимое зеленое тело, которое Фреми разлагает серной кислотой и полученный синий раствор осаждает щелочью или водой. Этот осадок растворяется в алкоголе и эфире, сообщая растворам оливковый цвет с сильной флуоресценцией. Это тело ввиду того, что оно способно образовать соединения с основаниями (напр. с баритом), Фреми называет *филлоциановой кислотой*, но не высказывается, считает ли он это тело и филлоцианин, полученный по первому способу, за одно и то же тело. По мнению Фреми, хлорофилл не что иное, как сочетание филлоциановой кислоты с филлоксантином, на подобие глицеридов или сахаридов. Непонятно, почему он продолжает называть это тело циановым, когда оно буро-оливкового цвета.

Микели предпринял, под руководством Сакса, исследование, имевшее целью проверить теорию Фреми. Он отрицает распадение хлорофилла на два вещества при действии смеси эфира и соляной кислоты [1]); распространяется весьма подробно о давно известном факте изменения хлорофилла при действии небольших количеств кислот, считая его, повидимому, новостью; предполагает, что ксантофилл от кислот синеет, и потому очень удивляется, что ксантофилл, полученный по второму способу, не представляет этой реакции, и объясняет это присутствием барита. Для весьма простого факта осаждения хлорофилла баритом, Микели изобретает замысловатую и совершенно ненужную теорию, по которой барит должен действовать на подобие кислот (?), т.-е. сначала заставляет хлорофилл буреть, затем превращает часть его в синее тело, которое и осаждает. Вообще вся работа Микели полна подобных диковинок и ничего не прибавила к имевшимся уже данным.

Последняя работа Фреми вызвала также новые исследования со стороны Фильоля. Фильоль снова с большею силою настаивал на том факте, что все способы, основанные на употреблении минеральных кислот, не дают ближайших составных начал хлорофилла, но лишь продукты распадения. Впрочем, Фильоль сам употреблял щавелевую кислоту, действие которой столь же энергично, и, следовательно, получал измененные тела. При действии этой кислоты хлорофилл буреет и распадается на черное тело, выделяющееся в виде клочковатого осадка, и желтое, остающееся в растворе. Этот желтый раствор, в свою очередь, при действии соляной кислоты распадается на другое желтое, нерастворимое, и синее, растворяющееся в соляной кислоте и принимающее желтый цвет при уравнении кислоты. Черное вещество, по мнению Фильоля, тождественно с хлорофиллом Моро; одна из любопытных его реакций—превращение его, при действии щелочного раствора окиси цинка, в ярко-зеленое тело.

Жоден и, в недавнее время, Мюллер исследовали отношение хлорофилла к газам. Жоден полагает, что при разложении хлорофилла на солнце поглощается кислород и выделяется углекислота, но так как процесс этот длился у Жодена около месяца, то весьма возможно, что, помимо превращения хлорофилла, одновременно происходили и другие побочные процессы. Мюллер наблюдал только поглощение кислорода, но не выделение углекислоты.

Обратимся теперь к другому ряду исследований хлорофилла, именно к исследованиям спектроскопическим.

Брюстер первый описал оптические свойства хлорофилла, его спектр и флуоресценцию, но в особенности подробно изучил их Стокс. Стокс описал в спектре хлорофилла пять абсорбционных полос, но описание его не вполне ясно, доказательством чему служит тот факт, что все переводчики и референты [2]) его работы превратно его поняли. Именно под пятой линией они разумеют сплошное поглощение голубых, синих и т. д. лучей, между тем как из подлинника, кажется, можно понять, что Стокс имел в

---

[1]) Он говорит, что получал большое количество желтого тела и несколько капель бледного, неопределенно синеватого тела,—очевидно, потому, что не следовал указанию Фреми и не брал кислоту и эфир в указанном отношении.

[2]) Annalen der Physik, Fortschritte d. Physik, Розанов и проч. Эта ошибка тем понятнее, что спектр нормального хлорофилла действительно содержит только четыре полосы.—Стокс вначале не делал различия между зеленым и побуревшим хлорофиллом, и это описание относится к последнему.



виду действительно абсорбционную линию, отделяющуюся от начала сплошного поглощения светлым промежутком. Если считать пять линий, то они будут следующие: одна в красной части спектра, одна в оранжевой, одна в желтой, на границе с зеленой, наконец, последняя около фраунгоферовой линии F; за этой линией, после небольшого промежутка, начинается сплошное поглощение. В этой работе Стокс преимущественно обратил внимание на отношение между поглощением и флуоресценцией, но мы не остановимся на этих любопытных исследованиях, так как они выходят из рамки нашего вопроса.

Впоследствии Стокс неоднократно возвращался к исследованию хлорофилла, но, к сожалению, излагал свои исследования так кратко, как бы мимоходом, что трудно себе составить полное о них понятие. Тем не менее, мы приведем их подробнее, почти дословно, так как они представляют самые точные данные по этому вопросу. Стокс предпринял исследования ввиду высказанного предположения о тождестве хлорофилла с биливердином и показал, что это мнение неверно. Относительно хлорофилла пришел к заключению, что он состоит из четырех тел, двух зеленых и двух желтых [1]). Зеленые представляют сильную красную флуоресценцию, желтые не представляют ее; все четыре растворимы в тех же расторителях, а три из них легко разлагаются кислотами и даже кислыми щавелевыми солями, но при надлежащей обработке могут быть получены в приблизительно-чистом виде. Филлоцианин Фреми не что иное, как продукт действия кислот на одно из зеленых тел, и в нейтральном растворе—неопределенного цвета, но с ясными абсорбционными линиями; растворяясь в кислотах, это тело принимает синий или зеленый цвет. Филлоксантин различается, смотря по способу приготовления: приготовленный чрез осаждение зеленых тел глиноземом, он представляет одно из желтых тел; приготовленный посредством смеси соляной кислоты и эфира, он состоит из этого желтого тела и продукта изменения второго зеленого тела. Наконец, филлоксантеин вероятно, смесь второго желтого с продуктами разложения остальных трех тел.

Стокс настаивает на том, что филлоцианин Фреми вовсе не синий в нейтральных, растворах, а также доказывает a priori, на основании флуоресценции, что в хлорофилле не может заключаться синего тела. Ход его аргументации следующий: флуоресценция находится в связи с поглощением, т.-е. она возможна только в тех частях спектра, где происходит поглощение; флуоресценция хлорофилла очень сильна в синей части спектра. Но желтое тело не флуоресцирует,—следовательно, флуоресценция в синей части спектра принадлежит другому телу; это тело для того, чтобы флуоресцировать в синей части спектра, должно поглощать лучи этой части спектра и, значит, не может быть синим.

Стокс не говорит, каким образом он получал свои зеленые тела; только в одном месте упоминает, что пользовался для разделения смесью сернистого углерода и алкоголя, но, как я убедился, этот способ не дает зеленого тела.

С точки зрения употребленных приемов достойны замечания исследования Ангстрёма и Гартинга. Ангстрём задался специальной целью сравнить хлорофилл высших и низших растений с хлорофиллом низших животных, и полагал, что нашел различия, но этот результат был опровергнут Гартингом. Ангстрём исследовал растворы хлорофилла при различной толщине слоя и, соединяя наблюдения в одно изображение, получал закон поглощения света этими растворами. Для этого он употреблял сосуд, состоявший из двух вставленных одна в другую медных трубок, закрытых с переднего конца зеркальными пластинками. По его описанию, спектр состоит из четырех полос, в красной, оранжевой, желтой (положение этой линии не совсем постоянно) и зеленой частях спектра; начиная с линии F, или немного ранее, наступает сплошное поглощение. Ангстрём производил наблюдение при свете лампы или свечи, определял положение линии D, а положение остальных вычислял, зная светорассеяние своей призмы.

Гартинг употребил другой прием: он заключал раствор в полую призму и мог таким образом пропускать луч чрез слой различной толщины. Прошедший чрез жидкость луч разлагался другой призмой. Так как исследования производились с солнечным светом, то положение абсорбционных линий определялось непосредственно фраунгоферовыми линиями. По его описанию, спектр хлорофилла также содержит четыре абсорбционные полосы; полоса на границе желтой и зеленой частей спектра не всегда одинаково ясна. Аскенази довольно подробно исследовал спектр хлорофилла, нормального и измененного солнечным светом, при различных концентрациях и вообще представил весьма обстоятельные и ясные описания оптических свойств хлорофилла; но употребленный им способ обозначения спектров неудачен и уступает в точности способам, употребленным Гартингом и Ангстрёмом. Аскенази исследовал также спектр филлоксантина и филлоцианина, но эти спектры оказались почти сходными.

---

[1]) Спектр одного из последних, по Стоксу, состоит из двух полос в синей части.

Микели, по его словам, исследовал как хлорофилл, так и тела Фреми, но пришел к заключению, что все спектры между собою сходны и что вообще спектроскоп не может принести никакой пользы при этих исследованиях [1]).

Уже после окончания моей работы, до моего сведения дошли две заметки о хлорофилле: Шёна и Луневского. Шён также нашел, что оба тела Фреми, филлоксантин и филлоцианин, представляют одинаковые спектры. В исследовании Луневского любопытен тот факт, что в эмульсии свежего хлорофилла от прибавления щелочи получается спектр, отличающийся от спектра хлорофилла тем, что в нем, вместо одной главной типической линии в красной части спектра, появляются две. Спектры филлоцианина и филлоксантина также оказались сходными, даже спектр эфирного слоя, по Луневскому, более сходен со спектром хлорофилла, вследствие чего он полагает, что соляная кислота разлагает хлорофилл, а эфир удерживает неразложившуюся часть. Луневский говорит далее, что синий кислый раствор скоро разлагается и утрачивает абсорбционные полосы, но это несогласно с показаниями всех предшествовавших исследователей.

Из приведенного очерка можно усмотреть, что важнейшими сведениями о хлорофилле мы обязаны Берцелиусу, Фреми и Стоксу.

[1]) К числу диковинок, которыми изобилует эта работа, можно прибавить еще следующую: говоря о спектре концентрированных растворов хлорофилла, он замечает: Ce dernier (l'espace rouge) depasse notablement le champ visible du spectre solaire et *est dû à la fluorescence*. Известно, что это явление зависит от поглощения самой светлой части спектра, вследствие чего становятся видимыми крайние красные лучи.

## 2. Собственные исследования.

Прибор и способ наблюдения.—Количественное определение.—Первый способ Фреми.—Филлоцианин и филлоксантеин.—Филлоксантин. — Сочетанный спектр филлоксантина и филлоксантеина. — Два способа осаждения филлоцианина. — Бесцветное тело, сопровождающее филлоцианин.—Несостоятельность элементарных анализов.—Ничтожные количества хлорофилла в растении. — Различие спектров нормального хлорофилла и хлорофилла, измененного кислотами.—Второй способ Фреми.—Оптически чистый филлоксантин.—Филлоциановая кислота.—Спектр ее.—Превращение ее спектра при действии щелочей.—Филлоцианин и филлоциановая кислота не одно и то же тело.—Разложение органическою кислотою.—Хлорофиллин. — Непостоянство его растворов. — Хлорофиллин.—Предлагаемая номенклатура.—Другие способы разделения.—Сомнения насчет однородности состава филлоксантеина и хлорофиллеина. — Превращение филлоксантина в хлорофиллин.—Происходит ли это превращение путем окисления?—Обратное превращение происходит ли путем восстановления? — Значение окислов железа и цинка.—Действие света на хлорофилл состоит в превращении хлорофиллина в филлоксантин.—Обратное превращение.—Дальнейшее действие света. — Отношение филлоксантина к окиси углерода.—Выводы.

Из предшествующего очерка ясно, что неудовлетворительность данных, приобретенных путем спектрального исследования, проистекает главным образом от неточности способов, употребленных для разделения тел, и от несовершенства обыкновенных способов наблюдения и обозначения спектров, вследствие чего тела, очевидно различные, оказывались сходными в отношении спектров (Аскенази, Микели, Шён, Луневский), так что показания спектроскопа были менее надежными, чем указания невооруженного глаза.

Следовательно, требовалось позаботится одновременно о получении по возможности чистых, по крайней мере оптически чистых, тел и об усовершенствовании способа наблюдения и регистрирования спектров.

Я буду излагать свои наблюдения в их хронологической последовательности, как самой естественной и логической, но прежде скажу несколько слов о принятом мною способе наблюдения и обозначения спектров.

Мы видели, что уже Ангстрём и Гартинг убедились в необходимости последовательного наблюдения спектров при изменяющейся концентрации раствора или толщины слоя. Оба способа одинаково верно ведут к цели, но второй из них удобнее на практике, так как он соединяет наибольшую точность с наименьшей тратой времени. После нескольких более или менее неудачных попыток я остановился на следующем небольшом приборе (рис. 1), вполне достигающем своей цели.

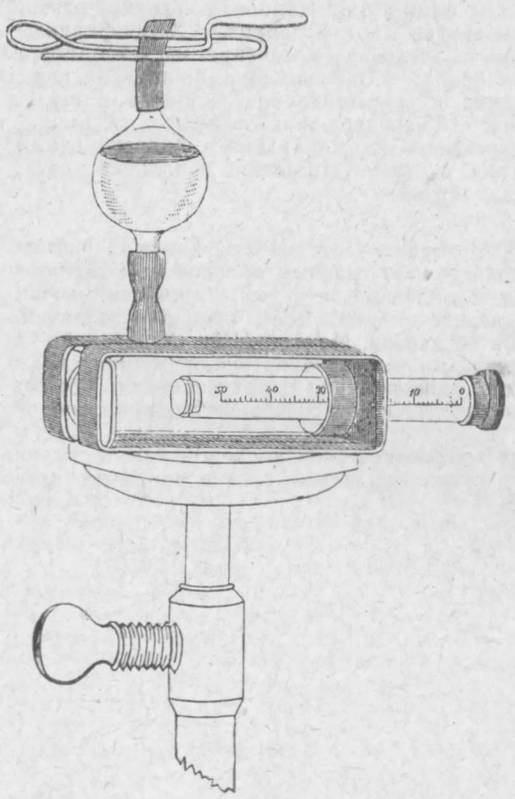


Рис. 1.

Две концентрические стеклянные трубки соединены между собою посредством оправы из обыкновенной пробки таким образом, что внутренняя может двигаться в наружной, как поршень или, скорее, как окуляр зрительной трубы. Передний конец наружной трубки отшлифован и закрыт пластинкой из зеркального стекла, которая удерживается в этом положении двумя гутаперчевыми кольцами, протянутыми к металлической оправе заднего конца этой трубки. Передний конец внутренней трубки закрыт тщательно отшлифованной пробочкой, также из зеркального стекла, а самая трубка снабжена вытравленною в стекле миллиметрическою скалою, дозволяющей при вдвигании и выдвигании трубки измерять толщину слоя жидкости, находящейся между передними концами обоих трубок, т.-е. между заднею поверхностью зеркальной пластинки и переднею поверхностью зеркальной пробки. В верхней, передней части наружной трубки находится отверстие с каучуковою трубочкою, в которое вставляется маленькая пипетка с испытуемою жидкостью. Прибор этот дозволяет работать с ничтожными количествами веществ (вместимость его 7 кб. цен.) и пригоден для всевозможных растворов, спиртовых и водяных, щелочных и кислых, так как он состоит исключительно из стекла и пробки, без всякого цемента или клея. Наблюдение идет весьма быстро: определив сначала спектры, положим через каждые 10 миллиметров, можно заметить места, требующие более точного наблюдения (т.-е. где линии сливаются между собою или выклиниваются), и там определить спектры чрез каждый миллиметр, имея притом возможность сколько угодно раз возвращаться к сделанному уже определению, чтобы проверить



его. При таком способе наблюдения, спектральное исследование жидкостей достигает желаемой точности [1]).

Понятно, что и способ обозначения спектров отличается от обыкновенного бунзеновского, превосходного, пока дело касается спектров раскаленных газов, но неприменимого для обозначения поглощения света цветными средами, так как изображаемые величины, т.-е. высота и чернота бугорков, совершенно произвольны (см. спектры хлорофилла у Аскенази и растворов солей дидима у Бунзена).

Полученные данные обозначаются следующим образом. Принимая деления микрометра за абсциссы, толщину слоя жидкости за ординаты, соединяя все наблюдения одною кривою и зачернив всю часть рисунка под кривой, — получим изображения, приведенные на таблице II и дающие точное понятие о поглощении света испытуемою жидкостью [2]). Для наглядности можно себе представить, что каждый подобный чертеж изображает в плане четвероугольный сосуд, в 5 центиметров шириною и 8 длиною, наполненный раствором испытуемой жидкости. На переднюю (в плане верхнюю) стенку этого сосуда отброшен спектр, светлые языки означают глубину, на которую лучи различной преломляемости проникают в жидкость.

Как видно, красные лучи пронизывают всю толщу этого слоя и, судя по наклону абсорбционной линии, вероятно, проникают далее еще на такое же расстояние.

Первый рисунок на таблице II изображает полученный подобным образом спектр спиртового раствора хлорофилла. Он состоит (согласно описанию вышеприведенных авторов) из четырех темных полос, за которыми, с линии F или b, смотря по концентрации, начинается сплошное поглощение голубых, синих и прочих лучей. Совершенно сходные спектры получены мною при исследовании различных растений: злаков, шпината, ежевики, плюща. Единственная, быть может, подверженная колебанию часть спектра это третья черта (слева); она представляется с различною степенью ясности, но тем не менее встречается во всех исследованных мною спектрах. Это различие, может быть, объясняется тем обстоятельством, что она вообще менее явственна, чем остальные. Свежие листья, в особенности такие, в которых воздушные полости инъектированы водой, вследствие чего они становятся прозрачнее, представляют спектры, соответствующие растворам слабой концентрации. Следовательно, не подлежит сомнению, что извлечение хлорофилла спиртом не подвергает его изменению, по крайней мере в оптическом отношении. Точно также не подвергает его изменению осаждение водным глиноземом и вторичное растворение в спирте [3]), т.-е. прием, употребляемый Фреми для получения чистого хлорофилла.

---

[1]) Для достижения полной точности в изображении спектров желательно было бы, кроме положения и ширины полос, обозначать их относительную черноту и ясность промежутков. Для этого я воспользовался фотометрическим приемом, описанным недавно Фирордтом (Pogg. Ann. 1869, 8). Прием этот заключается в следующем. Ослабляя напряжение источника света, освещающего микрометр спектроскопа, достигают момента, когда он перестает быть видимым на поле спектра. Этот момент для различных частей спектра наступает ранее или позднее. Таким образом, напр., на резкой черной линии в красной части спектра, светлые линии микрометра перестают быть видимыми гораздо позже, чем на остальных. Для ослабления света Фирордт употреблял систему дымчатых стекол, но подобные стекла хорошего достоинства довольно редки и во всяком случае представляют то неудобство, что ослабляют свет скачками. Я пробовал заменить их раствором китайской туши с аравийской камедью. Подобный раствор, неоднократно профильтрованный, не образует более осадка и может вполне заменить дымчатые стекла, с тем преимуществом, что при употреблении его в приборе, сходном с описанным, можно увеличивать слой, а следовательно и ослаблять свет с желаемою постепенностью.

Понятно, что при этих и вообще при всех сравнительных наблюдениях источник света и ширина щели спектроскопа должны быть по возможности одинаковы. Считаю не лишним упомянуть здесь о приеме, который я употребляю для измерения ширины щели, так как мне не случалось встретить указаний на него. С этою целью щель из вертикального приводится в горизонтальное положение, а микрометр, наоборот, из горизонтального—в вертикальное. Тогда в поле зрения получается увеличенное изображение щели, перекрещиваемое скалой микрометра.

[2]) Подобный способ обозначения был, если не ошибаюсь, в первый раз употреблен И. Мюллером (Pogg. Ann. 1847).

[3]) Вообще во всем следующем изложении под нормальным раствором хлорофилла разумеется спиртовая вытяжка, выпаренная, обработанная горячей водой для извлечения желтоватого или бурова:ого, растворимого в воде вещества, обыкновенно сопровождающего хлорофилл, и снова растворенная в спирте или эфире. Как сказано, лак, получаемый осаждением водным глиноземом, дает растворы нормального хлорофилла. Высушенный лак уже не уступает всего хлорофилла спирту и скоро буреет, изменяется, даже в темноте.

При этом способе наблюдения обнаруживаются различия, ускользающие от точного определения при наблюдении спектров только средней концентрации или средней толщины слоя. Следующий пример лучше всего пояснит сказанное. Хлорофилл нормальный и хлорофилл, измененный действием солнечного света, ясно различаются по цвету: первый—зеленый, второй—бурый; но абсорбционные полосы одне и те же (спектр III т. I); все различие заключается в их ширине или большей или меньшей ясности светлых промежутков, что становится понятным из сравнения первого и второго рис. второй таблицы.

Прежде чем перейти к исследованию ближайших составных начал и продуктов изменения хлорофилла, скажу несколько слов о возможности количественного определения этого вещества посредством спектрального анализа. Если определение абсолютных количеств станет возможным только тогда, когда хлорофилл будет получен в химически-чистом виде, когда будет известен его элементарный состав, то определение относительных количеств, весьма любопытное в физиологическом отношении, становится возможным уже в настоящее время. На возможность подобного количественного определения указал Аскенази (на основании количественных определений пигментов крови, сделанных Прейером), но это заключение было преждевременно, потому что на основании данных, которыми обладал Аскенази, строгое количественное определение было невозможно.

Возможность количественного определения основывается на следующем положении. *Равные объемы растворов, дающие при одинаковом напряжении света и одинаковой толщине слоя одинаковые спектры, содержат равные количества вещества.* Откуда, при прочих равных условиях, количества данного вещества, содержащиеся в растворе, прямо пропорциональны объему раствора и обратно пропорциональны толщине слоя. Измеряя то или другое, или то и другое вместе, получим меру для относительных количеств вещества.

Эти прочие равные условия будут: равное напряжение света и равенство спектров.

Первое условие будет выполнено при равной ширине щели и одинаковом напряжении источника света, второе вполне достигается непосредственным сличением спектров в том же спектроскопе. Но если измерение ширины щели достигается весьма просто, то получение источника света постоянного, определенного напряжения составляет задачу, еще не разрешенную физиками.

Впрочем при непосредственном сличении спектров не представляется необходимости в подобном источнике; для избежания его необходимо только иметь постоянный, *неизменяющийся* нормальный раствор, который будет служить единицей или эталоном. Если невозможно получить подобный *неизменяющийся*, нормальный раствор, то и самый способ количественного определения становится невозможным. Это обстоятельство, т.-е. невозможность получения источника света определенного напряжения, а за отсутствием его необходимость в нормальном растворе для сравнения, упущено из виду всеми исследователями, предлагавшими спектральный анализ для количественных определений.

Для хлорофилла возможность получения постоянного раствора представлялась в высшей степени невероятною, так как известна легкая изменяемость хлорофилла под влиянием света. Растворы хлорофилла, даже сохраняемые в темноте, утрачивают зеленый цвет, а с тем вместе изменяется и спектр. По счастью это непостоянство вполне устраняется сохранением растворов в отсутствии воздуха. Спиртовой раствор, запаянный в стеклянной трубке после продолжительного кипячения, сохраняется, не изменяясь, неопределенное время, *даже на солнце* [1]). Таким образом возможность количественного определения путем спектрального анализа не подлежит сомнению; остается только испытать его чувствительность и избрать наиболее удобный прием для измерения.

Первый испытанный мною способ отделения ближайших основных начал хлорофилла был первый способ Фреми, как простейший.

Как было сказано выше, взбалтывая хлорофилл со смесью хлористо-водородной кислоты и эфира, удается разделить его на две составные части, располагающиеся в два слоя: верхний, эфирный, золотисто-желтый, и нижний—кислотный, сине-зеленый или

[1]) Привожу самое убедительное из сделанных мною наблюдений. Спиртовой раствор хлорофилла, запаянный в стеклянной трубке в августе 1869 г., в Гейдельберге, сохранил, нисколько не изменяясь, свой зеленый цвет до июля месяца 1870 года. Во время необыкновенно знойных и ясных дней, стоявших в это время в Париже, трубка эта была неоднократно выставляема на несколько часов на солнце без всяких последствий. Затем кончик трубки был отломлен под ртутью, чтобы убедиться в отсутствии воздуха, и открытая трубка снова выставлена на солнце. По прошествии десяти минут раствор заметно побурел. В других трубках, не выдержавших этой пробы, оказался воздух. Любопытно, что эфирные растворы постояннее—даже в присутствии воздуха в запаянной трубке они долгое время сохраняют свой цвет на солнце.



почти синий. Первый содержит, по Фреми, раствор его филлоксантина, второй—филлоцианина. Спектры обоих растворов (при слабых и средних концентрациях) сходны между собою и с хлорофиллом, с тем существенным различием, что филлоцианин пропускает более синих лучей, чем хлорофилл. Насыщая кислый раствор щелочью или мрамором и взбалтывая с эфиром, можно получить средний эфирный раствор филлоцианина (филлоксантеин Фреми), который будет уже не синего, а бурого цвета. Это изменение цвета при насыщении всего лучше наблюдать при насыщении мрамором; тогда образуется три слоя: нижний—бесцветный слой хлористого кальция, средний—кислый раствор филлоцианина, и верхний—слой эфира. Пояс филлоцианина становится все уже и уже, при чем принимает все более и более высокий синий цвет; наконец, наступает момент, когда вся кислота насытится и филлоцианин почти мгновенно растворяется в эфире, сообщая ему описанный бурый цвет.

Полученный таким образом средний эфирный или спиртовой раствор филлоцианина (филлоксантеин Фреми) отличается сильной красной флуоресценцией; спектр его (при средней концентрации) представляет все абсорбционные линии хлорофилла и еще одну в синей части (следовательно сходен со спектром V таб. I), которая в хлорофилле вероятно маскируется филлоксантином. Кроме того, все линии гораздо резче выделяются на более ясном поле. Таковы оптические свойства *филлоцианина.*

Обратимся теперь к ярко-желтому эфирному раствору *филлоксантина.* Раствор этот представлеет значительную флуоресценцию и спектр, сходный со спектром среднего раствора филлоцианина за исключением обильного поглощения голубых и синих лучей. Таким образом, или оба эти тела, на глаз совершенно различные, представляют одинаковые спектры и флуоресценцию, или одно из них содержит примесь другого [1]). Зная, с одной стороны, что филлоксантин нерастворим в соляной кислоте (что обнаруживается тем, что при растворении хлорофилла в соляной кислоте остаются нерастворимые желтые клочья), а с другой, что филлоцианин растворим в обеих жидкостях, можно было заключить, что филлоксантин содержит примесь филлоцианина, а не наоборот. Это предположение вполне оправдалось. Взбалтывая желтый, эфирный раствор филлоксантина с новым количеством хлористо-водородной кислоты, можно было приметить окрашивание ее в зелено-голубой цвет; одновременно с тем в спектре филлоксантина замечалось постепенное исчезание абсорбционных линий, вместе с чем утрачивалась способность флуоресцировать. Наблюдение это производилось со всею желаемою точностью перед спектроскопом. Для этого я брал трубку с краном; спуская постоянный слой кислоты и добавляя испарявшийся или растворявшийся в кислоте эфир так, чтобы сохранять неизменным объем, а следовательно, и концентрацию филлоксантина, можно убедиться, что при повторной обработке соляной кислотою желтое вещество, нисколько не изменяясь, уступает кислоте филлоцианин.

Но так как филлоцианин растворим в обеих жидкостях, то здесь происходит явление разделения тела между двумя растворителями, явление, превосходно изученное недавно Бертло, и потому понятно, что этим способом невозможно извлечь весь филлоцианин; и действительно, самый чистый филлоксантин, приготовленный таким способом, представляет следы линии в красной части спектра и слабую флуоресценцию.

Для того, чтобы убедиться, что эти следы абсорбционной линии могли зависеть от примеси, я приготовил раствор *филлоксантеина* соответствующей концентрации, т.-е. с абсорбционной линией соответствующей ширины; оказалось, что этот раствор был до того бесцветен, что, только поставив его рядом с водою, можно было заметить, что он окрашен; несмотря на то он заметно флуоресцировал. Таким образом, раствор *филлоксантеина*, настолько слабый, что он не способен изменить оттенок другого цветного раствора, способен сообщить ему заметную черту в спектре и флуоресценцию.

Этих фактов уже было достаточно, чтобы заключить, что *оптически-чистый* [2]) *филлоксантин не представляет ни линии поглощения, ни флуоресценции.* Чистый филлоксантин также *не представляет синего окрашивания с кислотами,* как полагают Фреми, Фильоль и пр.—эта реакция только служит признаком присутствия *филлоксантеина.*

Таким образом, спектр хлорофилла (или вернее, хлорофилла, измененного кислотой) будет сложный, происшедший чрез наложение спектра филлоксантина на спектр филлоксантеина (см. спектры III, IV и V, таб. I).

Итак хлорофилл, при обработке его кислотой и эфиром, распадается на два оптически различные тела. Но заключать из этого, что это *действительные* и *единственные* ближайшие составные начала хлорофилла, как сделал Фреми, было бы преждевременно.

[1]) Достойно удивления, как мало внимания обратили на это обстоятельство Аскенази, Микели, Шён, Луневский и пр.

[2]) Я буду употреблять это выражение, не считая себя в праве употреблять выражение: химически-чистый.

Мнение Фреми, что кислый раствор филлоцианина и эфирный раствор филлоксантина, смешанные, при прибавлении спирта снова образуют хлорофилл, — неверно; во-первых, цвет вовсе не прежний изумрудно-зеленый, а синевато-зеленый, и раствор необходимо должен содержать небольшой избыток кислоты, при уравнении которой принимает бурый

Таблица I.

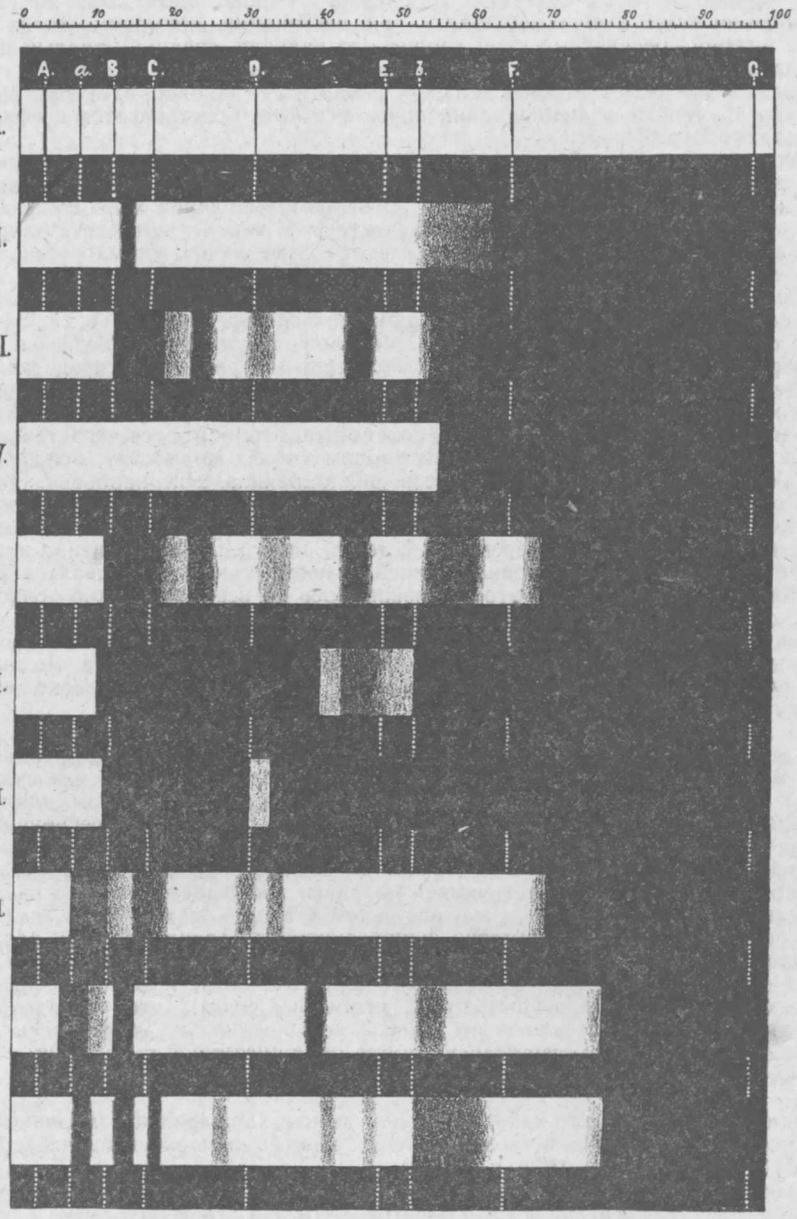



Рис. 2.
См. стр. 216 и 217.

цвет, т.-е. тот, который он получает от первых капель кислоты. Этого соображения достаточно, чтобы убедить, что тела, которые Фреми называет филлоцианином и филлоксантеином, не *действительные*, ближайшие составные части хлорофилла, а продукты изменения, вызванные действием кислоты.



Что означенные два тела не *единственные* составные начала хлорофилла, ясно из следующего опыта. Известно, что кислые, синие растворы хлорофилла могут быть осаждены или уравнением кислоты, как выше описано, или разбавлением ее водою. Неоднократно было указано на то, что осадок в том и другом случае различен: в первом он клочковатый, оседающий на дно, во втором—мелкий, легкий, взвешенный в жидкости [1]). Я сделал опыт, чтобы убедиться, действительно ли осадок в том и другом случае будет одинакового состава, но различной консистенции. Осадив концентрированный раствор водою, я затем уравнил профильтрованный, почти бесцветный раствор и получил обильный клочковатый, почти бесцветный осадок; повторным осаждением получился совершенно бесцветный осадок.

Не имея этого тела в достаточном количестве, я не могу еще прийти ни к каким заключениям о его природе. Замечательна его легкая растворимость в кислотах и щелочах; ничтожного избытка щелочи при уравнении кислого раствора, достаточно, чтобы снова растворить образовавшийся осадок. Он растворим и в спирте, но при неизвестных мне условиях, и со временем теряет способность растворяться в спирте и кислотах. Этим, вероятно, объясняется факт, описанный, как мы видели выше, Берцелиусом и Моро, что хлорофилл, осажденный из спиртового или кислого раствора, становится отчасти нерастворимым в этих жидкостях.

Филлоксантеин, полученный тем или другим путем, т.-е. уравнением или осаждением водой, представляет те же оптические свойства.

Как бы то ни было, из приведенного факта можно вывести два важных заключения. Во-первых им доказывается окончательная бесполезность произведенных до сих пор элементарных анализов; исследователи, получавшие свой *чистый хлорофилл* уравнением или осаждением водою, анализировали совершенно различные тела. Этим, быть может, объяснятся противоречия относительно содержания азота. Мульдер и Моро, осаждавшие мрамором, нашли азот. Пфаундлер, осаждавший горячей водой, не нашел его. Быть может, найденный азот принадлежит не пигменту, а описанному бесцветному телу. Второе заключение, которое можно вывести из этих фактов, то, что содержание в растении собственно хлорофилла, т.-е. пигмента, столь ничтожное по оценке некоторых исследователей [2]), должно быть в сущности еще менее, так как бо́льшая часть вещества, принимавшегося за хлорофилл, состояла из описанного бесцветного вещества.

Итак, мы видим, что тела Фреми не единственные составные части хлорофилла и что филлоцианин не действительное ближайшее начало хлорофилла, присутствующее в нормальном растворе или в самих растительных органах.

Это тело бурого цвета,—то же тело, которое находится в растении, должно быть зеленое в средних растворах, т.-е. должно так же относиться к нормальному хлорофиллу, как филлоксантеин относится к хлорофиллу, измененному кислотой.

Но выражения бурый, зеленый, которыми мы до сих пор характеризовали эти два видоизменения хлорофилла, весьма неопределенны. Кроме того, мы видим, что и самые спектры сходны; бо́льшая или меньшая чернота линий, бо́льшая или меньшая ясность промежутков не могут служить для точной оптической характеристики тела.

Простейшего размышления, однако, достаточно, чтобы убедить, что тела, представляющие резкое различие в цвете для невооруженного глаза, должны представить не менее резкие различия при исследовании их спектров, лишь бы их сравнивали при концентрации или толщине слоя, при которых различие наиболее очевидно [3]). И действительно, сравнивая очень концентрированные растворы хлорофилла, нормального и измененного кислотами, можно убедиться, что спектры их совершенно различны: первый представляет светлую красную полосу и две зеленые, отделенные узким промежутком; второй—более широкую, красную, и узкую, но очень явственную, желтую, несколько правее линии D (см. спектры VI и VII таб. I). Но еще нагляднее различие это обнаруживается исследованием этих тел при различной толщине слоя. Рис. 1 и 2 таб. II представляют поглощение света растворами нормального хлорофилла и хлорофилла, измененного действием кислот.

Определив подобным же образом поглощение света филлоксантином и филлоксантеином, получим изображения рис. 3 и 5 таб. II, наглядно показывающие, что от смешения этих двух тел может произойти тело, изображенное на рис. 2, но ни в каком случае не нормальный хлорофилл, изображенный на рис. 2.

---

[1]) Осадок в первом случае бурого цвета; во втором — зеленовато-синего, потому что осаждается из кислой жидкости; тщательно промытый водой, вопреки показаниям некоторых исследователей, он также бурого цвета.

[2]) По Берцелиусу, все содержание хлорофилла в целом дереве не превышает нескольких граммов; по Моро, и это количество преувеличено.

[3]) Напр., очень слабые растворы того и другого будут почти одинакового желтоватого цвета.

Искомая, неизмененная составная часть хлорофилла должна иметь спектр, который относился бы к спектру нормального хлорофилла, как спектр филлоксантеина относится к спектру измененного хлорофилла.

Вот те главные результаты, к которым приводит исследование хлорофилла по первому способу Фреми. Он, очевидно, не дает ближайших составных начал хлорофилла, а продукты изменения; кроме того, этим путем нельзя получить чистого филлоксантина.

Второй способ Фреми, как известно, заключается в осаждении спиртового раствора хлорофилла баритом, причем получается превосходный зеленый осадок, уступающий при обработке алкоголем *филлоксантин*, но удерживающий другое, зеленое начало. Трех, четырех обработок алкоголем достаточно, чтобы извлечь весь филлоксантин, при чем нерастворимый осадок получает более изумрудный оттенок вследствие удаления желтого начала. Уже при осаждении заметно, что осадок не однообразный, а состоит из двух: более тяжелого, порошковатого, зеленого, и клочковатого, желтого; первоначально осаждается первый, а затем и второй, повидимому, вследствие разбавления алкоголя баритовой водою.

Желтый раствор, если хлорофилл был вполне осажден, представляет чистый филлоксантин, без следов абсорбционных линий или флуоресценции. В противном же случае, он может быть получен в чистом виде повторным осаждением и растворением. Таким образом получаются значительные количества этого вещества. Спектр его изображен на таб. II рис. 4, закон поглощения—на таб. II рис. 3. Характеристична выемка между 70 и 80 делениями микрометра, которая видна и на спектре хлорофилла (рис. 1 таб. II).

Таблица II.

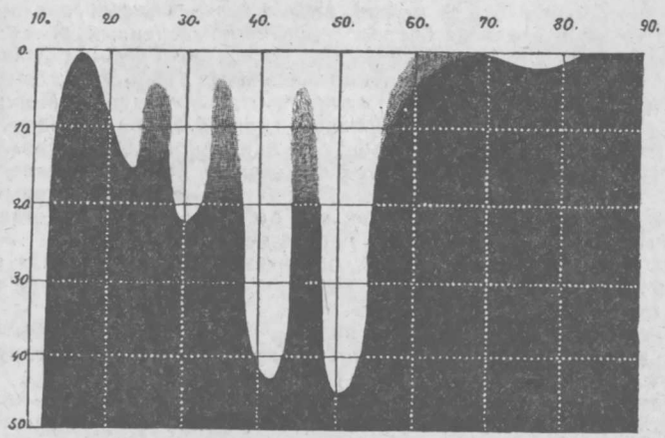



Рис. 1. Хлорофилл (нормальный).

Баритовый осадок промывается алкоголем, пока алкоголь окрашивается, и затем разлагается серной кислотой. Полученный синий раствор осаждается водой, но не вполне—водяной раствор сохраняет высокий синий цвет с красной флуоресценцией [1]). Осадок промывают водой и растворяют в алкоголе.

Судя по первому способу разложения хлорофилла, можно бы ожидать, что здесь происходит подобное же распадение, что спиртовой раствор содержит филлоксантеин, но уже самый цвет раствора указывает, что полученное тело отличается от него. Вместо золотисто-бурого цвет его каштаново-бурый. Это тело названо Фреми *филлоциановой* кислотой, но он нигде не говорит, считает ли его тождественным с *филлоцианином*, полученным по первому способу.

Спектр его резко отличается от спектра хлорофилла или филлоксантеина (см. спектр IX таб. I). Вместо одной линии в красной части спектра являются две, лежащие одна правее, другая левее линии хлорофилла; линии в оранжевой части недостает, линия при D очень слабо выражена (при толщине слоя, изображенной на спектр IX, ее еще не видно), линия между D и E гораздо чернее и шире, чем в хлорофилле, наконец, абсорбционная линия при F очень слабо выражена. Следовательно, это тело, по спектру совершенно отличное от филлоксантеина.

Но этот спектр легко превратить в спектр филлоксантеина, стоит прилить несколько капель щелочи. Изменение особенно быстро происходит при взбалтывании жидкости, при чем, быть может, происходит поглощение кислорода.

Превращение спектров можно наблюдать перед самым спектроскопом. Явление это весьма любопытно; оно происходит следующим образом: к существующим уже линиям (спектр IX) присоединяются новые (напр., в красной части спектра появляются

[1]) Аскенази и Микели отрицают существование *синих* растворов — описываемый раствор лазурно-синего цвета, без малейшего зеленого оттенка. Этот раствор, при синем цвете, обладает превосходною красною флуоресценциею.



три: две уже существовавшие начинают раздвигаться и в промежутке появляется третья, см. спектр X); старые стушевываются, как бы тают, новые растут, и, наконец, получается спектр V. Всего долее сохраняются следы первой линии в красной части; следы ее мне случалось видеть и в филлоксантеине, полученном по первому способу.

ТАБЛИЦА II.

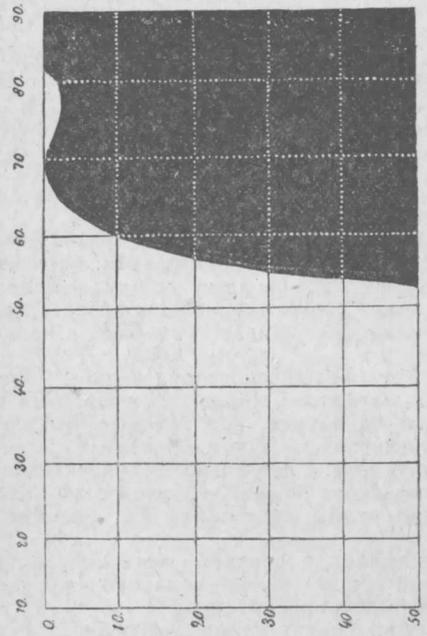



Рис. 3. Ксантофилл.

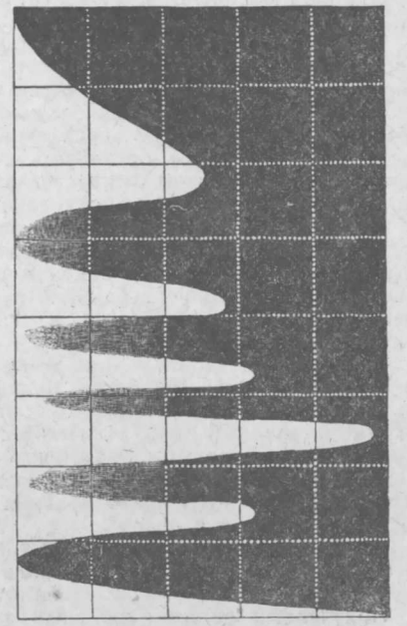



Рис. 5. Филлоксантин.

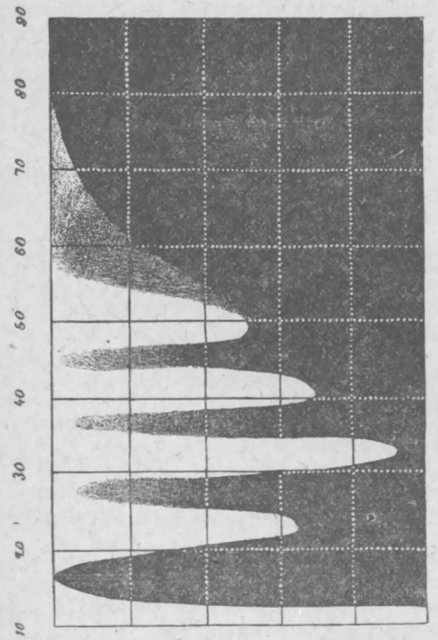



Рис. 2. Хлорофилл (инсолированный).

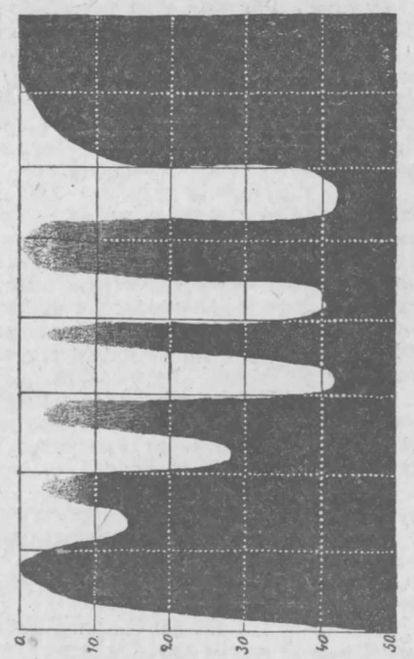



Рис. 4. Хлорофиллин.

Итак филлоксантеин и филлоциановая кислота различаются между собою, но могут взаимно превращаться, или, вернее, филлоциановая кислота Фреми способна, при

действии щелочей, превращаться в тело, оптически сходное с филлоксантеином. По мнению Фреми, хлорофилл--сочетание филлоциановой кислоты с филлоксантином. Приведенные факты, повидимому, благоприятствуют предположению, что это тело—кислота, но противоречат предположению, что эта кислота образует сочетание с филлоксантином. В самом деле, предположим, что это кислота; тогда спектр с двумя чертами будет спектр свободной кислоты, а спектр филлоксантеина, получающийся при действии щелочи, будет спектр ее соединений, солей и проч.

Как бы то ни было, второй способ Фреми еще менее первого дает возможность получить ближайшие составные части хлорофилла в неизмененном виде, т.-е. со всеми физическими свойствами, с которыми они встречаются в хлорофилле.

Первая, очевидная причина изменения заключается, как и в первом способе, в употреблении энергических минеральных кислот. Из опытов Берцелиуса и Фильоля оказывается, что некоторые органические кислоты, напр. уксусная, не действуют так, как минеральные кислоты или щавелевая, или, выражаясь точнее, действуют менее энергично, так что нужен известный избыток, чтобы вызвать это явление.

Ясно, что для разложения баритового осадка следовало употребить органическую, уксусную или винную кислоту. Для этого я поступал следующим образом: баритовый осадок разлагал раствором гидрата кали; получился превосходный изумрудно-зеленый раствор, с красной флуоресценцией и спектром нормального хлорофилла с пятой линией в синем [1]). Полученный раствор я сливал в стеклянный цилиндр с пробкой и наливал сверху слой эфира.

Несмотря на взбалтывание, эфир нисколько не окрашивался, пока жидкость сохраняла щелочную реакцию. Затем приливая каплю за каплей кислоту, я уравнивал щелочь. С последней каплей кислоты, насыщающей основание, все красящее вещество переходит в эфирный слой, а нижний слой обесцвечивается. Таким образом избегается вредный избыток кислоты. Растворимость зеленого тела в щелочи весьма значительна—одной капли достаточно, чтобы снова перевести его в нижний, водяной слой. Таким образом капли кислоты или основания достаточно, чтобы переводить все вещество из одного растворителя в другой.

При насыщении щелочи, обыкновенно всплывает в верхней части водянистого слоя бесцветное вещество в виде пленок, остающихся на границе водяного и эфирного слоев. Быть может, это то же вещество, которое было описано выше.

Полученный *средний* эфирный раствор превосходного изумрудного цвета, более высокого, чем цвет хлорофилла, так как из последнего выделено ярко желтое тело—филлоксантин. Раствор этот обладает флуоресценцией в высшей степени, чем сам хлорофилл, что также объясняется отсутствием филлоксантина, который, не флуоресцируя сам, должен ослаблять флуоресценцию. Наконец, спектр его—спектр хлорофилла, с тем только различием, что он представляет еще пятую абсорбционную черту в синей части спектра [2]), которая в хлорофилле маскируется филлоксантином. Подробное исследование спектра, при различной толщине слоя, обнаружило полнейшее сходство, так что оба изображения (т.-е. описываемого тела и филлоксантина, рис. III и IV), наложенные одно на другое, дают спектр хлорофилла.

Итак, полученное тело, без сомнения, та искомая составная часть, которой хлорофилл обязан своими характеристическими оптическими свойствами, и получена она в неизмененном виде. Я предлагаю назвать это тело *хлорофиллином*.

Следовательно, хлорофиллин относится к хлорофиллу так же, как филлоксантеин к хлорофиллу, измененному кислотами. Почти излишне говорить, что хлорофиллин при действии кислот превращается в филлоксантеин, т.-е. от нескольких капель теряет зеленый цвет, от избытка кислот принимает сине-зеленый, который при уравнении переходит в бурый, свойственный филлоксантеину. Таким образом действием кислот утрачивается зеленый цвет хлорофиллина.

Но полученные описанным образом растворы хлорофиллина, эфирные или спиртовые, весьма непостоянны. По прошествии нескольких часов или суток спектр, а вслед за тем и цвет их, начинает изменяться. Они уже не представляют прежнего яркого зеленого, а в толстом слое яркого красного цвета и роскошной флуоресценции [3]). Конеч-

[1]) Растворение в едком кали нужно потому, что разложение осадка кислотой не идет успешно ни в воде, ни в алкоголе, так как филлоциановая кислота нерастворима в воде, а баритовая соль—в алкоголе.

[2]) При очень сильном освещении замечается еще minimum черноты между 80 и 90 делениями хлорофилла.

[3]) В присутствии ничтожного количества щелочи растворы эти сохраняются долее. По всей вероятности, изменение вызывается атмосферной углекислотой.

Подобное же явление замечается относительно гемоглобина, который в присутствии щелочи сохраняется долее, но все-таки переходит в *метгемоглобин*, по Гоппе-Зейлеру, или смесь гемоглобина и гематина, по Кюну.



ным продуктом является тело, стоящее по своему спектру в таком же отношении к хлорофиллину, в каком филлоциановая кислота находится к филлоксантеину, т.-е. характеризующееся главным образом двойной линией в красной части спектра (см. спектр VIII, таб. I). Сходство это увеличивается еще тем, что нескольких капель щелочи достаточно, чтобы превратить его спектр обратно в спектр хлорофиллина, точно так же как спектр филлоциановой кислоты превращается в спектр филлоксантеина. Я буду называть его в дальнейшем изложении *хлорофиллеином*, хотя, как будет сказано ниже, насчет этого тела, как и насчет филлоциановой кислоты, имею некоторыя сомнения; весьма возможно, что и то и другое окажется смесью двух тел [1]).

Для выражения аналогии между описанными четырьмя телами я предложил бы переименовать *филлоксантеин* Фреми в *филлоксантин* (оставив за филлоксантином прежнее название Берцелиуса — *ксантофилл*), а *филлоциановую* кислоту, ввиду того, что это название совершенно неправильно, так как тело это не синее,—назвать *филлоксантеином*. Тогда все описанные тела можно выразить в следующей схеме.

Хлорофилл.

| | | |
|---|---|---|
| **Хлорофиллин** превращается в разлагаясь, образует | **филлоксантин.** разлагаясь, образует | **Ксантофилл.** |
| **Хлорофиллеин** „ | „ **Филлоксантеин.** | |

В дальнейшем изложении я так и буду называть эти тела.

Тела, стоящие в одном вертикальном ряду,—сходного цвета, зеленые или бурые. Тела, стоящие в одном горизонтальном ряду, имеют аналогичные спектры [2]).

Ведь до сих пор описанные различными исследователями продукты распадения хлорофилла сводятся или на эти пять тел, или на их смеси между собою и с описанным выше бесцветным веществом. Таким образом становится возможным провести синонимику в этом хаосе зеленых, желтых, бурых, синих, черных и проч. тел, которыми изобилуют все работы по хлорофиллу (см. в особенности работы Берцелиуса, Моро и Фильоля).

Будут ли хлорофиллин и хлорофиллеин те два зеленые тела, о которых упоминает Стокс, нельзя решить, по скудности сообщаемых им данных.

Полагая, что легкая изменяемость хлорофиллина обусловливается действием хотя и слабых кислот, я старался заменить их еще слабейшими или придумать способ отделения хлорофиллина от ксантофилла, вовсе не прибегая к кислотам.

Раствор в едком кали я с этой целью разлагал, пропуская струю углекислоты [3]). Углекислые щелочи растворяют хлорофиллин, но в меньшей степени, чем гидрат, почему этим путем можно, взбалтывая с эфиром, получить только часть зеленого тела, состоящую, как оказалось, из смеси хлорофиллина и хлорофиллеина.

Затем я пробовал разлагать баритовый осадок сернокислым натром. При нагревании с раствором этой соли часть осадка становилась растворимой в алкоголе и в воде и состояла из смеси обоих зеленых тел.

Убедившись, что всеми этими путями получается или хлорофиллин, весьма непостоянный, или прямо смесь хлорофиллина и хлорофиллеина, и полагая, что это изменение вызывается осаждением баритом, я стал приискивать способ разделения хлорофиллина и ксантофилла без осаждения баритом.

[1]) Нормальный хлорофилл Берцелиуса, без всякого сомнения, состоял из *хлорофиллеина* или смеси хлорофиллина и хлорофиллеина. Это можно заключить из способа получения, а также из выражения: Diese Lösung zeigt sich beim Durchsehen im Feurschein *nicht roth* (Pogg. Ann. 1838, 300 стр.). Растворы хлорофиллеина действительно не представляют в толстом слое того превосходного красного цвета, который свойствен хлорофиллу и хлорофиллину. По этому признаку и по уменьшению флуоресценции можно безошибочно, не прибегая к спектроскопу, заметить начало разложения хлорофиллина. Явление это понятно, потому что хлорофиллеин, а особенно смесь его с хлорофиллином, поглощает почти все красные лучи, пропуская только самые крайние, тусклые лучи около линий A.

[2]) Нельзя не заметить аналогии между этими четырьмя телами и телами, получающимися из пигментов крови:

Оксигемоглобин — Гемоглобин.
Гематин — Гемохромоген.

[3]) Баритовый осадок отчасти разлагается углекислотой, но реакция не идет удобно ни в воде, ни в спирте, почему нужно переменять эти жидкости, чтобы растворять зеленое тело, которое и оказывается смесью хлорофиллина и хлорофиллеина.

Всевозможные сочетания растворителей, мною испробованные, оказались безуспешными [1]). Дробное осаждение водным глиноземом также не дало удовлетворительных результатов. Тогда я снова начал пробовать действие щелочей. В спиртовом растворе хлорофилла растворяется немного едкого кали, отчего хлорофилл нисколько не изменяется. Затем раствор выпаривается досуха; остаток растворяется в смеси воды и эфира, взбалтывается и оставляется на несколько часов отстояться. По прошествии этого времени, слои отделяются начисто: верхний, эфирный, золотисто-желтый, содержит ксантофилл; нижний, щелочный, зеленый или, при значительной концентрации, красный, содержит хлорофиллин. В верхней части зеленого слоя всплывает какое-то более густое вещество, образующее темный непрозрачный пояс между двумя жидкостями [2]). Эфирный слой декантируется, наливается новое количество эфира, снова взбалтывается и оставляется на несколько часов; эта операция повторяется до тех пор, пока эфир перестанет окрашиваться. Тогда с зеленым щелочным раствором, для получения из него хлорофиллина, поступают следующим образом. К нему приливают концентрированного раствора хлористого аммония и слегка нагревают. В уравненной таким образом жидкости осаждаются зеленые хлопья; их собирают на фильтре и промывают сначала концентрированным раствором хлористого аммония, потому что оставшихся следов аммиака было бы достаточно, чтобы снова растворить их, а затем — водою. Промытый осадок растворяется в спирте или эфире. Но и этот раствор редко содержит чистый хлорофиллин, а в большей части случаев—смесь его с хлорофиллеином; до сих пор мне не удалось уловить условия образования этого последнего.

Наконец, последний испробованный мною способ получения хлорофиллина, без содействия кислот, основывался на любопытном свойстве его выделяться из насыщенного раствора едкого кали. Для получения его этим путем на промытый эфиром щелочной раствор наливается слой эфира и прибавляется едкого кали в кусках. По мере насыщения раствора зеленое тело переходит в эфир, и полученный раствор представляет все свойства хлорофиллина, *за исключением флуоресценции*. Раствор, совершенно прозрачный при проходящем свете, при падающем представляется мутным. Кроме того, этот эфирный раствор осаждается алкоголем и водою.

Итак, ни один из описанных способов не дает *постоянного* хлорофиллина, хотя вещество это, при первоначальном получении, представляет все физические свойства хлорофилла, но очевидно его внутреннее строение потрясено и оно лишилось прежней прочности. Всего естественнее предположить, что основания, щелочи или барит, разлагают хлорофиллин, вступая с одной из составных его частей (хлорофиллеином?) в соединение [3]) и выделяя другую; а по насыщении их кислотой составные части хлорофиллина снова соединяются, вполне или отчасти, но уже не так прочно, как прежде. Но какая же будет та предполагаемая, неизвестная часть хлорофиллина?

Ввиду этой легкой изменчивости хлорофиллина любопытно было изучить в этом отношении филоксантин. Мы видели, что поступая по второму способу Фреми, получаем прямо филлоксантеин (т.-е. филлоциановую кислоту Фреми), а не филлоксантин, или смесь того и другого. Для того, чтобы убедиться в аналогии хлорофиллина и филлоксантина, и в этом случае я поступил с баритовым осадком так же, как при получении хлорофиллина, но разлагал хлористоводородною кислотою и получал иногда чистый филлоксантин, иногда смесь его с филлоксантеином. Филлоксантин, полученный по первому способу, осажденный баритом и разложенный кислотой, дал сходные результаты, т.-е. снова или филлоксантин, или смесь.

Таким образом, все способы получения хлорофиллина или филлоксантина, основанные на употреблении оснований, не дают удовлетворительных результатов. но для получения хлорофиллина до сих пор неизвестно иного способа,—филлоксантин же может быть получен по первому способу Фреми, не прибегая к действию оснований; впрочем и тогда, как было замечено выше, в нем иногда примечаются следы филлоксантеина, в виде едва приметной, узкой линии в крайней красной части спектра.

В настоящее время, следовательно, мы не в состоянии объяснить, в чем заключается превращение хлорофиллина в хлорофиллеин и филоксантина в филоксантеин. Как было замечено выше, самое существование этих последних, т.-е. хлорофиллеина и филлоксантеина как самостоятельных тел, может быть подвергнуто сомнению; быть может, они в свою очередь окажутся смесями. Поводом к этому предположению служит непостоянство их спектров, едва ли согласимое с постоянством состава, так, напр.,

---

[1]) Стокс говорит, что ему удалось разложить хлорофилл смесью сернистого углерода и алкоголя, но по моим наблюдениям сернистый углерод действует на подобие кислот, т.-е. получается не хлорофиллин, а филлоксантин.

[2]) Может быть, это то самое бесцветное вещество, которое неоднократно упоминалось выше.

[3]) Соединение, по спектру не отличающееся от хлорофиллина.



относительная величина двух полос в красной части спектра изменчива—то они равны, то преобладает та или другая. Весьма возможно, что этот спектр представляет сочетание двух простейших [1]).

Убедившись в существовании зеленого тела, хлорофиллина, настоящего ближайшего начала хлорофилла, убедившись в его превращении в филлоксантин при действии кислот, любопытно было воспроизвести обратную реакцию, т.-е. превратить филлоксантин в хлорофиллин, или, что все равно, измененный действием кислот хлорофилл—в нормальный зеленый.

Предшествовавшие исследователи, повидимому, считали это превращение, невозможным и хлорофилл, измененный кислотами, окончательно, безвозвратно измененным. Действительно, как мы видели, нормальный цвет хлорофилла не возвращается с удалением, т.-е. насыщением, кислоты. Никакими испытанными средствами не удалось получить из него вновь хлорофилла. Единственное исключение составляет нормальный хлорофилл Берцелиуса, но зато и получение этого тела представляет единственное непонятное место в его исследовании. Все три видоизменения хлорофилла, им полученные, были очевидно филлоксантин, так как все осаждены из соляной кислоты [2]); но первое видоизменение при продолжительном действии щелочей превращалось в зеленое тело, остальные же два не превращались, несмотря на все попытки. Филлоксантин при действии щелочей действительно не превращается в хлорофиллин, в чем я имел случай неоднократно убедиться. Каким образом получилось зеленое тело из первого видоизменения, решительно невозможно объяснить иначе, как случайною примесью соли железа (как увидим впоследствии) [3]).

Ознакомившись ближе со свойствами хлорофилла и продуктов его распадения, я пришел к тому убеждению, что различные черные, бурые и желтые тела, описанные Фильолем, не что иное, как смеси, в различных отношениях, *филлоксантина* с *ксантофиллом*. Наиболее чистый филлоксантин представляют те черные хлопья, которые Фильоль получал, осаждая хлорофилл щавелевой кислотой. Об этом теле Фильоль говорит, что при действии щелочей оно принимает оранжево-желтый цвет, переходящий на воздухе в оливковый, но именно таково действие щелочей на *филлоксантин*. Далее Фильоль говорит, что при действии щелочного раствора окиси цинка это тело превращается в превосходное зеленое, которое можно осаждать органическими кислотами. Указание было ясно до очевидности; реакция Фильоля давала возможность превратить обратно филлоксантин в хлорофиллин, или измененный кислотами хлорофилл в нормальный.

Предположение это оправдалось вполне. Реакция эта одна из самых любопытных, представляемых хлорофиллом. Ее можно произвести со спиртовым раствором измененного хлорофилла, с филлоксантином или филлоксантеином [4]). Реакцию всего удобнее производить в плоской фарфоровой чашке, чтобы иметь возможно бо́льшую поверхность прикосновения с воздухом. От прилития реактива жидкость мгновенно окрашивается в оранжево-желтый цвет, который почти немедленно превращается в оливковый, постепенно переходящий в более и более высокий зеленый. По прошествии десяти минут или четверти часа, вся жидкость принимает изумрудно-зеленый цвет, свойственный хлорофиллину; спектр оказывается тождественным. Отделение от щелочи можно произвести тремя описанными выше способами: уравнением ее кислотой или хлористым аммонием

---

[1]) Здесь неуместно было бы распространяться о фактах, убеждающих меня в возможности подобного предположения; замечу только, что при более внимательном исследовании, может быть, и самый спектр хлорофилла окажется не столь простым, каким представляется. Так, при известной *средней концентрации* растворов в средине главной абсорбционной линии, в красной части спектра, обнаруживается minimum черноты. Подобное явление можно объяснить только тем, что линия эта состоит из трех линий, налегающих одна на другую краями; этим объяснилась бы и ее замечательная чернота, сравнительно с остальными полосами хлорофилла и абсорбционными полосами других тел. Сказанного достаточно, чтобы показать, сколько новых вопросов возникает на каждом шагу и как поспешен приговор Микели, что спектроскоп не в состоянии принести пользы при изучении хлорофилла.

[2]) В первом случае кислый раствор осаждался водою и осадок был зеленого цвета от присутствия кислой жидкости (Берцелиус говорит, что выложенный на лакмусовую бумагу, он окрашивал ее), но по промывке водою и до обработки едким кали он должен был быть, как и остальные два, бурого цвета. При насыщении кислоты это изменение очевиднее, потому что вся жидкость буреет.

[3]) Впрочем, мы увидим далее, что этот факт может объясниться еще другим образом.

[4]) В последнем случае предварительно происходит изменение, сопровождающееся описанным выше превращением спектров.

или насыщением ее и взбалтыванием с эфиром. Итак, хлорофиллин и филлоксантин могут взаимно превращаться. С физиологической точки зрения было вопросом первой важности определить, в чем заключается эта реакция. Всего проще и естественнее предположить, что это восстановление и окисление. В самом деле, медленное превращение филлоксантина в хлорофиллин под влиянием щелочного раствора окиси цинка как бы указывает, что здесь происходит окисление насчет кислорода воздуха. Фильоль, повидимому, нисколько в этом не сомневается и прямо высказывает, что кислород воздуха поглощается, но не приводит тому доказательства. Доказать это можно двояким образом: или показав, что в отсутствии кислорода реакции не происходит, или получив ее путем несомненного окисления, т.-е. при действии окисляющих веществ. Но ни тем ни другим способом мне не удалось еще получить этого доказательства. Впрочем, ввиду экспериментальных трудностей, с которыми сопряжен первый способ доказательства, полученный отрицательный результат ничего еще не доказывает. Как убедителен был бы один положительный результат, так мало убедительны даже несколько отрицательных [1]). Что же касается до действия окисляющих веществ, то более энергические, как, напр., хлор, вовсе разрушали цветное тело, другие же, как, напр., перекись водорода и терпентинное масло, не оказывали вовсе действия. Азотная кислота, даже в самых слабых растворах, действует, как кислота, т.-е. не только превращает филлоксантин в хлорофиллин, но вызывает обратную реакцию. Впрочем, повторяю, эти отрицательные результаты, по моему мнению, не уничтожают еще возможности и даже вероятности окисления.

Но если эта реакция—окисление, то обратная должна быть восстановление. Таково действительно господствующее мнение. Берцелиус, Мульдер, Шульце, а за ними и Сакс, считают реакцию, при которой хлорофилл буреет, восстановлением. К сожалению, и это мнение не основано на фактических доказательствах. Обыкновенно приводят в доказательство тот факт, что смесь соляной кислоты с цинком уничтожает зеленый цвет хлорофилла, превращая его в желтый, но этот факт нисколько не убедителен, так как соляная кислота сама по себе оказывает то же действие. Дальнейшее действие, без сомнения, принадлежит водороду; оно заключается в постепенном уничтожении пигмента, что и обнаруживается в спектроскопе постепенным суживанием, как бы таянием, абсорбционных линий. В конечном результате получается совершенно бесцветная жидкость, в которой, вопреки многим исследователям [2]), никакими реактивами нельзя снова восстановить даже следов прежнего пигмента.

Ввиду этого обстоятельства любопытно было найти какое-либо восстановляющее средство, помимо соляной кислоты и цинка, при котором первоначальное действие водорода остается неизменным. Для этого как источник водорода я употребил едкое кали и цинк, но выбор этот был неудачен, так как продукт реакции (щелочной раствор окиси цинка) — то самое вещество, которое производит обратную реакцию; следовательно, одновременно происходят две диаметрально противоположные реакции. Тем не менее вначале можно было заметить изменение в цвете хлорофилла.

Сернистый аммоний и реактив Стокса дали отрицательные результаты.

Шульце утверждает, что глюкоза оказывает такое же действие, как водород, но, несмотря на многочисленные опыты, мне не удалось получить этой любопытной реакции.

---

[1]) Как уже неоднократно было замечено, количества вещества, с которыми приходится работать, можно сказать, почти невесомы, и поэтому количества кислорода, необходимые для окисления, так ничтожны, что при всех предосторожностях нельзя быть уверенным, что его не заключалось в испытуемых жидкостях и атмосфере.

Опыт я производил следующим образом: в коленчатой трубке с шариками помещались в одном шарике спиртовой раствор филлоксантина, в другом — раствор окиси цинка. Чрез весь прибор пропускался в продолжении получаса водород, проходивший пузырьками чрез обе жидкости. По прошествии этого времени, прибор был запаян и обращен. Пришедшие в прикосновение жидкости обнаружили зеленую реакцию, хотя, повидимому, не так скоро, как на воздухе.

[2]) Впрочем, это замечание не относится к самому Берцелиусу, который описывает факт со всевозможными ограничениями, а к тем авторам, которые ссылаются на его опыт, каковы: Шульце, Сакс и др. Берцелиус говорит, что зеленоватое вещество, образующееся при выпаривании цинкового раствора, незначительно в сравнении с взятым веществом и притом грязно-зеленого цвета. Из этого составили теорию, что хлорофилл восстановляется водородом, а полученное желтое тело при выпаривании снова окисляется и превращается в хлорофилл.

Что касается до *бесцветного* тела, найденного Прейсером и упоминаемого Саксом (Chem. Centr. Bl. 1859), которое будто бы *зеленеет на свету*, то его следует, по всей вероятности, отнести к области фантазии.



Таким образом, все попытки простого, непосредственного восстановления или окисления оказались безуспешными. Впрочем, простейшего размышления достаточно, чтобы убедиться, что реакция эта не может быть так проста. Очевидно, что в превращении филлоксантина в хлорофиллин играет какую-нибудь роль окись цинка [1]). Этот факт навел меня на мысль, не находится ли это превращение в какой-либо связи с присутствием в хлорофилле железа и не окажется ли возможным заменить окись цинка окисью или закисью железа.

Для этого я осаждал измененный хлорофилл, или филлоксантин, сернокислой закисью или окисью железа и полученный оранжево-бурый осадок кипятил с едким кали; филлоксантин растворялся в щелочной жидкости, с изумрудно-зеленым цветом, следовательно превращался в хлорофиллин.

Итак, превращение филлоксантина в хлорофиллин, по всей вероятности, явление сложное, зависящее одновременно от окисления и от неизвестного влияния окислов железа или цинка. Соли кобальта и никкеля не оказали того же действия. На важное физиологическое значение этой реакции будет обращено внимание в следующей главе.

Весьма возможно, что действие кислот на хлорофилл аналогично их действию на гемоглобин, из которого концентрированная серная кислота извлекает железо. По Мульдеру, это железо, растворяясь в серной кислоте в виде закиси, выделяет водород. Если что-либо подобное происходит с хлорофиллом, то понятно, почему действие кислот будет восстановляющее, а также понятно, что для обратной реакции необходимы одновременно присутствие железа или цинка и окисление.

С другой стороны, развивая далее гипотезу Фреми в том же смысле, как на странице 218, можно бы предположить, что железо и есть то неизвестное нечто, которое вытесняется основаниями.

К числу замечательных особенностей хлорофилла следует отнести его превращение под влиянием солнечного света. Мы видели, что растворы хлорофилла (спиртовые или эфирные), выставленные на солнечный свет, по прошествии непродолжительного времени буреют, желтеют и, наконец, окончательно обесцвечиваются, и тогда никакими реактивами нельзя обнаружить в них присутствие пигмента. Это превращение весьма любопытно с физиологической точки зрения, и потому необходимо было изучить его поближе.

Спектральное исследование показало полное сходство между хлорофиллом, измененным действием света (инсолированным), и хлорофиллом, измененным действием кислот; другими словами, оно показало, что это изменение состоит в превращении хлорофилла в филлоксантин. Справедливость этого заключения вполне оправдалось, когда побуревший от света хлорофилл, подверженный действию цинкового реактива, снова получил утраченный зеленый цвет. Подобным образом мне удавалось восстановить хлорофилл листьев, засушенных на солнце, напр., листьев китайского чая, так что пигмент, извлеченный из листьев испитого чая, получил тот же свежий зеленый цвет, которым он обладал на плантациях Китая.

Факт этот имеет, по-моему мнению, важное физиологическое значение. До сих пор все исследователи принимали изменение хлорофилла под влиянием света за окончательное его разрушение и никак не предполагали, чтобы можно было восстановить утраченный зеленый цвет. Впрочем, при дальнейшем действии света пигмент действительно начинает разрушаться и, наконец, жидкость вполне обесцвечивается. В этом отношении действие света вполне сходно с действием водорода. Сначала хлорофиллин превращается в филлоксантин—хлорофилл буреет, затем филлоксантин начинает разрушаться—хлорофилл принимает желтый оттенок. В спектроскоп можно следить, как сглаживаются, тают абсорбционные полосы, пока, наконец, остается только одна в красном поле; затем и та исчезает. К этому времени раствор уже чистого желтого цвета и содержит один ксантофилл, который, повидимому, прочнее филлоксантина.

Подобная же последовательность наблюдается при желтении листьев осенью, чем и объясняются противоречивые показания авторов: по одним, желтые листья синеют от кислот; по другим,—не представляют этой реакции. То и другое справедливо, но относится к различным периодам желтения. Реакция с кислотой доказывает, что еще не весь филлоксантин разложился.

Сходство с действием водорода служит указанием, что и действие света восстановляющее. В науке, однако, как мы видели, господствует обратное мнение: предполагается, что это превращение — окисление. В своем месте была показана несостоятельность опытов Жодена и приведены более точные факты Мюллера; тем не менее не под-

---

[1]) Выше было сказано, что от действия щелочей филлоксантин принимает оливковый цвет; филлоксантин, осажденный баритом, принимает на воздухе (только с поверхности, а не во всей массе) еще более решительный зеленый цвет; с окисью цинка, цвет изумрудно-зеленый. Здесь очевидна некоторая последовательность.

лежит сомнению, что в отсутствии воздуха этого явления не происходит. Мы видели в начале главы, что в запаянных трубках, не содержащих воздуха, хлорофилл не изменяется; там же было упомянуто, что эфирные растворы гораздо постояннее спиртовых.

Остается еще упомянуть об одной любопытной и, быть может, весьма важной в физиологическом отношении реакции. Руководясь аналогией хлорофилла и пигментов крови (т.-е. предполагая, что гемоглобину соответствует филлоксантин, а окси-гемоглобину — хлорофиллин), я пытался найти, не существует ли и для хлорофилла тело, соответствующее карбонил-гемоглобину, т.-е. хлорофиллин, в котором кислород был бы замещен окисью углерода. Для этого я пропускал чрез филлоксантин струю окиси углерода, чтобы посмотреть, не произойдет ли поглощения, сопровождаемого изменением в цвете. Результатов не оказалось. Я подвергал спиртовой и щелочной раствор филлоксантина действию окиси углерода, в запаянной трубке в водяной и масляной бане,—результатов также не оказалось. Тогда я испробовал действие окиси углерода в момент выделения, так как в природе всего вероятнее подобное действие. Для этого я прибегнул к следующему, довольно окольному пути. Источником окиси углерода я избрал разложение щавелевой кислоты глицерином. Но так как филлоксантин не растворим в глицерине, то следовало смешивать последний со спиртовым раствором, так что, по мере испарения спирта, филлоксантин выделялся в виде мельчайшего взвешенного в жидкости осадка. В нагретую жидкость бросались маленькие кристалики щавелевой кислоты. Количества кислоты должны были быть весьма малы, так как щавелевая кислота весьма энергически действует на хлорофилл, превращая хлорофиллин в филлоксантин. Желая вовсе избежать действия щавелевой кислоты, я испробовал действие щавелево-аммиачной соли. Оказалось, что и она разлагается глицерином с выделением окиси углерода, но и при употреблении аммиачной соли жидкость вскоре становилась кислой, вероятно, вследствие образования муравьиной кислоты. Впрочем, я убедился предварительно, что муравьиная кислота, подобно уксусной, не оказывает никакого действия на хлорофилл, если не употреблена в избытке.

Как бы то ни было, избегая избытка щавелевой кислоты, можно по прошествии некоторого времени заметить, что бурая мутная жидкость принимает зеленый оттенок. Тогда, разводя ее водою и взбалтывая с эфиром, можно извлечь зеленое тело. После первой подобной операции оно еще грязновато-зеленого цвета, но повторяя операцию несколько раз, получаем ярко зеленое тело, хотя несколько иного (черноватого) оттенка, чем хлорофиллин. Подобная повторная обработка представляет даже удобство, так как легче избегается избыток щавелевой кислоты.

Спектр полученного тела вполне сходен со спектром хлорофиллина, но подробнее мне не удалось его изучить [1]). Повидимому, тело это постояннее относительно кислот, т.-е. не так легко изменяется. Есть ли это тело действительно соединение с окисью углерода, соответствующее карбонил-гемоглобину, — на основании приводимых фактов трудно еще решить, хотя, с другой стороны, трудно дать другое объяснение этому превращению.

Присутствует ли подобное тело в хлорофилле, также трудно решить вследствие полного сходства его спектра со спектром хлорофиллина. Быть может, для их разделения можно будет воспользоваться их отношением к кислотам. Действительно, хлорофилл различных растений от прибавления кислоты принимает различные оттенки бурого цвета, приближающиеся к оливковому. Впрочем, это лишь предположение [2]).

Повторяю вкратце выводы, которые можно сделать из приведенных выше фактов.

I. Хлорофилл [3]) состоит из двух тел, характеризующихся определенными оптическими признаками, из зеленого—*хлорофиллина* и желтого—*ксантофилла*. Таким образом, гипотеза Фреми о существовании синего тела должна быть навсегда покинута.

II. Хлорофиллин при действии кислот и солнечного света превращается в филлоксантин (филлоксантеин Фреми), чем и объясняется изменение хлорофилла при действии кислот и света. Дальнейшее действие света состоит в разрушении филлоксантина и ксантофилла.

III. Ксантофилл неспособен превращаться в хлорофиллин или обратно. Осенняя окраска листьев объясняется более быстрым изменением и разрушением хлорофиллина, а не превращением его в ксантофилл. Хлорофилл, по всей вероятности, представляет смесь хлорофиллина и ксантофилла, а не соединение, как полагает Фреми.

---

[1]) Я повторял эту реакцию неоднократно с одинаковым успехом, но всегда над небольшими количествами вещества.

[2]) Быть может присутствием этого тела в черновато-зеленых листьях Crataegus Aria, исследованных Берцелиусом, объясняется первое видоизменение хлорофилла, не теряющее своего зеленого цвета даже после растворения в соляной кислоте?

[3]) Здесь разумеется только красящее начало.



IV. Как хлорофиллин, так и филлоксантин способны, при не вполне еще определенных условиях, разлагаться, давая начало телам, которые, ради удобства, можно временно назвать: хлорофиллеином и филлоксантеином (филлоциановая кислота Фреми).

V. Обратное превращение филлоксантина в хлорофиллин происходит, повидимому, при содействии кислорода воздуха и, несомненно, при содействии окислов железа или цинка.

VI. Весьма вероятно существование соединения филлоксантина с окисью углерода.

VII. Определение относительных количеств хлорофилла путем спектрального анализа представляется возможным, так как существует средство сохранять хлорофилл неопределенное время без изменения.

В следующей главе мы сделаем выводы из приведенных фактов, постараемся показать, какое отношение они имеют к жизни растения, насколько они могут служить для построения гипотезы о физиологическом отправлении хлорофилла.

## 3. Физиологические выводы.

Факты, изложенные в предшествовавшей главе, проливают новый свет на два важные физиологические вопроса. Эти вопросы: влияние железа на растительность и значение хлорофилла в процессе усвоения углерода. Так как эти вопросы не находятся в непосредственной связи или, по крайней мере, эта связь для нас еще темна, то мы можем рассмотреть их отдельно.

Исследование обоих Гри (отца и сына), Сальм-Горстмара, Сакса и др., с одной стороны, Верделя и Пфаундлера с другой, несомненно доказали: что железо необходимая составная часть хлорофилла; что отсутствие железа в питающей среде вызывает болезненное состояние растения, так называемый хлорозис, или бледную немочь; что эту болезнь, появившуюся естественно или вызванную искусственно, можно излечить, доставив растению необходимые железные соли. В последнем отношении особенно любопытен опыт Артюра Гри, который непосредственно смачивал хлоротические листья железною солью и получал образование зеленого хлорофилла только на тех местах, которые были смочены. Кноп сначала выступил противником этого мнения, но в недавнее время, на основании точных опытов, также пришел к заключению, что хлорозис вызывается отсутствием железа.

Превращение филоксантина в хлорофиллин при содействии железа дает нам объяснение этого действия железа: по всей вероятности, хлоротические листья, подобно этиолированным, содержат филлоксантин, который и превращается, при действии железа, в хлорофиллин.

Любопытно было бы исследовать в этом отношении и действие солей цинка. Риссе делал опыты замещения железа кобальтом, никкелем или марганцем; оказалось, что они неспособны, подобно железу, излечивать хлорозис. Действительно, мы видели, что превращение филлоксантина в хлорофиллин не происходит при действии солей кобальта и никкеля, относительно же действия цинка на хлоротические растения не имеется данных. Но известно, что существуют растения, содержащие заметные количества цинка, и преимущественно в воздушных, следовательно, зеленых частях, особенно в листьях; весьма возможно, даже вероятно, что цинк в этом случае замещает железо. Крайне любопытно было бы проверить это опытом, т. е. испробовать действие цинка на хлоротические растения.

Переходим теперь к другому вопросу, который должен собственно представлять цель всех исследований над хлорофиллом,—к разъяснению физиологической роли хлорофилла. Посмотрим, насколько полученные данные могут служить для построения гипотезы о значении хлорофилла в процессе усвоения углерода.

Взгляд весьма сходный с тем, который будет развит на следующих страницах и которым я руководился при своих исследованиях, был высказан в недавнее время Адольфом Бейером и это придает мне смелость развить мой взгляд, тем более, что он подкрепляется доводами и фактами, правда, далеко недостаточными, но все же более убедительными, чем голословные предположения Бейера.

Вот что говорит Бейер по этому поводу: „Неоднократно указывали на аналогию между пигментом крови и хлорофиллом. В этом случае весьма вероятно, что подобно гемоглобину, и хлорофилл связывает окись углерода. Повидимому, когда солнечный луч падает на хлорофилл, окруженный углекислотою, то эта углекислота претерпевает такую же диссоциацию, как при действии высокой температуры: выделяется кислород, а окись углерода соединяется с хлорофиллом. Простейшее восстановление окиси углерода заключается в превращении ее в алдегид муравьиной кислоты; для этого ему стоит только соединиться с водородом:

$$CO + H_2 = COH_2,$$



а этот алдегид, под влиянием содержимого клеточек, так же как под влиянием щелочей, превращается в сахар“ [1]).

Приступаю к изложению моей гипотезы и изложу ее в следующих трех пунктах, сходных с посылками Бейера.

Роль хлорофилла в процессе усвоения углекислоты объяснится, если допустить:

*Во-первых*, что углекислота атмосферы претерпевает диссоциацию под влиянием солнечного луча.

*Во-вторых*, что хлорофилл существует в двух видоизменениях, аналогических гемоглобину и окиси-гемоглобину, т. е. взаимно превращающихся путем окисления и восстановления, а также способен образовать соединение аналогическое карбонил-гемоглобину.

*В третьих*, что хлорофилл способен выделять на солнечном свете кислород, на место которого поступает окись углерода, которая, в свою очередь, обмениваясь с кислородом воды, дает начало телу $COH_2$ и первоначальному хлорофиллу.

На основании этого воззрения, хлорофилл находится в постоянном превращении и служит для передачи окиси углерода растительному организму, подобно тому, как кровь служит для передачи кислорода животному организму.

1. Против первого положения обыкновенно возражают: нельзя допустить, чтобы такое прочное соединение, как углекислота, разлагающееся только при употреблении самых энергических средств, могло разлагаться от действия одного солнечного света. Но ведь разложение ее есть факт, а с другой стороны, не подлежит сомнению, что необходимый на то запас силы доставляется солнцем. Исходя из основного закона термохимии (Бертло), что каковы бы ни были промежуточные превращения, количество энергии, необходимое для превращения исходных веществ в конечные продукты реакции, должно быть одно и то же, мы должны допустить, что никакие промежуточные комбинации не в состоянии убавить на одну иоту потребное количество живой силы. Покуда разложение углекислоты удавалось только при содействии веществ, обладающих энергическим сродством к кислороду, естественно было предполагать какой-нибудь подобный источник силы в растении, но теперь, когда благодаря в особенности работам С. К. Девиля, мы знаем, что это распадение может происходить при непосредственном приложении живой силы, т. е. путем диссоциации, нет причины предполагать в растении присутствие тела, одаренного энергическим сродством; к тому же образование подобного тела потребовало бы такого же поглощения живой силы, как и разложение углекислоты, т. е. мы нуждались бы в таком же объяснении для происхождения этого тела, какое нужно для объяснения разложения углекислоты.

Итак очевидно, что разложение углекислоты должно происходить от непосредственного приложения живой силы, без участия химического сродства, т. е. должно быть явлением диссоциации.

Но здесь представляется новое возражение: диссоциация углекислоты до сих пор наблюдалась только при весьма высокой температуре, разложение же углекислоты растением происходит при обыкновенной температуре. В ответ на это возражение рассмотрим условия, при которых происходит это явление.

На основании исследований Девиля, Добре и других, *напряжение* (tension) *диссоциации* увеличивается с повышением температуры и с уменьшением как общего, так и частного (парциального) давления—двумя обстоятельствами, увеличивающими вообще *дисгрегацию* тела (в смысле Клаузиуса), конечное выражение которой и есть его диссоциация. Быстрота диссоциации увеличивается удалением ее продуктов механическим путем (напр. диффузией) или химическим, посредством поглощения. Это понятно, потому что с удалением продуктов диссоциации напряжение ее никогда не достигает предела.

Спрашивается: существует ли какое либо теоретическое или фактическое препятствие к допущению, что углекислота в тех условиях, в которых она находится в атмосфере на пути солнечного луча, претерпевает отчасти диссоциацию?

Мне кажется, что с теоретической точки зрения ответ не может быть отрицательный. Допуская теорию диссоциации Девиля, т. е. аналогию между явлением диссоциации и явлением испарения жидкостей, между напряжением диссоциации и упругостью паров—а для рассматриваемого случая эта теория, насколько мне известно, никем не оспаривается [2])—мы должны допустить, что для каждой температуры и давления должно существовать известное, хотя бы бесконечно малое, напряжение диссоциации. Тем более оно должно существовать при том ничтожном давлении, при котором углекислота

---

[1]) Т. е. в метилленитан, полученный Бутлеровым из формалдегида (ди-окиси-метилена).

[2]) Противоречие между теорией Девиля и опытами Бунзена и Бертло не касается занимающего нас вопроса.

находится в атмосфере, особенно же в присутствии поглотителя, за каковой (на основании предлагаемой гипотезы) должно принимать хлорофилл. Не следует также упускать из виду, что углекислота (как вообще сложные газы, по Тиндалю) отличается энергическим поглощением лучистой теплоты, а это поглощение должно сопровождаться дисгрегацией тела [1]).

Если мы обратимся к оценке количества теплоты, необходимой для этого процесса, то увидим, что он далеко не так энергичен, как кажется. Подобно многим явлениям в природе, он поражает нас своими последствиями, потому что совершается постоянно, в продолжении долгих периодов времени.

Если мы определим, с одной стороны, количество единиц тепла, необходимое для этого процесса диссоциации, а с другой—количество единиц тепла, доставляемое солнцем за тот же промежуток времени, то убедимся, что приход с избытком покрывает расход, как и следовало ожидать, зная, что солнце единственный источник силы и что значительная часть ее тратится на другие процессы, каковы испарение и проч. Зная среднее количество $CO^2$, разлагаемое известною поверхностью листа, в известный промежуток времени, напр., одним квадратным дециметром в час (величина эта взята из опытов Буссенго и моих собственных); легко определить число единиц тепла, потребное на диссоциацию этого количества углекислоты и соответствующего количества воды. Зная, с другой стороны, из опытов Пулье [2]), количество единиц тепла, получаемых от солнца тою же поверхностью, в тот же промежуток времени, убедимся, что последнее количество превышает первое слишком *во сто раз*.

Переходим ко второй части вопроса. Посмотрим, не существует ли фактов, которые прямо доказывали бы невозможность сделанного предположения о диссоциации углекислоты. Самое естественное возражение следующее: если бы углекислота диссоциировалась, то в атмосфере находились бы следы окиси углерода, между тем их не существует. Против этого можно возразить: во-первых, что определение таких ничтожных следов CO сопряжено с почти непреодолимыми трудностями (если они составляют ничтожную часть $CO^2$, которая в свою очередь составляет 0,0004 атмосферного воздуха) и на нее не было обращено внимания; во-вторых, что Соссюр, при своих многочисленных определениях углекислоты, действительно находил следы горючего газа, содержавшего углерод, и, наконец, в третьих, и это самое существенное возражение, что мы предполагаем диссоциацию под влиянием солнечного лучеиспускания, следовательно, газы должны быть захвачены в том состоянии, в котором они находятся на пути солнечного луча, в противном случае они могут вновь соединиться. Известно, напр., что явление аналогическое замечено Кальте относительно газов доменных печей: газ, взятый обыкновенным путем, состоял из углекислоты, между тем как проба того же газа, захваченного in statu quo), т. е. зачерпнутого посредством трубки Девиля (tube chaud et froid), оказывается состоящею из CO и O. Можно еще возразить, что образовавшаяся окись углерода должна быстро диффундировать, как диффундирует окись углерода и кислород в остальной массе углекислоты, в опыте Девиля. Но различие очевидно: там газы диффундируют в массе инертного газа, между тем как здесь окись углерода встречает в изобилии кислород, с которым может вновь соединиться.

Взвесив обстоятельства, говорящие за и против возможности диссоциации углекислоты, обратимся теперь к обстоятельствам, указывающим на вероятность этого предположения. Эти обстоятельства могут быть выражены следующим образом: *условия, благоприятствующие диссоциации тел, благоприятствуют и разложению $CO^2$ в растении.*

1. *Напряжение диссоциации увеличивается с увеличением температуры.* Известно, что разложение углекислоты зависит от температуры. При температуре ниже 10° разложение, повидимому, не происходит; противоположный высший предел не определен и, по всей вероятности, будет зависеть от других особенностей организма. Далее известно, что разложение определяется лучами наименее преломляющейся части спектра, следовательно, лучами, обладающими относительно большею энергиею. Наконец, следует заметить, что присутствие веществ, сильно поглощающих тепловые лучи, каковы, напр., пары терпентинного масла, значительно ослабляют этот процесс, хотя не оказывают абсолютно вредного действия на растительные органы.

2. *Напряжение диссоциации увеличивается с уменьшением давления.* Давно уже замечено, что растения не разлагают углекислоты, если находятся в атмосфере, состоящей исключительно из этого газа. Это объясняли или положительно вредным ее действием или отсутствием кислорода. Буссенго показал, что ни то, ни другое объяснение неверно и что разложение происходит и в атмосфере чистой углекислоты, но не так энергично. Он показал, что это явление зависит от давления, как частного, т. е. содержания углекислоты в атмосфере, так и общего. По мере разбавления углекислоты каким нибудь газом увеличивается количество разлагаемой углекислоты. То же наблюдается при уменьшении давления: атмосфера чистой углекислоты почти не разлагается при давлении одной атмосферы и легко разлагается при давлении 50 мм. Аналогия с явлением диссоциации очевидна.

3. *Быстрота диссоциации увеличивается присутствием тела, поглощающего продукты реакции.* Это значение поглотителей обнаруживается во множестве реакций, разложения, вызываемых солнечным светом. Буссенго приводит любопытный опыт, для которого он, впрочем, не дает объяснения, но который может быть объяснен, исходя из этого предположения. Листья, выставленные на свет в атмосфере водорода и углекислоты, разлагали сравнительно более значительное количество этой последней, когда рядом с ними помещалась палочка фосфора. Это можно объяснить тем, что оба продукта диссоциации поглощались одновременно, чем постоянно нарушалось равновесие между углекислотой и продуктами диссоциации.

Таким образом, на основании предлагаемой гипотезы, растение ограничивается только ролью поглотителя, постоянно нарушающего равновесие между углекислотой и продуктами ее диссоциации. Это действие растения станет еще более понятным из следующего, весьма близкого примера.

Известно, что растения способны разлагать кислые углекислые соли, например, извести. Помимо опытов (Дрепер, Коренвиндер), это доказывается наблюдением подводных растений, покрывающихся в известковых водах корою извести. Объяснение этого факта весьма просто. Опыты Жернеза показывают, что кислые углекислые соли разлагаются, если пропускать чрез них струю воздуха. Он объясняет это так: эти соли отчасти разлагаются; предел диссоциации определяется равновесием, наступающим между неразложенною солью и находящеюся над нею атмосферой углекислоты; удаление последней вызывает разложение нового количества соли и т. д. Таково же, по всей вероятности, действие зеленых частей растений: разлагая растворенную в воде углекислоту, они способствуют выделению нового количества ее и т. д. Действие их на $CO^2$ аналогично: поглощая CO, они способствуют диссоциации нового количества $CO^2$.

Вот те факты и соображения, которые можно привести по поводу первого из поставленных нами пунктов.

II. На сколько вероятна посылка, высказанная во втором пункте, мы видели уже в предшествовавшей главе. Мы видели, что хлорофиллин, филлоксантин и предполагаемый продукт, получающийся при действии окиси углерода, представляют очевидную аналогию с гемоглобином и пр. Замечу только, что образование соединения с CO совершенно согласно с тем, что наблюдается в растении. В самом деле, если бы филлоксантин был способен прямо поглощать окись углерода, то и растения могли бы поглощать ее, на основании опытов Буссенго, этого не бывает. Очевидно, что в том и другом случае играет роль момент выделения [1]).

III. Переходим к третьему пункту. Оказывает ли солнечный свет действительно раскисляющее действие на хлорофиял? Если окажется, что превращение хлорофиллина в филлоксантин есть раскисление, а мы видели, что это весьма вероятно, то этот пункт можно будет считать доказанным. Выделение кислорода, правда, еще не удавалось наблюдать (по всей вероятности, по ничтожеству количеств хлорофилла, с которым приходится иметь дело) и даже наблюдалось обратное, т. е. поглощение кислорода, но эти опыты требуют еще проверки [2]).

Но здесь рождается другой вопрос: происходит ли это превращение хлорофилла в филлоксантин в живых частях растений и как согласить это превращение с зеленым цветом, который листья сохраняют на свете. В этом и заключается самый узел предлагаемой гипотезы. Должно допустить, что при обыкновенных условиях происходят одновременно два противоположные процесса: хлорофилл превращается в филлоксантин

---

[1]) Тиндаль испытывал действие света на углекислоту известным оптическим способом и получил облачко, которое однако приписывает присутствию нечистот в трубке. Впрочем, едва ли можно ожидать, чтобы разложение $CO^2$ обнаружилось подобными оптическими явлениями.

[2]) Правда, поверхность пиргелиометра покрыта сажею, но, по Мелони, поглощающая способность листьев также очень высока.



[1]) Это понятие принимается здесь в том смысле, который придает ему, напр., Фавр в своих термохимических исследованиях, т. е. под телом в момент выделений разумеется тело, содержащее известное количество связанной теплоты. Известно, что по исследованиям Бертло синтез многих органических веществ (наприм., муравьиной кислоты) сопровождается поглощением теплоты. Быть может, этим и объясняется значение момента выделения.

[2]) Более сильным доводом против служит необходимость присутствия воздуха которое доказано несомненно.

rophyll.—Pringsheim's Jahrb. VII. 4; **Kromayer** und **Ludwig.** Ueber Zerlegung des Chlorophulls in einen blauen und einen gelben Farbstoff.—Chem. Centr. 1861; **Луневский, Т.** О хлорофилле.—Отд. оттиск из „Работ Физиолог. Лаб. Имп. Варш. Унив."; **Macaire-Prinsep.** Sur la coloration automnale des feuilles. Bibl. Univ. 1828; * **Marquart (Clamor).** Die Farben der Blüthen.—Bonn. 1835; **Micheli, M.** Sur la Chlorophylle.—Arch. d. Sc. Phys. et Nat. 1867; **Melde.** Ueber die Absorbtion des lichts durch gefärbte Flüssigkeiten.—Pogg. Ann. CXXIV. CXXVI; **Millardet.** Sur le pigment des Floridées.—Ann. Sc. Nat. 1869; **Mohl** (Hugo). Vermischte Schriften; **Morot, F. S.** Recherches sur la coloration des végétaux.—Paris. 1850; **Morren, Ch.** Dissertation sur les feuilles vertes et colorées.—Gand. 1858. В извлечении Arch. d. Sc. Ph. et Nat. V; **Müller, N. J. C.** Notiz über die Farbstoffe im Chlorophyll.—Pringsheim's Jahrb. 1869; **Mulder.** Ueber das Chlorophyll.—Ann. Ch. u. Pharm. I, II; **Pelletier et Caventou.** Sur la matière verte des feuilles.—Ann. Ch. et Phys. 1818; **Pfaundler.** Notiz über das Chlorophyll.—Ann. Ch. u. Pharm. 1860; **Phipson.** Sur la coloration des feuilles.—C. R. 1858; **Preyer.** Quantitative Bestimmung des Farbstoffs im Blute durch das Spectrum.—Ann. d. Ch. u. Pharm. 1866; Reichert's Arch. 1868; **Priestley, J.** Experiments and observations on different kinds of air.—London. 1775; Experiments and observations relating to various branches of natural philosophy, with a continuation of the observations on air.—1779; * **Proust.**—Gehlen. Alg. Journ. d. Chem. 1803; **Risler.**—Arch. des Sc. Ph. et Nat. VI; **Risse.**—Sachs. Handb. d. Exp. Phys.; **Sachs, J.** Ueber das Vorhandensein eines farblosen Chlorophyllchromogens in Pflanzentheilen welche fähig sind grün zu werden.—Cehm. Central. bl. 1859; Ueber die Durchleuchtung der Pflanzentheile.—Sitzungsberichte d. K. K. Akad. Wien. 1860; **Salm-Horstmar.** Substanz der grünen Infusorien.—Pogg. Ann. XCIII, IV, V, VII; **Schönn.** Ueber Blattgrün und Blumenblau.—Fres. Zeitschrift. f. Anlyt. Ch. 1870; * **Schübler** und **Frank.** Untersuchungen über dis Blüthenfarben.—Tübingen 1825; **Schultze, F.** Lehrbuch d. Chemie f. Landwirthe.—1853. **Senebier, J.** Mémoires Physico-Chimiques.—Genève 1782; **Simmler.** Vermischte Mittheilungen &c.—Pogg. Ann. 1862; **Sommerville,** Miss. On the action of lighton vegetable colours.—Phil. Trans. 1843; **Sorby.** On a definite method of qualitative analysis of animal und vegetable colouring matters by means of the spectrum-microscope.—Proceed. Roy. Soc. 1867; **Stokes, G. G.** On the change of refrangebility of lithg. Trans. 1852; On the supposed identity of Biliverdine and Chlorophyll.—Phil Mag. 1864; On the application of optical properties of bodies to the detection and discrimination of organic substances. Journ. Chem. Soc. 1864; On the discrimination of organic bodies by their optical properties.—Phil. Mag. 1864; On the reduction and oxidation of the colouring matter of the blood.—Proceed. Roy. Soc. XIII. 1864; * **Tischborn.** (Спектр хлорофилла)—Laboratory. I. 192; **Trecul.** Chlorophylle cristallisée.—C. R. 1865; **Valentin.** Gebrauch des Spectroscops &c.—1863; * **Vauquelin.**—Ann. de Ch. Ph. 83; **Verdeil.** Sur la matière colorante des feuilles.—C. R. 1851; **Weiss.** Ueber die Aenderungen welche die Lege der Linien im Spetrum des sogenannten Salpetergases erfahren &c.—Pogg. Ann. 1861.

## Положения к магистерской диссертации „Спектральный анализ хлорофилла".

1. В подтверждение господствующего учения о росте чрез *внутреннее отложение* (intussusceptio), равно как в опровержение прежнего учения о росте чрез *наслоение* (appositio), не представлено ни одного убедительного довода.

2. Изо всех теорий, предложенных для объяснения роста крахмальных зерен, одна теория Фричше согласна с историею развития.

3. Молекулярное строение вещества растений неизвестно; достоверно только то, что движение (свет, теплота, электричество и пр.) распространяется в нем по различным направлениям с различной быстротой.

4. Вопрос об относительном значении лучей различной преломляемости в процессе разложения углекислоты следует еще считать открытым.

5. Учение о так называемом „дыхании" растений лишено прочного основания.

6. Объяснение движения протоплазмы, предложенное Гофмейстером, не удовлетворяет основным требованиям научной гипотезы.

7. Движение крахмала по особой системе клеточек, предполагаемое Саксом, в высшей степени невероятно.

8. Электро-капиллярные явления должны играть важную роль в движении и метаморфозе веществ в растении.

9. Учение о произвольном зарождении (generatio spontanea) лишено фактического основания и невероятно a priori.

10. Учение о пангенезисе ненаучно в основе, бесплодно в последствиях.

# V. Об усвоении света растением.

## I.

## Критика и метод.

„J'aime voir les corpuscules de la lumière, se combiner dans les corps, & j'aime à croire qu'ils frapperont de nouveau nos yeux dans la flamme des matières combustibles; il me semble lui voir former les resines avec lesquelles elle a tant d'affinité, les matières huileuses pleines de sa chaleur & de sa clarté, la partie spiritueuse des graines & des fruits, saturée de ses feux... Enfin le phlogistique, que la lumière formeroit dans les végétaux, ne serait il pas la source de celui qui circuleroit dans les autres règnes?"

*Senebier.* Memoires physicochimiques, III. 1783.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe Chemischer Differenz erzeugen.

„Diese Organismen sind die *Pflanzen*. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschikt niedergelegt werden".

J. R. *Mayer.* Die Mechanik der Wärme. S. 53.

„Es verschwindet also wirkungsfähige Kraft des Sonnenlichtes, während verbrennliche Stoffe in den Pflanzen erzeugt und aufgehäuft werden, und wir können als sehr wahrscheinlich vermuthen dass das erstere der Grund des zweiten ist. Allerdings, muss ich bemerken, besitzen wir noch keine Versuche, aus denen sich bestimmen liesse, ob die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen auch dem während derselben Zeit angehäuften Chemischen Kraftvorrathe entspricht, und so lange diese fehlen, können wir die angegebene Beziehung noch nicht als Gewissheit betrachten".

Wenn sich diese Ansicht bestätigt, so ergiebt sich daraus für uns das schmeichelhafte Resultat, dass alle Kraft vermöge deren unser Körper lebt und sich bewegt, ihren Ursprung direct aus dem reinsten Sonnenlichte herzieht...

*H. Helmholtz.* Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte. S. 127. 1854.

с выделением кислорода, но на место выделившегося кислорода поступает окись углерода, освободившаяся из углекислоты; таким образом, именно вследствие разложения углекислоты, сохраняется зеленый цвет листьев. Следовательно, в отсутствии последнего процесса, листья должны изменять свой нормальный цвет, что и замечается в природе. Осенью, когда, по всей вероятности вследствие понижения температуры ниже minimum, потребного для разложения углекислоты, усвояющая деятельность прекращается, разрушающая деятельность света берет перевес и обнаруживается желтением листьев. Макер-Принсеп и Моль не сомневаются в том, что желтение вызывается светом, а не низкой температурой: защищая растения от света, им удавалось предохранить их от желтения. Всего нагляднее обнаруживается это явление на зимующих листьях, напр., у туи: нижняя поверхность ее сплющенных стеблей, покрытых чешуистыми листьями, сохраняет зеленый цвет, между тем как верхняя, подверженная действию света, желтеет; весной, с наступлением тепла, когда начинается усвоение углерода, верхняя поверхность снова начинает зеленеть и вскоре не отличается более от нижней [1]). Аскенази, которому мы обязаны этим любопытным наблюдением, говорит, что при комнатной температуре туя не желтела; по всей вероятности, при этих условиях могло происходить, хотя в весьма слабых размерах, разложение углекислоты.

Справедливость этого воззрения можно было бы проверить опытом. На основании защищаемого взгляда, в атмосфере, не содержащей углекислоты, листья должны желтеть на солнце. По наблюдениям Соссюра в атмосфере, лишенной углекислоты листья действительно быстро вянут, но он не говорит, сопровождается ли это изменением в цвете.

Итак, вот окончательная форма, в которой является предлагаемая гипотеза. Означив все элементы, входящие в состав филлоксантина (C, N, H, O, Fe?) чрез X, а хлорофиллин чрез XO; допустив, что CO становится на место выделяющегося кислорода, допустив далее, что происшедшее тело, вследствие ряда неизвестных нам реакций, вступает в обменное разложение с элементами воды [2]) и дает начало первоначальному хлорофиллину и телу общей формулы $CH^2O$, — получим

$$XO + CO^2 = XCO + O^2$$
$$+ H^2O$$
$$\overline{XO + CH^2O + O^2}.$$

Таким образом, конечные продукты реакции будут: тело общей формулы углеводов и первоначальный хлорофиллин, способный к дальнейшему превращению. Что за тело будет это $CH^2O$, будет ли это формалдегид, способный, по исследованиям Бутлерова, превращаться в сахаристое тело метиленитан, или какое другое тело — трудно решить. Первый продукт реакции, обнаруживаемый посредством микроскопа, оказывается крахмал; в некоторых случаях пяти минут инсоляции достаточно, чтобы вызвать в зерне хлорофилла появление этого тела. Если крахмал этот [3]) является конечным результатом целого ряда усложнений или уплотнения частицы, то это превращение должно происходить с изумительною быстротою.

Эта гипотеза может объяснить, каким образом тело, распространенное в таких ничтожных количествах, может играть такую важную роль в природе. Благодаря постоянному метаморфозу, ничтожное количество хлорофилла способно превратить в углеводы неопределенные количества углекислоты и воды. Таким образом, хлорофилл служит для передачи растительному организму окиси углерода, подобно тому, как кровь служит для передачи животному организму кислорода.

Такова гипотеза, которой я руководился при своих исследованиях. Я полагаю, она принесет известную долю пользы, так как может послужить исходной точкой для целого ряда экспериментальных исследований, которые ее подтвердят... или опровергнут.

Я решаюсь ее высказать только потому, что теперь могу поставить ее под защиту такого научного авторитета, как Адольф Бейер.

---

[1]) Для зеленения растительных органов мы можем допустить два пути: ассимиляцию углерода, т. е. присоединение CO, и путь окисления. Этим последним путем, вероятно, происходит зеленение в отсутствии света, как напр., в семянодолях хвойных и в других подобных случаях.

[2]) Разложение воды в растении доказал Бусенго.

[3]) До сих пор мы не имеем несомненного экспериментального доказательства, что этот крахмал действительно новообразованный, т. е. продукт ассимиляции, но это в высшей степени вероятно.

## 4. Литература.


**Ångström, A. J.** Ueber die grüne Farbe der Pflanzen.—Pogg. Ann. 1854; **Askenasy, E.** Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls &c.—Bot. Zeitung. 1867; **Bäyer, A.** Ueber die Wasserentziehung &c.—Berichte. d. Deutsch. Chem. Ges. 1870; **Becquerel, E.** La lumière &c. t. II.—Paris 1868; **Benoit, R.** Etudes spectroscopiques sur le sang.—Paris 1869; **Bernard, Claude.** L'asphyxie par la vapeur de charbon.—Revue des Cours 1869—70; **Berthelot, M.** Méthodes générales de synthèse.—Paris 1864; Sur les lois qui président au partage d'un corps eutre deux dissolvants.—Bullet. Soc. Chim. 1870; Sur les équilibres chimiques entre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène &c.—Ibid.; **Berzelius, J.** Untersuchung des Blattgrüns.—Ann. Chem. u. Pharm. 1838; Lehrbuch, 7. B.—1838; **Bonnet, C.** Recherches sur l'usage des feuilles.—Leide. 1754; **Boussingault.** Agronomie, Ch. Agr. et Phys. t. IV. 1868; Sur les fonctions des feuilles.—Ann. d. Sc. Nat. 1869; **Brewster, S. D.** On the decomposition and dispersion of light within solid and fluid bodies. - Edinb. R. Soc. Trans. 1847; On the colours of natural bodies.—Ibid. 1833; **Bunsen, R.** Absorptionsspectrum des Didyms. Pogg. Ann. CXXVIII. 1866.—Ibid CXXXI 1867; **Butlerow, A.** Bildung einer zuckerartigen Substanz durch Synthese. Ann. Ch. u. Pharm. 1861; **Cailletet.** De la dissociation des gaz dans les foyers métallurgiques.—C. R. 1866; **Candolle (De).** Expériences relatives à l'influence de la lumière sur quelques végétaux.—Mem. des Sav. Etrang. I. Paris, an 8; **Cohn, F.** Beiträge zur Physiologie der Phycochromaceen und Florideen.—Arch. f. mikr. Anat. Max. Schultze. III. 1; **Correnwinder.** Recherches chimiques sur la végétation. Fonction des Feuilles.—C. R. 1866; **Deville, Sainte-Claire (H).** Leçons sur la dissociation.—Leç. prof. à la Soc. Chim. 1866; **Draper, W.** A treatise on the forces which produce the organisation of plants.—New-York, 1847; **Famintzin, A.** Die Wirkung des Kerosinlampenlichtes auf Spirogyra orthospira Naeg.—Pringsheim's Jahrb., B. VI; **Favre, P. A.** Thermochimie &c.—C. R. LXIII. LXVI, LXVII; **Filhol, E.** Recherches sur les propriétés chimiques de la chlorophylle.—C. R. 1866; Recherches sur la matière colorante verte des plantes.—C. R. 1868; **Fremy.** Recherches chimiques sur la matière verte des feuilles.—C. R. 1860; Ann. d Ch. et. Phys. 1866; Ann. de Ch. Ph. 1866; **Gernez.** Phénomènes de sursaturation &c.—C. R. 1866; **Gris, A.** Recherches microscopiques sur la Chlorophylle.—Ann. d. Sc. Nat. 1857; **Gris, E.** Action des sels ferrugineux &c.—1847; **Hagenbach, E.** Untersuchung über die optischen Eigenschaften des Blattgrüns.—Pogg. Ann. 1870; **Harting, P.** Ueber das Absorptions Vermögen des reinen und des unreinen Chlorohylls für die Strahlen der Sonne. Pogg. Ann. 1855; **Hartman.** Sur la matière verte des feuilles.—Bullet. de la Soc. Industrielle de Mulhouse, t. XXVI; **Heropath, B.** (Спектральные наблюдения над хлорофиллом, обнародованные после смерти автора).—Month. Journ. of. Micr. Sc. 1869; **Herschel, J. W.** On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colours.—Philosoph. Trans. 1842; **Hlasiwétz** см. Pfaundler; **Hoppe-Seiler.** Verhalten des Blutfarbstoffs im Sonnenspectrum. Chem. Centr. 1862; Die optischen und chemischen Eigenschaften des Blutfarbstoffs.—Chem. Centr. 1864; Medicinisch chemische Untersuchungen.—1866; Handbuch d. physiologisch. und path. chem. Analyse; Spectral-Analyse.—Virchoff & Holtzendorff Vorträge. 1868; Ueber die Zersetzungsproducte des Hämoglobin.—Berichte Chem. Ges. zu Berlin 1870; **Humboldt, A.** Aphorismi &c.; **Ingenhousz, I.** Versuche mit Pflanzen (*aus dem Englischen*).—1780; **Jodin.** Sur les alterations des tissus végétaux sous l'action combinée de la lumière et de l'air.—Bullet. Sos. Chim. 1865; Id.—C. R. 1864; * **John.** Chemische Schriften. *4. 161. 5. 26*; **Knop.** Berichte d. Königlich. Sächs. Gesellchaft. d. Wissenschaften. 1869; **Kraus, G.** Einige Beobachtungen über den Einfluss des Lichtes und der Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlo-


---

*) Сочинения, означенные звездочкой, известны мне только по ссылкам других авторов

I.

## Исторический очерк.

Настоящее исследование представляет часть обширного труда, задуманного и начатого мною восемь лет тому назад, постоянно с тех пор меня занимавшего и, по всей вероятности, потребующего еще многие годы для приведения его к удовлетворительному окончанию. Оно касается вопроса, получившего в последние годы значительное развитие и, в то же время, одного из наиболее спорных в современной физиологии. На этом основании, я считаю полезным предпослать критической части моего труда краткий очерк исторического хода дела за последние годы. Я считаю это даже необходимым для себя лично, для того, чтобы на первых же порах выяснить мое положение относительно других исследователей [1]).

Я разумею под *усвоением света* то превращение лучистой энергии солнца в энергию потенциальную, в запас работы, которое совершается в растении, когда в нем происходит усвоение углерода (и водорода), т.-е. разложение углекислоты (и воды) и последующий синтез органического вещества. Только ту долю всей получаемой растением лучистой энергии, которая затрачивается на этот процесс и таким образом слагается, накопляется в форме химического напряжения, я называю усвоенною. Таким образом, из этого понятия исключается та доля получаемой энергии, которая не задерживается растением, но или проходит, не поглощаясь, или отражается как от поверхностей, так и в явлениях флуоресценции, или же, наконец, хотя и поглощается растением, но истрачивается на повышение его температуры, на испарение воды и т. п.

На изучение этого отношения растения к солнечному свету, на изучение ближайших условий этого явления в последнее время, как уже сказано, обращено большое внимание. Не таково было положение дела в 1868 году, когда я приступил к изучению этого вопроса. В то время никакого вопроса, можно сказать, и не существовало; в науке безраздельно господствовало убеждение, основанное на опытах Дрепера — именно, что действие света в этом процессе пропорционально его действию на глаз, т.-е. его световому напряжению. Это странное совпадение, которое Дреппер пытался объяснить при помощи связующей гипотезы, физиологи, и во главе их Сакс, принимали голословно, как догмат. В течение почти четверти столетия после опытов Дрепера не было сделано ни одного шага к разъяснению этого любопытного явления, так как вся деятельность Сакса, которому обыкновенно приписывается выдающаяся роль в истории этого вопроса, ограничилась ненужным повторением опытов Добени и Дрепера в менее точной форме. С точки зрения употребленного метода эта работа была положительным шагом назад. Против этого обратного хода науки я и восстал, указывая на те новые экспериментальные средства, которые наука приобрела в новом методе исследования, который Буссенго предложил незадолго пред тем. Предлагая в 1868 году простой и удобный прием исследования этого явления, я в то же время указал на тот высокий интерес, который приобретает изучение процесса усвоения углерода при рассматривании его с физической точки зрения, с точки зрения закона сохранения энергии, и в следующих выражениях наметил будущий путь исследования:

---

[1]) Считаю это необходимым с точки зрения самозащиты. Читателям, знакомым с немецкой литературой предмета, конечно, известно, что благодаря неразборчивости в средствах, к которым прибегли мои противники, благодаря отсутствию разумной критики и поклонению сомнительным авторитетам, мое имя играло в этом вопросе незавидную роль,—насколько справедливо, предоставляю судить читателю, по прочтении этого труда.



„Согласно с расширением воззрений, господствующих в науке, изменяется и задача исследователя. На основании всего сказанного, наука, при исследовании занимающего нас явления, не может в настоящее время довольствоваться одним количественным определением превращающихся при этом процессе веществ,—она должна стремиться к столь же строгому учету тех сил, которые участвуют в этом явлении.

„Изучить химические и физические условия этого явления, определить составные части солнечного луча, участвующие посредственно или непосредственно в этом процессе, *проследить их участь в растении до их уничтожения, т.-е. до их превращения во внутреннюю работу, определить соотношение между действующей силой и произведенной работой*—вот та светлая, хотя может быть отдаленная задача, к достижению которой должны быть дружно направлены все силы физиологов".

Летом того же 1868 года я сделал попытку применения предложенных мною приемов к рассматриваемому вопросу, т.-е. к определению относительного значения различных лучей спектра в этом процессе. Результатом этого исследования было краткое предварительное сообщение, помещенное в Botanische Zeitung в январе 1869 года [1]). Печатая это краткое исследование, я имел в виду троякую цель: 1) показать, что убеждение в одинаковом действии света на глаз и на растение, нелогичное само в себе, опирается только на отсутствие критической оценки методов, употребленных Дрепером, и потому, в сущности, лишено основания; 2) предложить, взамен начинавшего распространяться, так называемого, метода Сакса, другой, точный и, в то же время, простой и удобный; 3) показать, что полученные мною результаты не согласны с результатами Дрепера и что потому вопрос можно считать открытым. Кривая, которою я выразил результаты своего опыта, не представляла maximum'a в желтой части, а постепенно повышалась в красной части и, следовательно, в пределах видимого спектра, в пределах опыта, представляла совпадение с тепловой кривой. В этой работе я остановился на приеме уединения отдельных частей спектра, посредством пропускания света чрез цветные жидкости, предварительно тщательно исследованные спектроскопом. Этот, сравнительно легкий, прием был достаточно точен для проверки результатов Дрепера, но я там же выразил убеждение, что точных результатов можно ожидать только от опытов, произведенных непосредственно в спектре, и высказал надежду, что мне удастся осуществить этот опыт, избежав, в то же время, ошибок Дрепера.

Эта предварительная работа, убедив меня в несостоятельности господствующего мнения, между прочим, привела меня к заключению о необходимости ближайшего изучения хлорофилла, этого вещества, играющего несомненную роль в процессе усвоения углерода. Результатом этого было довольно обширное и поглотившее не мало времени спектральное исследование хлорофилла [2]).

Полученные мною графические изображения закона поглощения света хлорофиллом ясно обнаружили сходство между кривой поглощения света и кривой, выражающей разложение углекислоты [3]). Проверить это соотношение уже нельзя было при помощи цветных жидкостей, и потому я, в бытность свою в Париже летом 1870 года, принялся приискивать способ экспериментирования непосредственно в спектре. Благодаря крайней любезности профессоров Дессена и Бертло, в августе 1870 года я был поставлен в возможность осуществить свои опыты, хотя с относительною степенью удобства, так как физическая часть исследования должна была производиться в Сорбонне, а анализ газов—в Collège de France. Но события 1870 года разрушили все мои ожидания; когда все было готово и можно было приступить к опытам, я должен был покинуть Париж.

Между тем моя немецкая статья не осталась без последствий. Хотя немецкая критика прошла ее молчанием [4]), но тем не менее она пробудила деятельность немецких физиологов. В 1871 году, в первой статье первого выпуска трудов ботанического инсти-

---

[1]) Так как оно никогда не было мною напечатано на русском языке, то я счел полезным привести его ниже сполна, для того, чтобы устранить неверные о нем суждения и навязываемые мне мнения, а также и в доказательство того, что вопреки моим критикам я не имею основания отказаться хотя бы от одного слова.

[2]) Спектральный анализ хлорофилла. Спб. 1871. Это исследование было мною предпринято в 1869 году, после того как Микели в своем исследовании, сделанном под руководством Сакса, объявил, что спектроскоп не может принести в этом деле услуги. Последствия не оправдали этого предсказания. Уже после выхода моей работы спектральное исследование хлорофилла сделалось модной темой; возникла целая литература по этому предмету, но пока еще все эти исследования не только не изменили, но и существенно не пополнили моих результатов относительно состава этого вещества.

[3]) Бертло, которому я показывал свои результаты в 1869 году, тотчас высказал эту мысль.

[4]) Только Адольф Майер принял мои выводы и поместил мою таблицу в своем курсе агрономической химии.

тута профессора Сакса, ученик его Пфеффер обрушился на меня критикой, занимающей почти столько же места, как и вся моя статья, и наполненной обвинениями не только в неверности результатов, но в грубом невежестве и даже в научной недобросовестности—в подделке цифр. Тон этих нападок был таков, что на них мог быть только один ответ—презрительное молчание. К тому же и причина этого озлобления была слишком понятна: доктор Пфеффер сполна воспользовался моими приемами исследования и для того старался выставить меня таким невеждой, у которого он, очевидно, ничего не мог заимствовать. Таким образом, одна из предположенных мною целей была вполне достигнута; мои приемы исследования были приняты там, где этого можно было всего менее ожидать, в лаборатории Сакса [1]), но, к сожалению, как увидим, не надолго. Зато другие две цели не были вовсе достигнуты. По краткости моей статьи, я не мог распространиться в ней о неточностях исследований Дрепера и ограничился ссылкой на источники, из сличения которых ошибка его становилась понятной; но этот намек пропал даром для доктора Пфеффера, и мы увидим, что в своей следующей работе он впал именно в ту ошибку, от которой я предостерегал. Результаты мои также возбудили ни на чем неоснованное сомнение, а сам доктор Пфеффер пришел к совершенно противоположному заключению, т.-е. к подтверждению мнения Дрепера. Чем объясняется это разногласие в результатах его и моей работы, трудно решить; одно только несомненно, что в его работе не было недостатка в ошибках.

Таким образом, учение Дрепера вновь восторжествовало. Немецкая критика не замедлила провозгласить работу Пфеффера образцом точности, не замечая, или не желая заметить, что точное в ней было чужое, а свое было неточно. Из русских ботаников Бородин (по поводу перевода книги Майера) поспешил объявить себя в пользу Пфеффера и против меня, с довольно странной, впрочем, оговоркой — что считает мои приемы исследования более точными.

В начале того же 1871 года появилась статейка Ломмеля, в которой он высказывал мысль, что разложение углекислоты должно зависеть от поглощения света хлорофиллом (мысль уже прежде высказанную Жаменом), но что из тех лучей, которые поглощаются хлорофиллом, наиболее деятельны должны быть те, которые обладают наибольшей энергией, измеряемой их тепловым эффектом. На основании этих соображений, он, сомневаясь в точности результатов Пфеффера, пришел к заключению, что maximum разложения должен лежать в красной части спектра, т.-е. именно там, где я его нашел (моя работа была ему тогда неизвестна). Вслед за первой, появилась вторая статья, в которой он ссылается на мои результаты, как на подтверждение его теории, но приписывает мне воззрение, которого я не высказывал, и окончательно формулирует свое мнение так: „Тимирязев высказал половину истины".

Между тем некоторые последователи воззрений Сакса и Пфеффера—Прильё и Баранецкий—сделали попытку развить ее до ее крайних логических выводов и тем еще более обнаружили ее несостоятельность. Против этого крайнего, но последовательного развития их теории, Пфеффер и Сакс почли долгом протестовать. Сакс очень пространно объяснил своим читателям давно известную истину, что свет есть понятие субъективное и что потому нет основания предполагать, чтобы найденная связь между влиянием света на глаз и на разложение была действительная, причинная; это по его мнению просто—*случайность*.

На этой теории *случайности* и успокоились. Но вскоре за статьей Ломмеля появилась работа Мюллера, вполне подтверждавшая его взгляды, а следовательно, и мои результаты. Мюллер, экспериментировавший в спектре, получил maximum разложения именно в тех красных лучах, которые соответствуют абсорбционной полосе хлорофилла. К сожалению, изложение его отличается неясностью и сбивчивостью, а о методе исследования ничего не говорится, так что читатель лишен необходимых данных для надлежащей оценки убедительности его результатов.

На этот раз возражение пришло не со стороны теории, а со стороны опыта. Весною следующего года. Пфеффер вновь принялся за работу и уже не при помощи цветных жидкостей, а, как Мюллер, в спектре. Но вместо анализа газов он вернулся к заветному способу счета пузырьков. Таким образом это исследование представляет редкий, по всей вероятности, в истории наук пример ученого, проверяющего результаты, полученные точным методом, посредством метода менее точного, апелирующего от высшей инстанции к низшей. Результатом работы было блистательное подтверждение прежней работы

[1]) Правда, доктор Пфеффер приписывает эти приемы то себе, то Буссенго. Но Буссенго своих приемов нигде не описал, и, посещая его лекции, я впоследствии убедился, что они отличны от моих. Следовательно, д-ру Пфефферу приемы Буссенго неизвестны, а доказательством тому, что он руководствовался моей работой, служит тот факт, что во всех тех случаях, где мое описание не было достаточно подробно, он делал комические промахи. Таким образом ему, по праву, принадлежат только его ошибки.



автора, а следовательно, и теории Дрепера; но при чтении этой работы не знаешь, чему удивляться, непонятливости ли ее автора, если он сам себе верит, или презрительному мнению о читающей публике, если он думает обмануть ее своими софизмами. Пфеффер сделал в этой работе ту самую ошибку, на которую я указывал в работе Дрепера, от которой за три года пред тем предостерегал; не удивительно, что и результаты у него получились те же, что у Дрепера. В критической части предлагаемого исследования читатель найдет подробное разъяснение этой ошибки.

Таким образом, теория *случайности*, провозглашенная профессором Саксом, вновь восторжествовала; в третьем и четвертом изданиях своего руководства он высказал полное одобрение Пфефферу, признал его результаты безусловно верными, а о работе Мюллера отзывается с презрительною самоуверенностью: „Мюллер, правда, обставил это заключение (теорию Ломмеля) цифрами, *но тот, кто знает, как производятся подобные исследования, знает также, какое значение, можно придавать цифрам Мюллера*". На это можно возразить, что профессор Сакс напрасно считает задачу Мюллера такою безнадежной—предлагаемое исследование служит тому опровержением—и вообще напрасно считает себя знатоком и судьей в подобных вопросах; никому не известно ни одной *точной* его работы в этом направлении, а если он этим намекает на свое участие в работе Пфеффера, то читатель увидит ниже, что это участие приводит к обратному заключению,—именно, что ему неизвестно, как *должны производиться* подобные исследования. За Саксом последовали и другие критики. Работа Пфеффера перепечатана в четырех журналах и признана образцом точности и остроумия. Доказательством того, до какого полного отсутствия критики, до какого преклонения пред сомнительными авторитетами, или же до какого возмутительного духа партии дошла в этом вопросе [1]) немецкая ботаническая литература, может служить следующий пример. В недавно вышедшем, первом ботаническом ежегоднике, некто Де Фризе, ученик Сакса, специальный референт по физической физиологии (следовательно, заявляющий себя специалистом-физиком, и значит признаваемый в этом качестве и другими), отказывается реферировать о работах Мюллера на том основании, что Пфеффер *окончательно доказал* (hat definitiv bewiesen) противное.

---

Эту то *окончательно доказанную* теорию имеется в виду опровергнуть в настоящем исследовании.

Как в первой работе, так и в настоящей, я имею троякую цель:

1) Доказать ошибочность работ Дрепера и Пфеффера.

2) Доказать, вопреки только-что приведенному мнению Сакса, возможность *точного* исследования явления непосредственно в спектре, и для этого предложить новые, более чувствительные приемы анализа газов.

3) Доказать, посредством полученных результатов, согласных с моими прежними и результатами Мюллера, несостоятельность теории *случайности*, провозглашенной профессором Саксом.

Таким образом эта работа, как можно надеяться, вновь вернет исследование на точный путь, с которого оно вторично совращено Саксом и *его школой*. Наконец, в заключительной главе разобраны критически возможные в настоящее время теоретические объяснения этого явления и тем указан путь дальнейшего исследования [2]).

[1]) И не в нем одном, а во многом, что касается Сакса и его *школы*.

[2]) Может показаться странным, что я с 1870 года до сих пор не возобновил этих исследований. На это я могу представить следующие объяснения. Во-первых, я постоянно усовершенствовал приемы исследования и теперь мною употребляемые значительно отличаются от тех, которые я предполагал употребить в Париже, в 1870 году. Сверх того, подобные опыты требуют значительной материальной обстановки, устройства особого помещения и приобретения ценных приборов (Гелиостата, газового прибора Дойера и пр.), которые пришлось, сверх того, заказывать и ждать годами. Первые результаты получены мною летом 1873 и сообщены осенью того же года в Русском химическом обществе и весною 1874 на съезде ботаников, во Флоренции.

## 2.

## Критика предшествовавших исследований [1]).

Критика предшествовавших исследований. — Воззрения Сенебье, Майера и др. Исследования Дрепера, Кальте и др. — Первая работа автора.—Ответ на критику Пфеффера. — Разбор работы Пфеффера.—Теория Прильё и суждение о ней Сакса. Воззрение Сакса.—Статьи Ломмеля и работа Мюллера.—Вторая работа Пфеффера и мнение о ней Сакса.—Заключение.

> Jene Strahlen sind es zufällig auch, welche auf unsere Retina den lebhaftesten Lichteindruck hervorbringen; ich sage zufällig, denn es läst sich kein causaler Zusammenhang dafür denken, dass die leuchtenden Strahlen in dem Masse, wie sie uns den Eindruck der grösseren oder geringeren Helligkeit machen, auch mehr oder weniger auf die Sauerstoffausscheidung der Pflanze einwirken.
>
> Sachs., Arbeiten, II h., p. 284.

> Wäre es nun möglich . . . . . so hätte man wirklich ein Art Naturgesetz, dem freilich jede causale Beziehung fehlt, welches daher wie ein unerklärtes Wunder dastehen würde. So schlimm ist es jedoch nicht.
>
> Sachs. Lehrbuch, p. 205.

Усвоение углерода (и водорода) растением существенно отличается от усвоения других веществ тем, что оно может быть рассматриваемо с двух точек зрения: статико-химической, как процесс превращения вещества, и с физической или динамической, как процесс превращения лучистой энергии солнца в запас работы—в химическое напряжение. Усвоение углерода (и водорода) сопровождается в то же время усвоением света.

Эти два воззрения возникли, или вернее выработались, в науке не одновременно, а на расстоянии почти столетия.

Первое из них, т.-е. вопрос о происхождении углерода или органического вещества растения, понятно, мог быть верно поставлен только тогда, когда был экспериментально доказан закон вечности вещества, прежде сознаваемый как метафизическая истина, и когда были открыты химические элементы. Он был выяснен в общих чертах в последние десятилетия прошлого столетия; ближайшее же разъяснение его, т.-е. разъяснение самого процесса, синтеза органического вещества принадлежит будущему [2]).

Второй вопрос, касающийся динамической стороны явления, т.-е. происходящего при этом превращения энергии, очевидно мог возникнуть только тогда, когда возникло учение о сохранении энергии, и в настоящее время находится в периоде эксперимен-

---

[1]) Сакс, а за ним и Пфеффер, в некоторых своих работах, пытались было ввести новый прием — излагать литературу после собственных исследований. Этот прием невольно оставляет в читателе более выгодное впечатление об авторе, в ущерб его предшественникам. Но мне кажется, что в области мысли должно делать такое же строгое различие между моим и твоим, как и в других областях, и потому я не следую этому примеру. Считаю также нужным заметить, что здесь имеется в виду только критическая оценка позднейших работ, имевших влияние на развитие вопроса, а не полный перечень всего, что было сделано по этому предмету,—подобные перечни читатель может найти в статьях Сакса и Пфеффера.

[2]) Можно надеяться, что новейшие работы А. и П. Тенаров прольют новый свет на эту сторону явления.



тальной обработки. Но справедливость требует сказать, что основная мысль этого учения, по крайней мере по отношению к занимающему нас вопросу, была предугадана с замечательной проницательностью последователями учения, перешедшего в историю с далеко не лестной славой [1]),—учения, которого слабость, можно сказать, заключалась в его силе, которое оказалось несостоятельным только потому, что пыталось охватить в одном взгляде слишком обширную область явлений. Я разумею учение о флогистоне; его неудача зависела главным образом оттого, что оно не делало укоренившегося впоследствии различия между химическими и физическими явлениями, благодаря которому химия, ограничив, съузив на время свою задачу, сделала громадные успехи, дозволившие ей теперь вновь вернуться к более широкой задаче, к слиянию с физикой. Последователи этого учения пытались в свои представления о явлениях, в свои химические уравнения, ввести и вещество и силу, и это было тем более понятно, что современная наука верила в материальность физических деятелей. Таким образом, поборники учения о флогистоне в своих воззрениях на рассматриваемый нами процесс стояли ближе к нам, смотрели на дело с более широкой точки зрения, чем писатели промежуточного времени, и только недостаток фактических сведений помешал им придать своим воззрениям должную определенность. Но не следует забывать, что если легко создавать теории, когда наука вошла в такой период развития, когда их можно уже формулировать цифрами, то каково же создавать теории, когда их едва можно выразить словами. С подобной точки зрения можно только удивляться проницательности некоторых писателей конца прошлого столетия, отцов нашей науки, в воззрениях которых нельзя не узнать мыслей, получивших определенность и ясность только в половине настоящего столетия. Стоит только сделать подстановку некоторых слов и выражений, и в приведенных в виде эпиграфа в начале этого сочинения словах Сенебье мы несомненно увидим ту же мысль, которая так блистательно впоследствии высказана Майером и др. [2]).

Как бы то ни было, но с должною ясностью учение о значении света в этом процессе было высказано в средине сороковых годов настоящего столетия.

Роберт Майер, Гельмгольц и, одновременно с ними и почти в таких же определенных выражениях, Дрепер высказали мысль, что при этом процессе совершается прямое превращение, накопление солнечной энергии. То, что прежде объясняли непонятным влиянием, теперь объяснялось прямым поглощением, затратой силы. Между тем как прежде, можно было приписывать выдающуюся роль в этом процессе растению, с точки зрения сохранения энергии, главное значение в этом процессе получал внешний источник силы — солнце. Стало ясно, что как ни один атом углерода не создан растением, а проник в него извне, так и каждая единица тепла, представляемая органическим веществом растения, произошла из внешнего источника силы. Значительный свет на ясное понимание этого процесса пролило открытие явлений диссоциации. Между тем как прежде реакция разложения таких прочных соединений как $CO_2$ и $H_2O$ не могла быть осуществлена иначе, как при содействии третьего тела, обладающего большим сродством к кислороду, явления диссоциации обнаружили возможность подобного разложения при одном только действии физических деятелей, именно тепла. Около того же времени Бертло высказал мысль, что реакции подобные синтезу органических веществ в растении должны сопровождаться поглощением тепла, следовательно, не только разложение воды и углекислоты, но и вторая стадия явления, т.-е. образования из продуктов разложения органического вещества, требует внешнего источника силы.

Таким образом, исходя из двух основных начал, что усвоение углерода—реакция эндотермическая, и что единственный источник потребной на то силы—лучистая энергия солнца, любопытно было проследить ближе эту связь между действующей силой и производимой работой.

Приступая к изучению этого явления, прежде всего предстоит разрешить вопрос, какие лучи солнечного спектра действуют наиболее энергично. Естественнее всего было предположить, что это явление будет зависеть от энергии луча, от его живой силы, измеряемой его тепловым эффектом, что подобно тому, как диссоциация угольного ангидрида происходит энергичнее при высокой температуре, чем при низкой, и разложение ее в растении будет вызываться преимущественно лучами, которые обладают большим тепловым напряжением [3]). Но подобное мнение находилось в прямом противоречии с господствовавшим убеждением ботаников.

---

[1]) Впрочем, в последнее время, кажется обнаруживается стремление отдать должную справедливость этому учению.

[2]) Та же мысль проглядывает во многих местах сочинения Сенебье как напр. „il (le phlogistique) me paroit une lumière eteinte, mais prête à s'allumer".

[3]) Сходство разложения угольного ангидрида в растении с явлением диссоциации увеличивается еще тем обстоятельством, что первое, подобно последнему, возрастает с увеличением температуры и уменьшением парциального давления. Это воззрение на сходство обоих явлений развито мною в моем исследовании над хлорофиллом.

Если между энергией луча и разложением угольного ангидрида в растении существует прямое отношение, то в солнечном спектре разложение должно происходить наиболее энергично в тех лучах, которые оказывают наибольшее действие на термометр, т.-е. в красных, и за ними. Между тем в науке господствовало убеждение, что всего сильнее действуют желтые лучи, т.-е. лучи наиболее светлые, и это воззрение даже формулировалось таким образом, что действие света на этот процесс сходно с его действием на глаз.

Дрепер, первый высказавший (на основании своих опытов) это мнение, пытался объяснить странное, непонятное совпадение между объективным действием света на химический процесс и субъективным его действием на глаз, при помощи следующей гипотезы. Самый акт зрения, по его мнению, ничто иное как химическое явление, превращение органического, а следовательно углерод содержащего вещества сетчатой оболочки глаза. Если допустить, что соединения одного и того же элемента разлагаются одинаковыми лучами, то это соотношение между разложением углекислоты и актом зрения будет понятно. Еслиб, говорит Дрепер, наша сетчатая оболочка состояла из хлористого серебра, то самыми светлыми лучами оказались бы не желтые, а фиолетовые и так-называемые темные, химические. Несостоятельность этой гипотезы, кроме произвольности толкования самой сущности акта зрения, доказывается тем, что различные органические вещества, напр. пигменты, изменяются под влиянием различных лучей, следовательно, подобная связь между известными лучами и химическими элементами соединения не оправдывается.

Эта гипотеза была, тем не менее, удовлетворительной, для своего времени, попыткой на установление рациональной связи между двумя разнородными явлениями. Последователи Дрепера, преимущественно немецкие ботаники, не знакомые с подлинными трудами Дрепера, приняли его теорию как догмат и в такой форме, без всякой критики, повторяли ее в течении почти четверти столетия [1]).

Для всякого мыслящего человека представлялось два исхода: или найти рациональное связующее звено между двумя, повидимому, неимеющими ничего общего фактами, или опровергнуть самое существование этой связи. Последнее мне казалось более вероятным. Теоретические соображения говорили в пользу другой связи — связи между живой силой луча (его тепловым напряжением) и его значением в этом процессе. С другой стороны, внимательная критика опытов Дрепера и других исследователей убедила меня в малой их доказательности, т.-е. привела к заключению, что убеждение о преобладающем действии желтых лучей лишено фактического основания.

Рассмотрим ближе употребляемые при подобных опытах приемы исследования. Для разрешения вопроса, какие лучи солнечного спектра действуют наиболее благоприятно в процессе разложения углекислоты, можно поступить двояким образом. Можно уединять известные пучки лучей; пропуская свет чрез цветные среды (стекло, жидкости, пленки желатины), и заставлять их действовать на одинаковые поверхности зеленых органов. Этот прием можно назвать способом экранов. Или можно подвергать зеленые органы, одинаковой поверхности, непосредственному действию различных частей спектра. Первый способ более удобен, потому что при нем свет мало ослаблен, но вообще менее точен и в особенности не пригоден для ближайшего определения группы лучей наиболее деятельных. Второй дозволяет точнее определить положение maximum'a явления, но представляет затруднения, вследствие значительного ослабления света.

Добени в 1835 году употребил первый способ и при его помощи мог показать, что так называемые химические лучи оказывают весьма слабое действие, между тем как лучи, прошедшие чрез желтый раствор, почти не оказывающие действия на серебряные препараты, действуют почти также энергично, как полный белый свет [2]).

Те же результаты и тем же путем получил и Дрепер. Но сверх того, Дрепер (в двух исследованиях, помещенных в Philosophical Magasine за 1843 и 1844 года и в его

[1]) К сожалению, замечательное по богатству мыслей сочинение Дрепера „On the forces which produce the organisation of plants" почти неизвестно ботанической публике, судя по тому, что Пфеффер, считающий, как он выражается, своим долгом познакомить немецкую публику с трудами этого ученого, сам знаком только с переводными из них извлечениями. Правда, Пфеффер сознает за собою преимущество в этом отношении пред своим учителем Саксом, который при составлении своих критических статей не имел перед собою даже этих переводов, а следовательно, получал свои сведения о работах Дрепера из третьих, четвертых рук. Впрочем, преимущество Пфеффера перед Саксом не так велико, как он полагает, так как Дрепер в предисловии своей книги просит не доверять этим переводам, часто извращающим его мысли.

[2]) Исследование Добени не дозволяет сделать никакого определенного заключения об относительном значении красных и желтых лучей. Один из интересных, по отношению к занимающему нас вопросу, результатов заключается в том, что зеленые лучи оказывали менее действия, чем синие



сочинении On the forces which produce the organisation of Plants) сделал еще три опыта, непосредственно в спектре, и на основании этих опытов пришел к известному нам уже заключению.

Посмотрим, имел ли он право делать такое заключение.

Опыт производился таким образом. Ряд трубок, наполненных водою, насыщенною углекислотой, и содержавших примерно, равное количество листьев (злаков или хвойных), предварительно выдержанных в этой воде, в темноте, от 2-х до 4-х дней (для удаления с их поверхности пузырьков воздуха) выставлялся часа на полтора в солнечный спектр. По окончании опыта, выделившийся газ измерялся, а в последнем опыте был подвергнут анализу. Для того, чтоб убедиться, что количество зеленых органов в каждой трубке было приблизительно равно, после опыта производилась поверка — все приборы выставлялись непосредственно на солнечный свет, причем давали не вполне, а приблизительно равные количества газа.

Всего произведено три опыта; во всех трех, наибольшее количество газа выделилось в желтой части спектра, ближе к зеленой, как это можно видеть из приводимых цифр.

| Часть спектра. | I. Количество газа. | II. Количество газа. |
|---|---|---|
| Крайняя красная | 0,33 | 0,0 |
| Красная и оранжевая | 20,0 | 24,75 |
| Желтая и зеленая | 36,0 | 43,75 |
| Зеленая и голубая | 0,1 | 4,10 |
| Голубая | 0,0 | 1,00 |
| Синяя | 0,0 | 0,0 |
| Фиолетовая | 0,0 | 0,0 |

| | III. Количество газа. | Состав. |
|---|---|---|
| Крайняя кр. и кр. | 0,0 | |
| Оранжевая желтая | 19,8 | O. 40,4<br>N. 59,6 |
| Желтая и зеленая | 27,4 | O. 45,6<br>N. 54,4 |
| Голубая | 0,0 | |
| Синяя и фиолетовая | 0,0 | |

Анализ произведен только в последнем опыте и дал результаты, трудно объяснимые—вместо кислорода, с примесью углекислоты, как можно было ожидать, он состоял более чем наполовину из азота, а углекислоты вовсе не оказалось. Дрепер объяснял этот непонятный факт появления таких больших количеств азота тем, что листья, пробыв предварительно 2 дня в воде, в темноте уже *начали разлагаться*. Вообще можно сказать, что химическая часть опыта далеко неудовлетворительна. То же, с еще большею справедливостью, можно сказать о физической стороне опыта. Для того, чтобы иметь достаточно яркий спектр, Дрепер получал его при помощи луча, прошедшего чрез *отверстие* в ставне *в три четверти дюйма в диаметре* [1]). Понятно, что полученное при таких условиях цветное изображение почти нельзя назвать спектром; оно образовалось чрез налегание множества спектров, накрывающих один другой в средней части и производящих там почти белый свет. Понятно, что различные части не могут быть между собою сравниваемы, так как только края представляют однородный, монохроматический свет, средняя же занята смесью лучей — и эффект суммы этих лучей очевидно должен превосходить эффект однородных лучей. Меллони, в особенности, убедительно выяснил значение этого обстоятельства, т.-е. влияние ширины щели на чистоту спектра. Он показал, что с увеличением ширины щели maximum теплоты, находящийся в темных лучах, передвигается по направлению к видимому спектру и, наконец, может совпадать с красными, желтыми и даже зелеными лучами. Это перемещение maximum'a еще заметнее, если самое вещество призмы (флинт-глас у Дрепера) поглощает темные лучи, а тем более, если свет будет пропущен чрез слой воды, а у Дрепера свет прежде, чем достигнуть листа, проходил слой воды в $^1/_4$ дюйма (диаметр трубок $= ^1/_2$ дюйма). Этих соображений было достаточно, чтобы оправдать сделанное мною заключение, что в спектре

[1]) Повидимому, употребление узкой щели, вместо круглого отверстия (введенное если не ошибаюсь, Вульстеном), не было еще в то время в общем употреблении.

Дрепера оба maximum'а, тепловой и световой, могли совпадать. Но если подобное совпадение существовало, то очевидно, что на основании таких опытов не было возможности заключить, какое напряжение, световое или тепловое, играло здесь роль [1]). Да и вообще, эти опыты не могли указать, какие лучи играли преобладающую роль, так как в одной части спектра действовали однородные лучи, а в другой — смесь разнородных. Другими словами, опыты Дрепера не доказывали того, что он пытался доказать, а следовательно, и опиравшееся на них и господствовавшее в течении 25 лет учение было лишено основания.

То же справедливо и относительно позднейших исследований, каковы, напр. опыты Клоеза и Грасьоле и Кальте. Эти исследователи собственно не задавали себе вопроса, какие лучи действуют наиболее энергично, а довольствовались заявлением факта, что лучи, прошедшие чрез одну какую-нибудь цветную среду, действуют энергичнее, чем лучи, прошедшие чрез другую среду. Так, напр., их опыты приводят к заключению, что под желтым стеклом разлагается более углекислоты, чем под красным, но это, очевидно, не разъясняет вопроса об относительном значении желтых и красных лучей, потому что желтая среда пропускает не только желтые, но и красные и оранжевые лучи. Таким образом, свет, прошедший чрез желтую среду, действует суммой тех и других лучей и действие его не может быть прямо сравниваемо с действием красного света. Но если в опытах Кальте (дающих более определенные результаты) из количества углекислоты, разложенной под желтым колпаком, вычесть количество ее, разложенное под красным, то разность представит количество, разложенное собственно желтым (и соседними с ним) лучами. Эта величина оказывается менее той, которая соответствует красным лучам. Следовательно, если на основании этих опытов можно сделать какой-нибудь вывод, то разве только тот, что действие красных лучей более энергично, чем действие желтых. Значит, эти опыты говорят скорее против, чем за теорию Дрепера.

Опыты Сакса нисколько не подвинули вопроса, так как они только подтверждали факт, уже доказанный Добени и Дрепером, именно, что синие лучи оказывают очень слабое действие. К тому-же опыты Сакса представляют не только бесплодное повторение известного, но даже шаг назад с точки зрения употребляемых им приемов исследования. А между тем в то время Буссенго, в своих работах, предложил новый прием исследования над отдельными листьями или кусками листьев, в газе, а не в воде. В своих сообщениях парижской академии, он не описал самых приемов исследования. Занимаясь летом 1867 года изучением этого явления, я употребил некоторые, весьма простые и удобные приемы, которые и описал в сообщении, сделанном на первом съезде естествоиспытателей в С.-Петербурге.

Таково было положение дела, когда я предпринял свое первое исследование, которое и привожу здесь сполна, так как, отвечая на нападки моих критиков, я должен буду на него ссылаться.

---

„Мы можем судить о напряжении какой-нибудь силы, только измеряя ее действие. Действие солнечных лучей обнаруживается главным образом в проявлениях троякого рода: они нагревают тела; они светят, т. е. раздражают сетчатую оболочку глаза; они вызывают некоторые химические процессы, как напр., восстановление серебряных солей. Хотя невозможно вполне разделить эти три проявления луча, но их легко различать вследствие их неодинакового распределения в призматическом спектре.

Весьма естественно, что один из первых вопросов, который пытались разъяснить, предприняв опыты над влиянием света на процесс разложения углекислоты, был следующий: которому из этих трех проявлений света пропорционален изучаемый процесс, т. е. другими словами, действует ли солнечный луч, как источник тепла, света или химической силы.

Уже Добени и Дрепер показали, что этот процесс не пропорционален химическому действию света, а последний считал также доказанным, что процесс этот не пропорционален и тепловому напряжению лучей, так как maximum разложения найден им в желтых, а не в красных лучах или за ними. Но если подвергнуть более строгой критике употребленный им метод, то не трудно убедиться, что употребленные им приемы были таковы, что оба maximum'а могли совпадать [2]).

---

[1]) Как ярок, а следовательно, и как *нечист* был спектр Дрепера, можно заключить из того, что этот ученый уже в 1½ часа получал ясные результаты, между тем, как мы увидим, к каким чувствительным приемам исследования нужно прибегать, чтобы обнаружить 6—8 часовое действие спектра *чистого*.

[2]) Я нахожу неудобным вдаваться в подобном коротком сообщении в критическую оценку относящейся сюда литературы и надеюсь привести ее в непродолжительном времени. Для подтверждения же только что высказанного мнения смотри *Draper*: A treatise on the forces which produce the organisation of plants. Appendix, ch. XV p. 17, и *Melloni*: Essai d'une analyse calorifique du spectre solaire (Bibliothèque Universelle, t. LIX, p. 141).



Дальнейшие исследования Клоеза и Грасьоле и Кальте мало содействовали разъяснению вопроса об относительном значении желтых, красных и вне-красных лучей в этом процессе. Эти исследователи помещали зеленые растительные органы под колпаками из цветного стекла и нашли, что под желтым стеклом разлагается более углекислоты, чем под красным. Но приводимые ими цифры не дают нам никакого верного представления о действии желтых лучей в сравнении с красными, потому что прошедший чрез желтое стекло свет представляет смесь красных, оранжевых, желтых и зеленых лучей. Но если разность между действием желтого и красного стекла мы припишем желтым и зеленым лучам, то их действие окажется более слабым, чем действие красных лучей. Но этот результат может быть объяснен двояким образом: возможно, что красные лучи оказывают наибольшее действие в этом процессе, но возможно и то, что употребленное красное стекло пропускало часть оранжевых и даже желтых лучей [1]). Кальте считал также доказанным, что темные тепловые лучи не оказывают никакого действия, потому что свет, прошедший через раствор иода в сернистом углероде, не оказал никакого разлагающего действия. Но следует заметить, что этот раствор пропускает темные лучи без поглощения только тогда, когда он заключен в сосуды из каменной соли и когда слой не слишком толст [2]).

Отсюда вытекает очевидное заключение, что для разрешения поставленного вопроса безусловно необходимо употреблять только тщательно исследованные, посредством спектроскопа, цветные среды, чтобы получить уверенность, что имеешь дело, с одной стороны, с красными, с другой—с оранжевыми, желтыми и зелеными лучами.

Я выбрал способ цветных жидкостей, потому что он очень прост и удобен, и дает приблизительно верные результаты [3]). Я также предпочел жидкости цветным стеклам, потому что их можно по желанию приготовить для требуемой части спектра. Что касается химической стороны дела, анализа газов, то я в общих чертах придерживался превосходного метода Буссенго, употребленного им в его исследованиях „Sur la fonction des feuilles“ [4]).

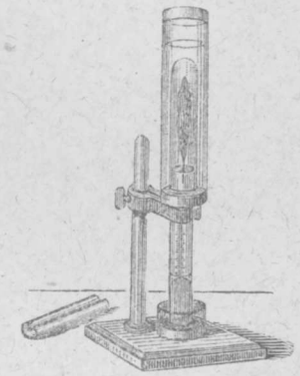


Рис. 1.

Три олеандровых листа, с определенною поверхностью помещались в градуированные и калиброванные стеклянные трубки, замкнутые ртутью. На каждую трубку надвигался при помощи пропитанной парафином пробки стеклянный цилиндр; кольцеобразный промежуток между двух трубок в 1 сантиметр шириною наполнялся цветным раствором. Эти растворы были предварительно подвергнуты спектральному исследованию в непосредственном солнечном свете в сосудах с параллельными стенками и с толщиною слоя в 1 сант.

Все три листа получали примерно равные, отмеренные количества углекислоты, а остающаяся по окончании опытов углекислота поглощалась в том же приборе раствором едкого кали. При этих операциях соблюдались все необходимые при газовом анализе правила. Разность между взятой и оставшейся углекислотой выражало количество разложенной листом.

Употреблены были следующие растворы:

*Красная жидкость.* Аммиачный раствор кармина, темнокрасный; пропускает красные и часть оранжевых лучей до 35 черты скалы спектроскопа (см. рис. 2 при 8 начало видимой части спектра.

---

[1]) Приводимые Клоезом количества углекислоты, разложенной под синим стеклом, также очень велики, по всей вероятности потому, что он употреблял обыкновенное кобальтовое стекло, пропускающее, кроме синих, и красные лучи.

[2]) Из опытов Кальте обнаруживается еще удивительный результат, что зеленые лучи оказывают даже *вредное* действие, так как под ними увеличивается выделение углекислоты.

[3]) Если желать избегнуть ошибки Дрепера, то его способ представляет значительные трудности, тем не менее я не теряю надежды их преодолеть и проверить полученные мною результаты посредством этого прямого метода.

[4]) Более подробное описание приборов и приемов исследования я должен отложить до своей подробной работы. Аппараты употреблены были мною те самые, которые я показывал на съезде натуралистов в Петербурге (см. реферат в Bot. Zeit. 1868, № 26). Довольно странно, что Мюллер, приводящий подробный разбор прежних методов (Pringsheim. Jahrb. S. 64), не упоминает о методе Буссенго и даже говорит, что Кальте употребил старый неточный прием.

*Желтая жидкость.* Кислая хромисто-калиевая соль; пропускает красные, оранжевые, желтые, зеленые лучи до черты 75.

*Зеленая жидкость.* Раствор хлористой меди слабой концентрации; пропускает от 35 до 95 черты, следовательно часть оранжевых, желтых, зеленых и часть синих лучей.

*Синяя жидкость.* Раствор окиси купраммония средней концентрации; пропускает лучи с 79 черты до конца видимого спектра.

Так как у меня было всего три аппарата, то я мог употреблять в один раз только три жидкости и потому полный опыт состоял из двух частей. На первый раз употреблялась прозрачная (вода), желтая и синяя жидкость, т.-е. весь спектр и его две половины; затем желтая, зеленая и красная жидкость, т.-е. половина спектра, и ее две части. Если количество углекислоты, разложенное в белом свете, принять за 100, то в остальных цветах разложились следующие количества.

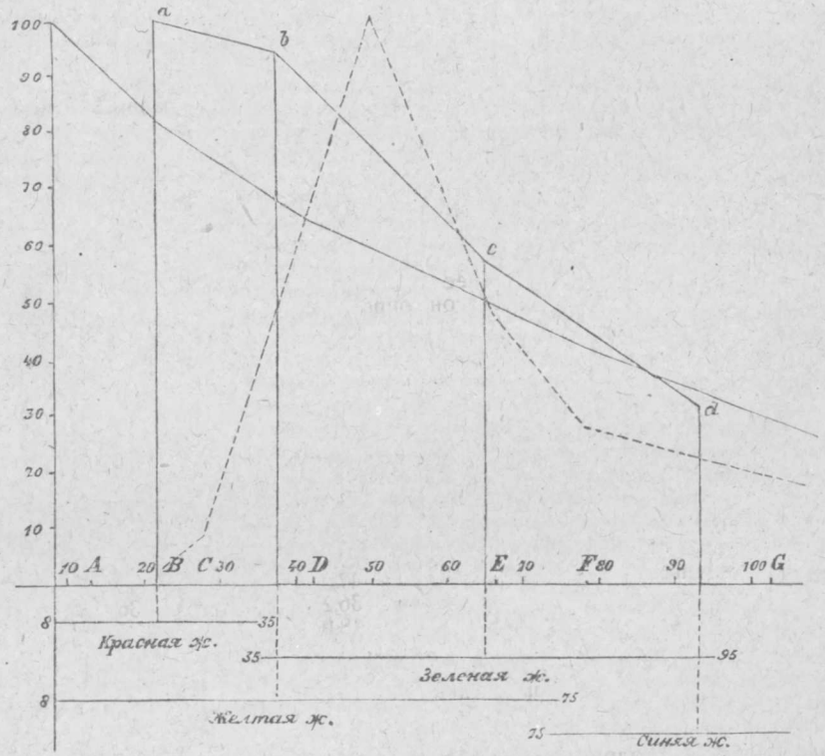



Рис. 2.

Количество разложенной углекислоты:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Под | бесцветной | жидкостью | (средняя из двух наблюдений) | 100,0 |
| „ | желтой | „ | 7 „ | 86,2 |
| „ | зеленой | „ | 9 „ | 47,5 |
| „ | красной | „ | 9 „ | 36,2 |
| „ | синей | „ | 9 „ | 18,0 |

Эти цифры, по сравнении их с протяжением соответствующих частей спектра могут послужить для построения кривой, выражающей напряжение разложения в различных частях спектра.

Если принять соответствующие различным жидкостям части спектра за абсциссы и из их средин восставить ординаты a. b. c. d. (= частному от деления количества, разложенной под соответствующей жидкостью углекислоты, на протяжение соответствующей части спектра), то получим линию abcd. В той же фигуре приведены кривые, изображающие распределение в спектре тепла и света (последняя по Фраунгоферу).



Легко усмотреть, что линия abcd приближается более к тепловой, чем к световой линии, потому что ее maximum соответствует minimum'у последней, и обе линии перекрещиваются.

Следует заметить, что при построении линии abcd принималась во внимание только видимая часть спектра; но если действие света на процесс разложения пропорционально его тепловому напряжению, то следует принимать во внимание и темные лучи. Тогда точки a, b приблизились бы к красному концу спектра и совпадение линии abcd с тепловой кривой было бы еще нагляднее. Само собою понятно, что эти три линии довольно разнородны, так что их едва можно сравнивать. Тепловая и световая кривая представляют распределение обоих действий непосредственно в спектре, между тем как линия abcd составлена из обрывков спектра, полученных чрез цветные среды. Эта линия могла бы служить для нашей цели только в том предположении, что свет, прошедший чрез жидкости, в каждом случае ослаблен в одинаковой степени, т. е. представляет одинаковый процент падающего на прибор света; но для подобного допущения мы не имеем достаточного основания. Эти различия не могут быть однако очень велики, так что мы можем рассматривать линию abcd как довольно близкое приближение к действительности.

Для получения цифр, пригодных для построения вполне сравнимых между собою кривых необходимо:

1) Определить влияние темных тепловых лучей на разложение углекислоты.

2) Все употребленные жидкости исследовать непосредственно фотометрически и термоскопически (при помощи термомультипликатора).

Когда моя работа была уже окончена, я узнал о существовании исследования Мюллера [1]), в котором он делает попытку изучить распределение теплоты в солнечном спектре при помощи цветных сред. По счастью он употребил те же самые жидкости, которые и я употреблял, но тем не менее его цифрами можно пользоваться только с большою осторожностью, потому что он определяет протяжения спектров только в общих выражениях и притом степень концентрации его жидкостей была иная.

Если, не смотря на это, сопоставить результаты того и другого исследования, т. е. количества разложенной углекислоты и пропускаемой чрез соответствующие жидкости лучистой теплоты, то получим близко совпадающие цифры.

| | Количество разложенной углекислоты. | Тепловой эфект соответствующ. лучей (по Мюллеру). |
|---|---|---|
| Под водой . . . . . | 100,0 | 100 |
| „ желтым раствором . . . | 86,2 | 75 |
| „ зеленым „ . . . | 47,5 | 48 |
| „ красным „ . . . | 36,2 | 36 |
| „ синим „ . . . | 18,0 | 9 |

Из этой таблицы видно, что всего более расходятся цифры для желтой и синей жидкости, но именно эти растворы были у Мюллера очень концентрированы, у меня очень слабы.

Хотя этих результатов не достаточно для доказательства пропорциональности между разложением и тепловым напряжением лучей, но, тем не менее, я полагаю, что они делают этот вывод весьма вероятным и во всяком случае противоречат воззрению Дрепера.

Я удерживаю за собою право на дальнейшее исследование этого вопроса, основанное на непосредственном фотометрическом и, что еще важнее, термоскопическом изучении употребленных жидкостей".

---

Первая работа в первом выпуске трудов ботанического института профессора Сакса посвящена занимающему нас вопросу, и очевидно вызвана моей статьей. Принадлежит эта работа доктору Пфефферу, в первый раз выступившему с ней перед ботанической публикой. В критической части своего труда Пфеффер уделил разбору моей работы почти столько же места, сколько занимает и вся моя статья. В этой критике она признается окончательно негодною, на каждом шагу обличается мое невежество в физике, мне навязывается гипотеза, которой я не высказывал, и, наконец, бросается тень на мою нравственную личность—мне приписывается подлог. Почти четырехлетнее

---

[1]) Untersuchungen über die thermischen Wirkungen des Sonnenspectrums von Dr. I. Müller. Pogg. Annal. B. 105. S. 337. 1858.

молчание, которым я встретил эту критику, служит лучшим доказательством, какую цену я придавал этим нападкам, но теперь, будучи вынужден для разъяснения дела, заговорить о ней, я считаю долгом рассеять в уме читателей все те сомнения, которые могли запасть при чтении работы Пфеффера. Я считаю долгом предупредить, что не оставляю без ответа ни одного возражения кроме придирок к опечаткам и голословного глумления [1]).

Допуская, что употребленный мною способ исследования хорош [2]), он указывает только на один, по его мнению, существенный источник ошибки в моей работе. Он находит, что я должен был бы удалять лист во время поглощения углекислоты едким натром, так как иначе выделяющаяся во время поглощения углекислота могла быть причиной погрешности в определении. На это я отвечу цифрами. Самое большое количество углекислоты, разлагавшейся в моих приборах, не превышало 4—5 кубических сантиметров, в промежуток времени от 7 до 8 часов. На основании обширных исследований Буссенго, за равные промежутки времени, образуется углекислоты, примерно, в 20 раз менее, чем разлагается. Поглощение оставшейся углекислоты, при взбалтывании, оканчивалось в $^1/_2$ часа (Пфеффер, правда, производил отчитывание чрез 15 часов — но его пример ни для кого не обязателен). Таким образом, наибольшее количество углекислоты, которое могло образоваться в $^1/_2$ часа, было $^5/_{300} = {}^1/_{60}$ куб. сантиметра. А мои трубки, вследствие широкого калибра, были разделены на $^1/_2$ куб. сант., а в зрительную трубку можно было легко отчитывать $^1/_{10}$ деления, т. е. $^1/_{20}$ куб. сант. Следовательно, указываемая ошибка была в пределах погрешности метода и обращать на нее внимание значило бы обнаруживать совершенно излишнее усердие. Доктору Пфефферу не мешало бы припомнить изречение — pas trop de zèle, так как мы увидим, что в его приборах предел чувствительности был еще ниже.

Далее доктор Пфеффер осуждает мой способ обозначения результатов. Во-первых, ему не нравится, почему я изображаю спектр флинт-гласовой призмы и все результаты отношу к этому спектру, а не к какому иному, напр., к спектру водяной призмы, почему-то особенно ему нравящейся. Он даже полагает, что это изменило бы самые результаты. На это я могу возразить, что я определял спектр своих жидкостей посредством обыкновенного спектроскопа с флинт-гласовой призмой и, следовательно, к ней и ни к какой иной должен был отнести результаты [3]). Определять отдельные части спектра посредством одной призмы, а результаты относить к полному спектру другой, значило бы делать очевидную нелепость. Доктору Пфефферу повидимому не понятна основная мысль, что сравнивать между собою можно только величины, отнесенные к одной общей мере, и что затем к какой бы призме ни были отнесены результаты, лишь бы только все определения были отнесены к одной, отношение между линиями не может измениться. Переводить же *все* определения с одной призмы на другую значит забавляться вполне невинными, но зато и вполне бесцельными арифметическими упражнениями. Далее Пфеффер порицает мой способ получения ординат. Я беру за ординаты частное от деления количества разложенной углекислоты на протяжение части спектра, соответствующей взятой жидкости. Доктор Пфеффер берет за ординаты прямо количество разложенной углекислоты. На это можно возразить, что доктору Пфефферу не мешало бы справиться в любом руководстве геометрии, как, зная площать прямоугольного треугольника и его основание, найти половину его высоты, или как, зная площадь трапеции и ее высоту, найти линию, соединяющую средины ее непараллельных сторон. Количество углекислоты, разложенной под каждой жидкостью, при графическом обозначении представляет известные площади и принимать площади за линии, как это делает Пфеффер, значит не понимать того, что делаешь, не понимать сущности графического приема [4]).

Наконец, переходя к оценке моих результатов, Пфеффер для более удобного поражения меня навязывает мне гипотезу, которой я не высказывал, и затем победоносно ее опровергает. Этот прием или ничего не доказывает или только доказывает, что только Пфеффер не понимает различия между гипотезой и простым заявлением факта. Я

---

[1]) Так, напр., в немецком тексте упомянуты только три жидкости. Неисправность корректуры видна уже из того, что редакция, не поместив моей таблицы, оставила ссылки на нее в тексте.

[2]) Причем Пфеффер выражается таким образом: Тимирязев употребил тот же способ, который и я употребил, и который дает хорошие результаты;—хронологический порядок дела требовал бы совершенно извратить эту фразу.

[3]) Может быть в Вюрцбургском ботаническом институте и употребляют спектроскопы с водяной призмой, но такая не имеющая смысла фантазия, очевидно, не найдет подражания.

[4]) Говоря о критике Ломмеля, я еще буду иметь случай возвратиться к этому вопросу.



утверждал только одно, что мои факты не согласны с взглядом Дрепера. Что же касается до пропорциональности с тепловым напряжением, то я выразил эту мысль со всевозможными ограничениями и сам же указал на необходимость непосредственного определения термохроичности употребленных жидкостей (посредством термомультипликатора) и изучения действия темных лучей. Доктор Пфеффер, как будто не замечая заключительных слов моей статьи, обязательно советует мне испробовать термохроичность моих жидкостей и указывает на работу Десена (Desain) из которой оказывается, что мой раствор окиси купраммония пропускает более тепловых лучей, чем зеленый раствор хлористой меди, между тем за первым разложение углекислоты гораздо слабее, чем за последним. По этому поводу я могу привести следующие объяснения. Не обладая даром пророка, я мог сравнивать свои результаты с данными Мюллера, работа которого появилась ранее моей, но никак не мог сравнивать их с данными Десена, появившимися чрез два года после моей работы. Скажу более: убедившись в необходимости ближе ознакомиться с явлениями лучистой теплоты, я отправился в 1869 году именно к тому Десену, на труды которого Пфеффер так любезно мне указывает, как к одному из физиков специалистов по этому предмету. Первые же опыты над моими жидкостями разубедили меня в возможности видеть прямой параллелизм между действием луча на термический столбик и на разложение углекислоты. Самые неожиданные (и несогласные с данными Мюллера) результаты получились для синего раствора, и в то время (осенью 1869) Десен не мог мне дать удовлетворительного объяснения [1]). Весною 1870 года появилась его работа разъяснившая это обстоятельство. Оказалось, что эта синяя жидкость пропускает (подобно многим другим синим телам) оба конца спектра, следовательно, и темные тепловые лучи. После этого запоздалого совета доктор Пфеффер старается доказать, что даже результатов Дрепера и Кальте было достаточно для того, чтобы убедить меня в невозможности какой либо связи между тепловым напряжением света и разложением. Он говорит, что мой приговор над Дрепером ему непонятен; но если он не прочел указанных мною мест, или прочел их и не понял, то вина в том не моя. Об опытах Дрепера я уже высказал свое мнение, остается сказать еще несколько слов об опыте Кальте. В опыте этого последнего за раствором иода в сернистом углероде не произошло разложения углекислоты, и Пфеффер считает этот опыт решительным. Я могу повторить здесь то же, что уже сказал выше. Опыты с подобным раствором, теплопрозрачность которого не была непосредственно определена, остаются мало убедительными. Сказать раствор иода в сернистом углероде—не значит сказать жидкость вполне прозрачная для темных лучей. Тиндаль ясно говорит, и Пфеффер сам приводит это место, что растворы содержащие много иода; или взятые в очень толстом слое, значительно поглощают тепловые лучи. Судя по изменению в цвете слабых растворов с увеличением концентрации, это поглощение и за пределами видимого спектра должно происходить преимущественно со стороны наиболее преломляющихся лучей. С другой стороны, известно, что стекло и вода поглощают лучи, наименее преломляющиеся; следовательно, можно предположить, что раствор с избытком иода, заключенный в стеклянном сосуде, будет пропускать только ничтожную долю тепловых лучей и из них еще часть будет поглощаться водянистой средой самого растения. Убедительным доказательством справедливости этого взгляда, что растворы иода в сернистом углероде могут быть весьма различного свойства, служит противоречие между опытами самого Пфеффера и Кальте. У Пфеффера за этим раствором выделилось довольно значительное количество углекислоты, у

---

[1]) Привожу несколько цифр из своей записной книги. При пропускании света карсельской лампы чрез красный и зеленый растворы, гальванометр дал в среднем следующие отклонения: для красного 16,5; для зеленого 21,5. Эти величины относятся между собою, как 36 : 45 — отношение близкое к 36 : 48, которое получается из данных Мюллера.

Для изучения телопрозрачности синей жидкости взят был источник света более сильный — лампа Бурбуза. Вот один из опытов, представляющий в резкой форме различие в теплопрозрачности синей и зеленой жидкостей. В опытах, означенных цифрой 1, луч пропускался чрез ванну в 1 с. м. толщиною с синим раствором и чрез такую же ванну с водой; в опытах, означенных цифрой 2, к этим двум присоединялась еще третья в 1 м. м. с зеленым раствором хлористой меди. Вот показания гальванометра:

1 — 35°
2 — 0°
1 — 37°
2 — 2°

Из этих цифр видно, что теплые лучи, пропускаемые синей жидкостью поглощаются зеленой.

Кальте ее не выделилось вовсе—следовательно, должно заключить, что соответствующее количество разложилось. Правда, Пфеффер разрешает это противоречие весьма просто: он говорит, значит раствор Кальте пропускал световые лучи. Остается только удивляться смелости доктора Пфеффера.

Но самый сокрушающий довод против приписанной мне гипотезы доктор Пфеффер приберег к концу. Привожу собственные его слова, как образец его остроумия и логики, тем более, что он сам очевидно находит это место особенно удачным, так как ссылается на него в своей второй работе. „Наконец, на основании этой гипотезы, углекислота должна разлагаться и в темноте, если только Тимирязев не вздумает приписывать теплоте, испускаемой всяким теплым, не светящимся источником, совершенно иные свойства, чем те, которыми обладают темные тепловые лучи солнца. Но подобное положение он, очевидно, не в состоянии защищать, наперекор всем доказательствам, приводимым физиками". Могу успокоить доктора Пфеффера; я никогда не противоречил физикам, и потому именно не могу утверждать, что лучи всякого темного источника и темные лучи солнца между собою тождественны, и не намерен следовать его блистательной логике, которая привела бы меня, например, к такому силлогизму. „Еслиб углекислота разлагалась при солнечном свете, то она должна бы разлагаться и при слабом рассеянном свете. Но при слабом рассеянном свете она не разлагается—следовательно, она не может разлагаться и при солнечном свете". Вот до какого абсурда может довести способ аргументации, употребляемый доктором Пфеффером.

Если все до сих пор приведенные нападки относились до научной стороны дела, то следующая и последняя направлена уже прямо против моей нравственной личности.

Пфефферу показалось подозрительным указанное мною совпадение между моими цифрами, выражающими количество разложенной углекислоты, и цифрами Мюллера, выражающими тепловой эффект соответствующих лучей (Wärmeeffect der entsprechenden Strahlen). Он справился в работе Мюллера и нашел, что у него совершенно не те цифры. Приведу его собственные слова. „Такое совпадение, которое представлено в табличке Тимирязева, как не трудно убедиться, ровно ничего не доказывало бы, но сверх того, такого совпадения и не оказывается, если обратиться к действительным цифрам Мюллера. Воздерживаясь от всякого суждения, привожу рядом табличку Тимирязева и цифры Мюллера". Вопрос поставлен ясно. У меня одни цифры, у Мюллера другие. Но доктор Пфеффер забыл, что именно вследствие своей категоричности этот вопрос становится обоюдоострым. Возможно только два объяснения: обман, подлог с моей стороны, или непонятливость с его стороны.

И у меня, и у Мюллера были взяты те-же жидкости, но концентрация была различна, так что прямо сравнивать не было возможности. Вот как я поступил. Я прежде всего взял среднюю из его трех рядов опытов, таким образом получились следующие цифры:

| | |
|---|---|
| Для желтой жидкости | 66,3 |
| „ зеленой „ | 9 |
| „ красной „ | 36,6 |
| „ синей „ | 9 |

Но моя желтая, судя по описанию, равнялась его желтой + зеленая = 66,3 + 9 = 75,3. Моя красная была сходна с его красной = 36. Моя зеленая равнялась его желтой — красная + зеленая + синяя = 66,3 — 36,6 + 9 + 9 = 47,7.

Доктор Пфеффер или не понял или не хотел этого понять. и последнее, к сожалению, вероятнее, так как *все свои результаты он вычисляет точно таким же способом*. После этого я с бо́льшим правом могу повторить его слова, что воздерживаюсь от суждения, предоставляя ему самому приискать название для своего поступка.

Этим исчерпывается длинный ряд взводимых на меня обвинений. Предоставляю читателю судить, есть-ли в них хоть одно не обращающееся на голову самого обвинителя. Но здесь естественно рождается вопрос, какая причина этого озлобления, с чего это желание найти невежество и даже недобросовестность там, где их нет. Доктор Пфеффер весьма обязательно, но в то же время довольно наивно, сам дает на это ответ. В заключение своей критической части он говорит: „я полагаю, что после приведенной выше критики всякому будет понятно, что предварительное сообщение Тимирязева не могло помешать мне избрать ту же тему". Дело действительно разъясняется; по мнению Пфеффера, раскритиковав мою работу, он получил право, воспользовавшись моими указаниями, продолжать ее. Следовательно, не раскритиковав ее, он не имел бы этого права. Следовательно, для того, чтобы получить это право, он должен был во что бы то ни стало раскритиковать ее. Подобная точка зрения вполне объясняет беспристрастный тон его нападок.

---



Теперь займемся разбором приемов, употребленных самим Пфеффером, так как без этого невозможно составить себе верного понятия об этой работе, признанной немецкими критиками *образцовою*.

При первом взгляде на прибор, озадачивает отверстие на верху абсорбционной трубки, заткнутое пробкою, но когда обратишься к тексту, то невольно разражаешься смехом. Оказывается, что ни доктор Пфеффер, ни его учитель, профессор Сакс, не знали, как поднять уровень ртути в своих трубках, и для того снабдили их отверстиями затыкаемыми пробкой. Одного этого факта достаточно, чтобы дать понятие о том уровне, на котором стоит экспериментальное искусство в Вюрцбургском ботаническом институте. Наблюдатель, вследствие едва вероятной недогадливости [1]), безо всякой нужды портит свои приборы—приборы ценные, так как они были калиброваны. Правда, Пфеффер приводит доказательства, что он мог затыкать эту пробку с желаемой точностью, но это нисколько не служит доказательством, что не могло случиться оплошности, и никак не оправдывает нарушение одного из основных правил эвдиометрии; чтобы сосуды, где измеряются газы, были по-возможности глухие.

Затем идет целый ряд несообразностей. Проволока, на которой закрепляют лист, торчит из ртути и тем способствует сообщению газов, заключенных в сосуде, с наружной атмосферой [2]). Самую форму трубки нельзя назвать счастливой: для чего эта узкая и расширенная часть? Можно было бы подумать, для большей чувствительности прибора. Пфеффер, правда, везде приводит сотые и даже тысячные доли кубического сантиметра, но это только напрасно вводит в заблуждение читателя, так как исследователь (как увидим ниже) не может ручаться и за десятые. Таким образом при своей узкой трубке он получал менее чувствительные показания, чем я при своих широких, а между тем она должна была служить не малой помехой при извлечении листа из сосуда, так как при этом необходимо должен был увлекаться в значительном количестве воздух. Всякий знакомый с газовым анализом знает, что нужен известный навык для того, чтобы вывести из широкой трубки даже такое тело, как калиевый шарик, а тем, кому это неизвестно, я могу указать на книгу Бунзена. Нужна известная ловкость для того, чтобы не увлечь, вместе с шариком, пузыря воздуха. Какова же должна быть трудность при извлечении листа, поверхность которого всегда упорно удерживает воздух, и когда его приходится протягивать чрез узкую трубку, где невозможен тот быстрый, сухой удар, о котором говорит Бунзен и который известен всякому, знакомому с практикой эвдиометрии. Пфеффер, правда, снова приводит ряд цифр в подтверждение того, что он успешно производил эту операцию, но опять-таки это не служит ручательством, что во всех опытах он был одинаково ловок. Прием, основанный на ловкости экспериментатора,—плохой прием. Наконец, и расширенная часть представляет не удобство, а скорей недостаток: лист может принимать в ней всевозможные положения, так что при одинаковой поверхности может представлять весьма различные площади освещения.

Обращаясь к тексту, встречаем новый ряд несообразностей. Трубки калиброваны, а деления (в пол-миллиметра!) наносятся, от руки, лаком. Отчитывания производятся без зрительной трубы, так что паралактическая погрешность вовсе не устраняется. Наконец, не принимается во внимание изменение в упругости пара вследствие присутствия гидрата кали. А между тем это может составить погрешность не менее 0,3 кубического сантиметра [3]). Вследствие одной этой погрешности большая часть цифр, напр., для количеств углекислоты, разложенной под синей жидкостью, являются величинами фантастическими.

Если же принять во внимание и другие источники ошибок, то можно смело считать, что у него погрешность могла доходить до 0,5 куб. сантим. Я полагаю, что после всего сказанного едва ли можно согласиться с теми немецкими критиками, которые признают эвдиометрическую часть работы Пфеффера—образцовой.

Перейдем теперь к спектральной части опытов. Спектр света, прошедшего чрез жидкость, определялся следующим образом: в колокол, между двойными стенками кото-

---

[1]) К моей немецкой статье был приложен рисунок, из которого можно было понять все подробности моих приемов, но редакция ботанической газеты сочла его излишним, с чем я согласился. Но, видно, мы были слишком высокого мнения обо всех вообще читателях; по крайней мере, для доктора Пфеффера этот рисунок оказался бы полезным, он избавил бы его от описываемой комической ошибки.

[2]) Пфефферу, очевидно, неизвестно указание Бунзена, что конец проволоки в подобных случаях должен быть тщательно погружен под ртуть.

[3]) Вероятно—более, так как Пфеффер брал *насыщенный* раствор гидрата и оставлял газ в прикосновении с ним 15 часов.

рого наливался раствор, непосредственно вводилась труба спектроскопа [1]). Неизвестно, каким образом падал свет на щель спектроскопа, нормально или под углом, и в последнем случае—всегда ли под одним и тем же. Таким образом, неизвестно, исследовался ли непосредственный или рассеянный свет и всегда ли он проходил чрез одинаковую толщину жидкости или, может быть, то и другое было различно, в различных случаях. Далее узнаем, что спектральным прибором служил так называемый анализирующий диафаноскит Сакса, т. е. прибор, не имеющий ни зрительной трубы, ни скалы, следовательно, лишающий наблюдателя возможности точно определять границы спектров. Спрашивается, какую цену можно придавать спектральным наблюдениям, при которых свет проходит в неизвестном направлении чрез слой жидкости неизвестной толщины, ограниченный цилиндрическими непараллельными между собою поверхностями и когда границы поглощения определялись на глазомер? Очевидно, что спектры должны быть схематичны. Если красный раствор был раствор фуксина, то приводимый спектр, очевидно, не верен, так как при этой концентрации он должен был бы уже пропускать синие лучи.

Результат опытов Пфеффера, как известно, был совершенно согласен с результатами опытов Дрепера; maximum разложения совпадал с желтыми, а не красными лучами. Но Пфефферу показалось этого недостаточно, он захотел доказать тот же факт и посредством так называемого метода Сакса, т. е. счета пузырьков, и тем восстановить кредит этого приема, потрясенный исследованиями Ван Тигема. Это желание услужить своему учителю поставило, как мы сейчас увидим, Пфеффера в довольно неловкое положение. Считаю полезным сказать несколько слов о том, как менялись воззрения Сакса и Пфеффера на этот способ исследования. Прежде всего должно заметить, что самое название: „Метод Сакса", которое ему дано, не законно, так как мысль определять интенсивность изучаемого процесса посредством счета пузырьков газа, выделяющегося из разреза водяного растения, принадлежит Дютроше [2]). Говоря в обзоре литературы об исследовании Сакса и критике на него Мюллера, Пфеффер утверждает, что Сакс имел в виду только изучить влияние различных лучей на *быстроту выделения газа*, следовательно, на явление, само в себе (т. е. без отношения к содержанию кислорода) ничего не выражающее. Эта защита, кроме своей странности, фактически неверна, так как сам Сакс в своем руководстве физиологии говорит, что принимал число пузырьков *за меру* (als Mass) выделяющегося кислорода. Впоследствии, в своей второй работе, Пфеффер изменил свое мнение об этом способе, а Сакс в своем учебнике начал утверждать, что он пригоден даже для самых точных исследований. Но в настоящем случае эта тактика была необходима для доктора Пфеффера, так как способ дал результаты до того неблагоприятные, что Пфеффер даже не вычислил их. Вот оба ряда цифр, вычисленных одинаковым образом:

| | Количество выделившегося кислорода. | Число пузырьков. |
|---|---|---|
| В красных и оранжевых лучах. | 32,1 | 44,6 |
| „ желтых лучах . . . . . | 46,1 | 37,9 |
| „ зеленых лучах . . . . . | 15,0 | 12,1 |
| „ синих лучах . . . . . | 7,0 | 19,2 |

Положение, очевидно, было щекотливое: или нужно было отказаться от метода Сакса или усомниться в результатах первого ряда. Пфеффер выходит из этой дилеммы при помощи гипотезы. Он говорит: должно допустить, что число пузырьков не пропорционально количеству кислорода, а что там, где пузырьков выделяется менее, газ кроме того относительно беднее кислородом [3]), т. е. содержит большую примесь посторонних газов, преимущественно углекислоты. Но, во-первых, такое толкование со-

[1]) Известно, что стенки подобных колоколов не бывают и не могут быть вполне параллельны и равномерно толсты,—следовательно, замена моих трубок этими колоколами не представляет усовершенствования, не говоря уже о том, что с точки зрения удобства эти, болтающиеся в воздухе, тяжелые колокола едва ли можно одобрить. У меня, как сказано, жидкость определялась в сосудах с параллельными стенками; им можно было давать наклон, чтобы убедиться, каково будет влияние высоты солнца, которое оказывалось несущественным. Наконец, приготовление жидкости с желаемым спектром в самых колоколах должно быть крайне неудобно или неточно.

[2]) Способ этот Дютроше употребил в его известной работе о дыхании растений.

[3]) Тогда величина для красного света будет менее сама по себе; также уменьшатся величины для оранжевой и фиолетовой жидкости, а, следовательно, увеличатся, вычисляемые из разности, величины для желтых и зеленых лучей.



вершенно произвольно, так как a-priori едва ли можно разрешить, каков будет баланс различных совершающихся при этом процессов. Пфеффер старается доказать это таким образом: он говорит, что при медленном выделении кислород успевает более смешиваться с посторонними газами, но подобное заключение очевидно только для такого случая, когда пузырек кислорода проходит чрез жидкость, содержащую эти газы: тогда понятно, что чем медленнее совершает он свой путь, тем более он примет в себя на пути посторонних газов. Но здесь дело иного рода; в полости растения заключается атмосфера кислорода и углекислоты, находящаяся в равновесии с атмосферой, растворенной в окружающей жидкости; это равновесие нарушается выделением нового количества кислорода. Это выделение обусловливает выделение, в виде пузырька, части смеси, заключенной в полости. Таким образом внутренняя атмосфера становится богаче кислородом, что вызывает диффузию внутрь нового количества углекислоты [1]). Если бы выделение углекислоты из раствора в двух случаях, когда выделение кислорода различно, можно было принять равным, тогда, очевидно, газ в том случае, где кислорода выделяется абсолютно более, был бы относительно богаче кислородом, но ведь выделение углекислоты определяется парциальным ее давлением на жидкость, следовательно, должно быть быстрее там, где кислород выделяется скорее. Повторяю, a-priori нет основания предполагать, чтобы это подвижное равновесие не сохранилось в одном случае также, как и в другом. Это решить может только опыт. Пфеффер полагает, что его цифры именно и являются подтверждением справедливости его взгляда; но он забывает, что рассуждая таким образом он вертится в ложном круге: желая объяснить несогласие цифр двух рядов опытов, он прибегает к гипотезе, а эту гипотезу старается доказать несогласием цифр. Но если даже подобное возрастание содержания кислорода с увеличением числа пузырьков и оказалось бы верным, то оно никак не в состоянии объяснить такое резкое разногласие, каково разногласие цифр Пфеффера. Так, напр., цифра, выражающая количество пузырьков, выделившихся за красной жидкостью, превышает цифру, выражающую количество выделившегося кислорода, на 30%. Едва ли возможно допустить такую примесь посторонних газов. Пфеффер сам указывает на углекислоту, как на главную примесь, но Кноп, производивший обширные опыты над выделением газов из водяных растений и подвергавший их анализу, не находил, даже в таком случае, когда вода была насыщена углекислотой, более процента этого газа. Если таково все количество примеси, то как же ничтожны должны быть величины, выражающие колебания в этом количестве. Таким образом мы видим, что толкование этого процесса, предложенное Пфеффером, довольно шатко и во всяком случае не в состоянии объяснить разногласия между его цифрами.

Следовательно, опыты, производимые по способу пузырьков, не подтверждают, а скорее опровергают результаты, полученные по первому способу [2]).

Тем не менее, результаты первого ряда говорят в пользу защищаемой Пфеффером теории и потому находятся в прямом противоречии с моими результатами. Понятно, что в виду такого фактического разногласия не мне произносить суждение. Полагаю только, что приводимых мною соображений достаточно, по крайней мере, для того, чтобы разубедить читателя в *образцовости* и непогрешимости этой работы [3]). До сих пор я мог указать на целый ряд неточностей, но не могу указать на одну какую-нибудь выдающуюся ошибку, которая могла бы объяснить разногласие наших результатов. Теперь укажу на одну, весьма существенную, неправильность в самом способе получения данных, постоянную для всех опытов и влияющую в направлении, полезном для воззрений Пфеффера. Различие между его результатами и моими заключается в том, что для красных лучей он получает величины выше моих, для желтых — ниже моих. Но способ вычисления для тех и других у меня один и тот же, у него же действие красных лучей определяется непосредственно, действие желтых — косвенно, из разности (100 — n). Но непосредственное определение дает всегда величины *менее действительных* [4]), так как при определении спектров не принимается во внимание полутень краев спектра, да и тот свет, который проходит, все же ослаблен. Таким образом у меня для всех жидкостей была одна ошибка, так как для всех результаты вычислялись

[1]) Поступление углекислоты действует, как обстоятельство, увеличивающее число пузырьков, следовательно, не число пузырьков влияет на содержание углекислоты, а наоборот.

[2]) Какою иронией после этого звучит отзыв критика Botanische Zeitung, который говорит: „автор (Пфеффер) отдает полное уважение методу Сакса и победоносно защищает его от новейших критик."

[3]) Критик Botanische Zeitung говорит: „Пфеффер заслуживает благодарности за свой (?) точный метод" и далее: „поверочные опыты представляют образцовую (musterhaft) точность и полноту". Тот же эпитет musterhaft встречаем и у Бёма.

[4]) См. об этом в статье Мюллера, Pogg, Annalen, B. 105.

непосредственно. Пфеффер этим способом вычислял только для красной жидкости, — следовательно *величины для красных лучей ниже действительных*. Величина же для желтых лучей получалась следующим образом. Определялось количество углекислоты, разложенной под орселином и фиолетовой жидкостью; количество это, на основании сказаннаго, *менее действительного* (на этот раз различие между полученной величиной и действительной должно быть еще более, так как спектр состоит из двух частей, — следовательно, и ошибка двойная). Но, вычитая эту величину из 100, очевидно, получим *для желтых и зеленых лучей величины более действительных*. Покажем на примере: действие желтой жидкости, измеряемое непосредственно, = 88; измеряемое из разности (100—синяя жидкость) = 93. Действие желтых и зеленых лучей из разности (желтая жидкость—красная жидкость) = 88—32 = 56; из разности (100—фиолетовая жидкость) = 61. Можно считать, что ошибка, примерно, около 5% [1]). Тогда, вместо величин 32 : 46, которыми выражается отношение красных лучей к желтым, по Пфефферу, получим уже менее убедительное отношение 37 : 41. Как бы то ни было, при способе вычисления результатов, употребляемом Пфеффером, *ошибка, зависящая от самаго метода экранов, постоянно ложится: с — на красные лучи, с + на желтые,* т. е. в смысле, благоприятном для защищаемой им теории.

К этой постоянной ошибке присоединялась еще следующая неосторожность. Все различие моих и его результатов зависит от того, что величины для орселина, фиолетовой и красной жидкостей менее моих [2]). Следовательно, если результаты Пфеффера зависят от ошибки, то она должна относиться ко всем трем жидкостям. Именно, все эти три жидкости были отнесены к одному ряду. У меня красная и зеленая жидкости всегда находились в одном ряду, следовательно, всякая случайная ошибка ложилась одинаковым образом на ту и другую,—между тем, как мы видели выше, всякая ошибка у Пфеффера ложилась с + в одну, с — в другую сторону. Таким образом, одна какая-нибудь общая ошибка, понижающая в двух последних рядах опытов Пфеффера все величины для цветных жидкостей, изменит не только их обсолютные величины, но и отношение между ними.

Такая ошибка может, например, относиться к общей единице, с которой сравниваются все другие величины, то есть к количеству углекислоты, разложенной под колпаком с водой. Может быть нечто подобное и случилось с опытами Пфеффера. Абсолютные количества углекислоты, разложенные при полном белом свете, в последних двух рядах значительно выше, чем в первом. Если взять среднюю из всех опытов первого ряда, то получим на 100 кв. сантм. в 1 час 5,7 куб. с., а для двух последних рядов—7,2. Это различие (почти на 1/4) значительнее, чем различие, например, между прибором, подвергающимся непосредственному освещению, и прибором, затененным посредством бумажного экрана. Может зародиться сомнение: не было ли какой оплошности при употреблении бумажных экранов, которыми загораживались приборы в ясные дни [3])? О форме и положении их ничего не сказано. Не стоял ли прибор с водой с краю, не получал ли он случайно более разсеянного света? Я не желаю этим высказать догадку, что в действительности что-либо подобное случилось с опытами Пфеффера; я желаю только указать на опрометчивость его способов вычисления и распределения опытов, причем в его цифрах *должна быть постоянная* и значительная ошибка в смысле, благоприятном для его теории, а *могли быть и случайные*, которые, при другом распределении и вычислении опытов, были бы устранены.

Остается сказать еще несколько слов о его выводах. Кроме подтверждения выводов Дрепера, Пфеффер приписывал себе, и Сакс признает за ним, еще другую заслугу. Они оба утверждают, что Пфеффер первый доказал, что всем лучам присуще известное, специфическое значение, независимо от того, действуют ли они порознь или вместе. Этот вывод основан на том, что сумма количеств углекислоты, разложенных под различными лучами, дает 100, т. е. количество, разложенное в белом свете. Пфеффер утверждает и Сакс свидетельствует, что его работа в первый раз доставила это доказательство. Но ведь и у меня желтая + синяя жидкость или красная + зеленая + синяя дают ве-

---

[1]) Подобную же ошибку принимал и Мюллер в своих вычислениях теплового спектра.

[2]) Данные для хромистокалиевой соли у нас сходны.

[3]) Вообще употребление этих бумажных экранов для меня совершенно не понятно. Из своего опыта я могу сказать, что когда лист окружен слоем жидкости, непосредственное освещение солнца не оказывает вредного влияния (т. е. лист не завядает); спрашивается, для чего было бесцельно ослаблять действие света? ведь в природе же листья подвергаются непосредственной инсоляции? Впрочем, кажется, Пфеффер сам убедился в том уже по окончании опытов.



личины, близкие к 100 [1]). А опыты Дрепера с желтой и синей жидкостями, разве они не приводят к тому же заключению? И для чего же, наконец, я хлопотал о поучении жидкостей, которые бы дозволяли подобную проверку? А между тем Пфеффер в своей второй статье, три раза на одном столбце повторяет, что до него никто этого не сделал и не мог сделать. Решительно не понимаешь на что здесь предъявляется право.

Так как разногласие между моей работой и работой Пфеффера чисто фактическое, то очевидно, что каждый из нас не судья в этом деле. Суд принадлежит третьему лицу [2]). Эту роль судьи пока, насколько мне известно, принял на себя Г. Бородин. Г. Бородин воспользовался переводом агрономической химии А. Мейера, в которой приложена моя таблица, для того, чтобы категорически выразить мне порицание, а Пфефферу одобрение. Я, разумеется, не протестую, да в науке и нет такого трибунала, к которому можно было бы обратиться с протестом. В науке, всякий, произносящий решительный приговор, берет его на свою ответственность, и обязателен он только для тех, кто признает компетентность судьи. Но дело иного рода, когда судья приводит мотивы своего приговора; обсуждение их никому не возбраняется. Бородин начинает с того, что отдает мне справедливость в том, что мои приемы точнее; из этого, кажется вытекает: ergo, работа Тимирязева заслуживает большого доверия. Но у Г. Бородина оказывается наоборот. Предпочтение отдается Пфефферу, а моя работа окончательно отвергается. Между тем, в пользу Пфеффера предъявляются только два обстоятельства: во-первых, большее число его опытов и согласие их с фотометрическими определениями Фирордта. Конечно, при увеличении числа опытов устраняются случайные ошибки, но это безусловно верно только по отношению к одному и тому же приему, и прежде чем распространять это соображение на оценку двух различных исследований, представляющих различную степень точности, г-ну Бородину следовало бы установить какую-нибудь эквивалентность между степенью точности обоих способов. Нельзя же допустить, что более значительное число менее точных опытов всегда уравновешивает, превосходит и даже вполне уничтожает меньшее число более точных опытов. Наконец, и самое численное превосходство сомнительно. Пфеффер приводит в конце статьи чуть не все свои численные данные (везде с фантастическими сотыми долями) и этот ряд цифр, очевидно, ослепил г. Бородина. Для решения спорного вопроса [3]) существенно важны только те опыты, которые дают непосредственные величины для красных и желтых и зеленых лучей, но для первых у Пфеффера 12 опытов, из них один говорит против него, и им отвергается, и один неудачен, так что не принимается им в рассчет; остается 10. У меня их 9. Для желтых и зеленых нет ни одного непосредственного опыта, но 20 косвенных; у меня—9 прямых. Если же считать только ряды опытов, так как в общей ошибке они должны отозваться на всех данных того же ряда, то у него 10 рядов, у меня 9. Спрашивается: где же это подавляющее численное превосходство? Затем г. Бородин усматривает новый довод в согласии результатов Пфеффера с результатами фотометрических измерений Фирордта [4]). Но иначе и быть не могло; исследования Фирордта сделаны, существенно, по тому же методу, как исследование Фрауенгофера, а с последними данные Пфеффера согласуются. Цифры Фирордта, правда, точнее цифр Фрауенгофера, но и данные Фрауенгофера еще слишком точны для сравнения с данными Пфеффера. Следовательно, сравнение грубых данных Пфеффера с более точными данными Фирордта, которое делает Бородин, не лишено значительной доли произвола. Во всяком случае, совпадение цифр Фирордта и Пфеффера не представляет нового довода в пользу последнего.

Между тем, торжество учения, защищаемого Пфеффером и Саксом, приобрело ему многих последователей, которые стали развивать его до его крайних последствий. Таковыми явились Прильё и Баранецкий. Они совершенно логично рассуждали, что

---

[1]) Близкие к 100, а не равные 100, потому что такое строгое совпадение невозможно, так как в самом методе кроется неустранимая ошибка. Впрочем, и сам Пфеффер понимает, что его сумма, равняющаяся 100 ни что иное, как случайность, нисколько не усиливающая довода. Можно даже сказать, что результаты Пфеффера были менее пригодны для такой проверки, так как у него многие данные вычислялись из разности.

[2]) Пфеффер не придерживается этого правила; он о себе постоянно говорит: «я доказал, я окончательно доказал», или так: «Мюллер получил такие-то результаты, я—другие, следовательно, Мюллер не прав». Такая вера в себя заразительна; она сообщается и читателю.

[3]) На основании сказанного выше о непосредственном и косвенном вычислении и о малом доверии, внушаемом цифрами для синей жидкости.

[4]) Любопытно, что из двух цифр Пфеффера, приводимых Г. Бородиным в подтверждение этого согласия, одна, относящаяся к синей жидкости, как мы видели, не заслуживает доверия (см. стр. 249).

если действие света на изучаемое отправление растения пропорционально его влиянию на глаз, то это отношение должно оправдаться еще и следующим образом. Свет различного цвета, но одинакового напряжения, т. е. одинаковой яркости для глаза, должен одинаково действовать на растение.

Прильё проверил свой взгляд, определив число пузырьков, выделяющихся за синей и желтой жидкостями, пропускающими свет одинаковой яркости (что было определено обыкновенным приемом Румфорда), и получил результаты, подтверждающие его предположение. Жарким защитником мнения Прильё явился Баранецкий [1]), видевший в нем совершенно новое начало, проливавшее значительный свет на все относящиеся сюда факты. Референт „Botanische Zeitung“ также поспешил высказать свое одобрение теории Прильё.

Около этого времени послышался одинокий голос с совершенно другой стороны и провозглашавший совершенно другую истину. Ломмель, физик, по поводу своих исследований над флуоресенцией, случайно обратил внимание на нелогичность, на несообразность с здравыми физическими понятиями этой теории о пропорциональности действия света на глаз и на разложение углекислоты. Ниже мы разберем эту статью в подробности, здесь же упоминаем о ней в хронологическом порядке, так как она несомненно должна была влиять на теоретические воззрения, которые начал вслед за тем развивать Сакс [2]). Статья Сакса была заблаговременно возвещена Пфеффером, который объявил в „Botanische Zeitung“, что его учитель совещается с своими знакомыми физиками и выскажет окончательное суждение по этому вопросу. После почти целого года ожиданий так торжественно возвещенная статья появилась, но обещенного ключа для уразумения этого явления все же не принесла. Тем не менее мы разберем ее в подробности, так как в ней выражается образ мыслей главы современной физиологической школы. Она вся направлена против Прильё и Баранецкого. Из них, очевидно, решено сделать козлищ очищения. Но, посмотрим, насколько такой образ действия справедлив.

Мы уже видели, что Дрепер, найдя из опыта, связь между световым напряжением и усвоением углерода, пытался объяснить ее при помощи гипотезы, правда, неудачной, но все же на время удовлетворявшей логической потребности связать рациональной причиной два явления, связь которых казалась доказанной фактически. Сакс и Пфеффер, не знавшие о гипотезе Дрепера, нисколько не заботились об отсутствии логического смысла в защищаемом им учении, а просто держались его, как догмата. Прильё и Баранецкий также не пытались найти связующее звено, но признавали его существование; они принимали эту связь за действительную, причинную. Они понимали дело таким образом: если эта связь существует, то, очевидно, оба явления, акт зрения и разложение, зависят от одной общей причины, а, следовательно, с изменением этой причины должны изменяться и оба ее последствия. Отсюда их желание убедиться: не окажет ли свет различного цвета, но одинаковой яркости, одинаковое действие,—является вполне логическим следствием первой посылки. Еслиб, напр., гипотеза Дрепера была верна, то это предположение должно было бы оправдаться.

Чтобы доказать несостоятельность воззрений Прильё, Сакс старался показать, что его прием исследования, т. е. употребление желтого и синего света одинаковой яркости, совершенно не правилен. Он старался доказать, что ни тот, ни другой свет не был монохроматичен, а состоял из смеси разнородных лучей [3]). Но, во-первых, это было очень хорошо известно этому наблюдателю и на доказательство справедливости его взгляда нисколько не влияет. Ему достаточно было доказать, что *из разнородных лучей можно составить смеси различного цвета, но одинаковой яркости, и одинаково действующие на растительный процесс*. И это он доказал (или полагал, что доказал). Следовательно, первое возражение Сакса нисколько не изменяет положения дела. Если факты Прильё верны, то и вывод из них законен. Для того, чтобы опровергнуть вывод, нужно опровергнуть факты, как это и сделал впоследствии Дегерен.

---

[1]) В защиту он приводил даже опыты, впрочем, ничего не доказывающие и, по своему содержанию, сюда не относящиеся.

[2]) Хотя Сакс в своей статье не упоминает о ней ни слова, но трудно допустить, чтобы она не была ему известна, так как статья Сакса появилась летом 1872 (она помечена 16 сентября 1871), а статья Ломмеля вышла в начале 1871 и перепечатана в трех немецких журналах. Я познакомился с ней в июне 1871 года. Трудно допустить, чтобы ученые известия достигали из Эрлангена в Вюрцбург позже, чем в Москву.

[3]) Для большей убедительности Сакс приводит следующую фразу сомнительного остроумия: „Его (т. е. Прильё) „синий свет“ можно почти также хорошо назвать желтым, несколько ослабленным и нечистым, от примеси синих и других лучей“. Но почему же после этого не сказать: „желтый свет—это такой синий свет, в котором синие лучи ...тствуют“.



Далее, чтобы окончательно доказать невозможность задачи Прильё, Сакс доказывает невозможность фотометрического сравнения двух источников света различного цвета и ссылается при этом на Гельмгольца. На это можно вообще заметить, что ботанику-физиологу должно обращаться с такими физическими сочинениями, каковы труды Гельмгольца, с большою осмотрительностью; это слишком острое оружие, чтобы с ним можно было обращаться неосторожно. Смысл слов для Гельмгольца иногда совершенно иной, чем для Сакса. То, что для Гельмгольца неточно, для Сакса еще слишком точно. Именно такое недоразумение случилось и на этот раз. Сакс, на основании мнения Гельмгольца, что невозможно сравнивать интенсивность света различных цветов, осуждает попытку Прильё и Баранецкого, а сам забывает, что все свои соображения основывает на кривой Фрауенгофера, которая получилась именно чрез сравнение света различного цвета с белым. Если Гельмгольц отрицает возможность такого фотометрического измерения, то он этим осуждает и Фрауенгофера и Фирордта и др., т. е. отрицает возможность большой точности в подобных определениях. Таким образом, если Сакс запрещает Прильё сравнивать яркость своих двух жидкостей, то должен сам отказаться от кривой Фрауенгофера. Но в этом нет никакой надобности; можно быть уверенным, что для наших, сравнительно грубых, физиологических исследований ни Гельмгольц, ни какой другой физик, не возбранит употреблять такие грубые приемы, как приемы Фрауенгофера, Румфордта, Фирордта и др. [1]).

После этого неудачного нападения, Сакс распространяется о нелогичности самого представления, что этот процесс действительно, фактически зависит от светового напряжения; но здесь должно сознаться, что его доводы обрушиваются на его же голову. Он подробно объясняет давно известную истину, что свет явление субъективное [2]), что вне глаза его не существует, что единственная мера его энергии заключается в тепловом напряжении. После этого, казалось бы, необходимо предложить какое-нибудь объяснение для этого совпадения [3]), или хоть выразить надежду, что эта логическая потребность будет как-нибудь удовлетворена. Нимало; все это говорится только с целью заявить, что, утверждая вместе с Пфеффером о существовании связи между действием света на глаз и на растение, они не связывали с этим утверждением никакой определенной логической мысли. Это только Прильё с Баранецким вообразили, что тут нужна логика. Никакой причинной связи тут нет; это просто—*случай* [4]).

Непонятно, как профессору Саксу не пришли на память его слова, сказанные по другому (несравненно менее удачному) поводу и поставленные в заголовке этой главы: „Если бы это было возможно—то мы имели бы дело с каким-то естественным законом, *лишенным всякой причинной связи*, и который восстал бы пред нами *неразъясненным чудом*. По счастью дело еще не так плохо“.

Решительно, эта статья—единственная в своем роде. Натуралист, написавший только что приведенные слова, находит странным, что другие ищут между явлениями причинную связь. Ее нет, говорит он, это случай—это чудо.

Но можно было бы подумать, что убедившись в том, что эта связь *случайная* или, выражаясь его же словами, „чудесная“, Сакс изменит свои воззрения, будет стараться показать, что связь эта вовсе не так строга, что кривые не так близко совпадают. Напротив, он с радостью встречает новую работу Пфеффера, доказывающую, что кривые совпадают чуть ни точка в точку. Ни тени смущения перед этим враждебным всякой логике фактом. Едва ли какой ученый с таким спокойствием уклонялся с пути, по которому идет положительная наука,—с таким удовольствием приветствовал *чудо*.

Итак, мы видим, что все недоразумение между Прильё и Баранецким, с одной стороны, и Саксом, с другой, заключалось в том, что первые полагали, что за теорией последнего скрывается логическая мысль, от чего он торжественно отрекается.

Во всяком случае, этой статьей Сакс принес услугу науке, хотя не ту, которую имел в виду. Сознавшись так торжественно в нелогичности защищаемого учения, он тем пошатнул к нему доверие. Впрочем, эта задача до него и гораздо удачнее была выполнена Ломмелем. Прежде, чем перейти к этой новой фазе занимающего нас вопроса,

---

[1]) Сакс оставляет еще под сомнением: не разрешит ли новый прием Фирордта вопроса о сравнении интенсивности различных лучей. Для него, очевидно, не ясно, что причина лежит в самой природе явления и, следовательно, не может быть устранена незначительным изменением приемов исследования.

Задачу Прильё можно осуществить и не прибегая к непосредственному определению. Стоит только площадь, выражающую по Фрауенгоферу все количество света в спектре, разделить вертикальной линией на две равные части, и затем принять основания этих площадей за протяжения спектров искомых двух жидкостей.

[2]) И притом истину, которую незадолго пред тем напомнил ботаникам Ломмель.

[3]) Мы увидим, что подобные объяснения возможны.

[4]) См. эпиграфы в начале настоящей и следующей главы.

которая началась со статьи Ломмеля, следует притти к какому-нибудь заключению по поводу работы Прильё, так как, в случае ее фактической верности, она должна являться подтверждением теории Дрепера. Довольно убедительное опровержение этой работы представил Дегерен. Он избрал путь несколько более точный: он измерял объем газов, выделяющихся за четырьмя различными растворами (красным, зеленым, желтым и синим), пропускавшими свет одинаковой яркости. Яркость света была определена фотометром Румфорда. Дегерен получил результаты, совершенно противоречащие результатам Прильё. Так, наприм., при одинаковой яркости, следующие две пары дали такие результаты:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Желтая жидкость . . . . | 81 | Красная жидкость . . . . | 137 |
| Синяя „ . . . . | 17 | Зеленая „ . . . . | 27 |

Таким образом, эти опыты совершенно опровергают теорию Прильё, так высоко поставленную Баранецким. Но на вопрос об относительном значении различных лучей они не дают никакого ответа, так как жидкости не были подвергнуты спектральному исследованию.

---

Обратимся теперь к статьям Ломмеля. Первая из них появилась в начале 1871 г., и затем была перепечатана два раза, вторая в начале 1872 года, следовательно, обе—до выхода только что разобранной статьи Сакса.

Ломмель, повидимому, случайно наткнулся на этот вопрос, по поводу своих исследований над флуоресценцией. Занимаясь флуоресценцией хлорофилла, он затронул вопрос о связи между оптическими свойствами этого вещества и усвоением углерода. Передадим вкратце содержание этого места его труда. Прежде всего он ставит два общих положения. Только те лучи, которые поглощаются, могут вызывать химическое действие. Но это действие зависит не от одной поглощаемости, оно зависит еще от живой силы луча, от его „механического напряжения". Таким образом, луч не поглощенный не окажет действия, луч поглощенный, но обладающий малым механическим напряжением, окажет слабое действие.

Но как же определить эту живую силу луча? Световое напряжение для этого непригодно—оно имеет только физиологическое значение, для растения света не существует; для него существует только лучеиспускание, волнообразное движение эфира. Также и химическое напряжение--понятие совершенно ложное: это напряжение различно для различных тел, называются же химическими известные лучи только по привычке.

Только тепловое напряжение может служить мерой живой силы, только термомультипликатор можно назвать актинометром [1]).

Распределение теплоты в спектре известно. Отсюда вытекает прямое заключение. *На процесс ассимиляции должны всего энергичнее действовать лучи, поглощаемые хлорофиллом и в то же время обладающие наибольшим механическим напряжением. Это будут лучи между линиями B и C.* Остановимся на оценке высказанных здесь мыслей. Разумеется, все, что касается общих положений о связи химического действия с поглощением, об измерении живой силы света, представляет ходячие истины. Новым здесь может представиться только применение к частному случаю, указание на связь разложения углекислоты с поглощением света в листе.

Но и в этом отношении мысль, высказанная Ломмелем, не совсем нова. Гельмгольц, указав на значение света в процессе ассимиляции, в то же время указал на то обстоятельство, что листья отличаются энергическим поглощением света, что особенно обнаруживается в фотографии—листья почти не отражают деятельных в фотографии лучей: они их поглощают. Таким образом, общая мысль о связи между поглощением света листьями и производимой в них работой была указана Гельмгольцем, но он указал не на те лучи, которые действительно вызывают это явление, или, по крайней мере, не на те, которым следует приписать главную роль в этом процессе.

Мысль же о связи между поглощением света хлорофиллом и разложением была, кажется, в первый раз высказана Жаменом. Указав, что раствор хлорофилла поглощает известные лучи, он задается вопросом, что же происходит с этими лучами, и приходит к тому заключению, что часть их претерпевает изменение в явлении флуоресценции и вновь рассеевается; к этой категории принадлежат, по его мнению, лучи, поглощенные хлорофиллом в красной, синей, фиолетовой и ультра-фиолетовой частях спектра. Но

---

[1]) Ломмель между прочим говорит: „В будущем термомультипликатор должен сделаться одним из необходимых инструментов в растительно-физиологической лаборатории".—Я могу заверить, что с 1869 г. постоянно обращаюсь с этим инструментом.



средние лучи, оранжевые, желтые, зеленые не флуоресцируют, хлорофилл их удерживает; они-то и составляют тот запас силы, который накопляется в растении: „Посмотрим, говорит Жамен, — не соответствует ли этому заимствованию силы извне какое-нибудь последующее явление", и затем указывает на опыты Дрепера, подкрепляющие его воззрение. Это поглощение сопровождается разложением углекислоты; должно допустить, что первое—причина последнего.

Таким образом Жамен не только связывает два факта,—оптические свойства (поглощение и флуоресценцию) хлорофилла с разложением углекислоты,—но в то же время дает рациональное объяснение опыту Дрепера. В этом блестящем обобщении Жамена встречается один недостаток, объяснимый, впрочем, неполнотою тогдашних сведений о флуоресценции хлорофилла. Самый факт, на который опирается его теория, не верен; средние абсорбционные линии также флуоресцируют, хотя в меньшей степени (соответственно слабому поглощению), следовательно, того различия, которое Жамен видел между абсорбционными линиями, не существует. Тем не менее ему принадлежит мысль связать оптические свойства хлорофилла с процессом разложения углекислоты.

Итак мы видим, что первая половина теории Ломмеля не нова, и если Жамен не высказался в такой общей форме, как Ломмель, то, очевидно, потому только, что такое мнение шло в разрез с опытами Дрепера. Ломмель оказался храбрее; он прямо, категорически отрицает факты Пфеффера и даже пытается видеть в них подтверждение своего взгляда. Эту попытку нельзя не считать натяжкой [1]). В защиту своего взгляда он во всяком случае приводит один действительно веский факт, именно—крайне слабое разложение углекислоты под раствором хлорофилла. Это соображение приобретает еще особый вес в виду замечания Пфеффера, что и под зеленым, и под побуревшим хлорофиллом разложение было одинаково; между тем известно, что последний отличается от первого именно тем, что он пропускает желтые лучи, по теории Пфеффера самые энергические.

Во второй своей статье в 1872 году Ломмель с такою же ясностью, но еще подробнее развивал мысль, что разложение углекислоты должно зависеть от двух обстоятельств: от *абсорбционного спектра хлорофилла* и от *распределения тепла* в спектре.

На этот раз он добавляет, что, кроме главного maximum'a между B и C, должны существовать еще другие, соответствующие другим абсорбционным линиям, существование которых в спектре свежих листьев сначала он отрицал, но теперь признал [2]).

После некоторых общих соображений об источниках неточности при опытах с цветными экранами (обстоятельстве, вполне выясненном мною в моей статье), он переходит к оценке моей работы, которая не была ему известна, когда он писал свою первую статью. Очевидно, увлекшись примером Пфеффера и не дав себе труда обдумать, он делает мне те же упреки. Он находит, что мой способ получения кривой неточен и произволен. Я согласен, что он неточен и произволен, но тем не менее *это единственный возможный и правильный и достаточно точный для моей цели*—для проверки теории Дрепера. Он неточен, но эта неточность лежит в природе самого способа экранов, не дозволяющего получать данные для достаточно узких полос спектра. Если бы он был точен, стал ли бы я искать другого способа экспериментирования, прямо в спектре? Он произволен, потому что ординаты восставляются из средины соответствующей части спектра; но пусть доктор Ломмель приведет мне довод для того, чтобы их переместить вправо или влево. Повторяю, мой способ вычисления единственный правильный; никакой другой не мыслим. Сам же Ломмель говорит, что сквозь жидкость действуют не отдельные лучи, а каждый раз известная сумма лучей. Действие этих сумм лучей (т. е. количество разложенной углекислоты), выраженное графически, представляет площади треугольников или трапеций [3]). Следовательно, опыт дает нам величины, изображающие площади; для того, чтобы из этих данных получить величины для построения кривой, необходимо найти средние высоты этих фигур. Этого достигают, разделив полученную величину на протяжение соответствующей части спектра и принимая полу-

---

[1]) Так, напр., он не сомневается в том, что под красной жидкостью разложилось бы столько же углекислоты, сколько и под желтой, если бы „было обращено внимание, чтоб механическая интенсивность лучей, прошедших чрез ту и другую жидкость, была одинакова", т. е. если бы желтая была взята „в гораздо более толстом слое". Как-то странно слышать такие вещи от физика; неужели Ломмель не понимает, что желтая жидкость в таком случае была бы уже не желтая, а красная.

[2]) Отрицаемое многими авторами присутствие и одинаковое положение абсорбционных полос в листе и отдельных хлорофилловых зернах было мною доказано еще осенью 1871 года; последний факт при помощи моего микроспектрального прибора

[3]) В одном только случае, именно там, где лежит maximum, фигура будет пятиугольная; здесь и будет ошибка, состоящая в том, что maximum будет менее действительного.

ченное частное за ординату [1]). Другое дело, когда опыт производится прямо в спектре; тогда делителем является поверхность листа, но так как она везде одна и та же, то полученные величины могут быть прямо взяты за ординаты. Для доктора Пфеффера этого различия не существует; он везде обозначает результаты одним и тем же образом действует ли он половиной спектра или только узкой полоской, результат одинаково принимается за ординату. Само собою понятно, что употребленный мною способ вычисления результатов не в состоянии обнаружить каких-нибудь зубцов или долин, если они существуют в кривой; но невозможность этого лежит опять таки в способе экспериментирования, а не в способе вычисления. Мне, разумеется, никогда не пришло бы в голову проверять теорию Ломмеля по способу экранов, но для проверки теории Дрепера он был вполне пригоден. Еслиб она была верна, то под моей зеленой жидкостью должно было бы разложиться, примерно, в 10 раз более, чем под красной [2]), а такое различие не могло бы быть ни извращено, ни скрыто при моем способе обозначения. Такое же рассуждение справедливо и относительно тепловой кривой. Следовательно, для моей цели мой способ вычисления был вполне *достаточно точен*. Затем повторяется другое возражение Пфеффера. Ломмель находит, что я произвольно отношу свои результаты к флинтгласовой призме и что, если бы я отнес их, напр., к дифракционному спектру, то подобного совпадения не оказалось бы. Говорить такие вещи простительно Пфефферу, но от физика я такого возражения не ожидал. Неужели Ломмель не понимает, что если я перечислю свои результаты на дифракционный спектр, то обе кривые изменятся соответственно и отношение останется то же. Или он полагает, что в дифракционном спектре распределение теплоты будет то же, что и в призматическом? Можно сказать наоборот, что в дифракционном спектре совпадение должно быть еще ближе, так как оба maximum'а должны лежать в видимой части спектра. После такой неудачной критики моих приемов, Ломмель переходит к результатам и здесь прежде всего извращает смысл моих заключительных слов. Он говорит: Тимирязев приходит к заключению, что *разложение пропорционально тепловому напряжению*; между тем как я, именно наоборот, говорю: хотя опыты этого не доказывают, но делают это предположение вероятным. Навязав мне такое резкое заключение, Ломмель его опровергает тем фактом, что темные лучи не действуют. Но почему же я выразился, что мои опыты не доказывают положения в его общей форме. В пределах опыта (т. е. в пределах видимого спектра) это соотношение было ясно, и если я сделал оговорку, то очивидно только в виду отсутствия фактов относительно действия темных лучей. И не я ли указал на необходимость прямых опытов в этом отношении? Я только отрицал и отрицаю убедительность опытов с раствором иода в сернистом углероде, не исследованном посредством термомультипликатора.

Как бы то ни было, доктор Ломмель в заключение формулирует свое мнение таким образом: „с нашей точки зрения, Тимирязев высказал только половину истины", т.-е. разумея второе его положение—о прямом отношении между разложением и живой силой луча. Ни на что более моя работа и не имела притязания.

Итак, если мы подведем итог, то оказывается, что первое положение Ломмеля было высказано Гельмгольцем и еще яснее Жаменом; второе, по признанию самого Ломмеля, высказано и фактически проверено мною. За доктором Ломмелем, во всяком случае, остается большая заслуга сопоставления этих двух положений и ясного, точного их формулирования, при котором они взаимно объясняются и пополняются. При этом я должен сознаться, что хотя мнение Жамена и было мне давно известно, но оно мне представлялось невероятным, пока (в 1869 году) я не познакомился ближе с оптическими свойствами хлорофилла. Это обстоятельство было даже одной из причин, побудивших меня предпринять исследование этого тела. В самом деле, когда о спектре хлорофилла имелось такое представление, что он состоит из 5 разрозненных абсорбционных полос, чередующихся со светлыми промежутками, то можно было ожидать, что и процесс разложения в спектре будет прерывчатый, т.-е. места энергического разложения будут чередоваться с местами, где его вовсе не будет [3]). Только тогда, когда при помощи введенного мною приема графического обозначения хлорофиллового спектра я получил ясное представление о законе поглощения света этим веществом,—мысль Жамена представилась мне с бо́льшею степенью вероятности. Она являлась бы

---

[1]) Тем читателям, которые все еще сомневались бы в справедливости этого приема, могу указать на статьи Фраунгофера и Мюллера (физика).

[2]) Для того, чтобы убедиться в этом, стоило только разделить всю площадь Фраунгофера вертикальной чертой, восставленной около линии 35. Полученные таким образом две площади выражают количества света, проходящие чрез каждую жидкость.

[3]) Такое предположение находилось бы в противоречии с опытом Дрепера, где трубки не всегда занимали те же места.



объяснением, почему разложение не простирается за пределы видимого спектра. Только из моих изображений стало видно, что общее очертание фигуры поглощения—треугольник, с вершиною между B и C, и что следующие линии представляются только выступами, зубцами на краю этой фигуры. При такой форме поглощения понятно, что второстепенные maximum'ы могли ускользнуть от наблюдения [1]).

Далее в своей статье Ломмель делает перечень всех работ по этому вопросу и все, несогласные с его теорией, почти голословно отрицает; только касательно работы Дрепера приводит возможное, но мало вероятное и, после указанной нами погрешности его приема, уже излишнее объяснение. Он говорит: «Легко могло случиться, что абсорбционная полоса пришлась между первой и второй трубкой, следующие же на второй и третьей»; это предположение не объясняет, почему maximum пришелся в четвертой, а не ранее; а главное, такая случайность могла представиться раз, но не три раза. Разделавшись с неблагоприятными для него работами, Ломмель останавливается на работе Мюллера, появившейся в промежутке между первой и второй статьей Ломмеля. К этой замечательной и любопытной по своим результатам работе мы и переходим.

Мюллер первый вернулся к способу Дрепера, т.-е. к исследованию явления непосредственно в спектре. Его работе можно сделать один, по правде, веский упрек, что он оставляет читателя в полном неведении относительно употребленных эвдиометрических приемов и таким образом лишает возможности критически отнестись к результату. К этому важному недостатку присоединяется другой, менее важный,—сбивчивость, а иногда и прямое противоречие в изложении. Так, напр., в одном месте он говорит: „Вскоре убеждаешься, что при подобных опытах не может быть и мысли о разложении углекислоты. Тем не менее они имеют свою цену", т.-е., как он объясняет ранее, о действии света можно судить по относительному количеству не разложившейся, а *образовавшейся* углекислоты. А затем, в дальнейших опытах оказывается, что она разлагалась. В другом месте, говоря о том значении, которое имели бы абсорбционные линии хлорофилла для определения положения трубок с листьями, он говорит: „Если бы это лежало в его (экспериментатора) власти, то он мог бы ими воспользоваться, как в оптике и при спектральном анализе пользуются фраунгоферовыми линиями". А затем, в последнем опыте, он уже пользуется этими линиями. Очевидно, все это объясняется поспешностью опытов, в течение которых экспериментатор совершенствовал свои приемы [2]), и такою же поспешностью редакции, вызываемой, вероятно, опасением, чтобы кто-нибудь не опередил его работы.

Но если мы сами лишены возможности судить о степени точности результатов, то, с другой стороны, предшествующая деятельность автора, обнаруживающая в нем знание дела и несомненное искусство экспериментатора, может служить ручательством, что он сам в состоянии судить, заслуживают ли полученные им результаты доверия или нет.

Спектр получался при помощи обыкновенного ручного гелиостата (porte-lumière), цилиндрической линзы, двух призм с сернистым углеродом [3]) и еще линзы. В полученный спектр выставлялась батарея из трубочек, заключавших смесь воздуха и углекислоты, и листья или отрезки листьев, одинаковой поверхности. О степени яркости и чистоты спектра нельзя судить, так как неизвестна ширина щели. В одном случае, однако, он был очень чист, потому что показывал линии D и C. Брался газ, содержавший углекислоту, и определялось в нем содержание газов, непоглощаемых гидратом кали. Такое же определение производилось, по окончании опыта, над газами всех выставленных в спектре трубочек. Прибыль в непоглощаемых газах показывала появление кислорода, убыль—появление углекислоты (образовавшейся на счет кислорода). Вот и все подробности, которые сообщаются об анализе. Неизвестно, как производились измерения таких малых количеств газа, а что они были малы, можно заключить из того, что опыт длился всего 2—4 часа. Результаты 7 опытов между собою согласны. Везде оказалось, что *maximum разложения лежит, примерно, между B и C или немного правее C*. А в двух опытах удалось даже показать второй maximum, соответственно второй абсорбционной полосе. Мюллер указал на согласие его результатов с моими в том отношении, что уже мне было известно постепенное повышение кривой в красной части спектра, но несовершенство моего метода не дозволило мне убедиться в быстром понижении

---

[1]) Делая это замечание, я не имею желания оспаривать у Ломмеля права на первенство, да если бы я и желал, то не имею на то возможности. Я хотел только заявить, что пришел к подобному заключению не вследствие статьи Ломмеля, которая к тому же этого пункта не выясняет.

[2]) Смягчающим обстоятельством является еще время года, когда производились опыты—именно в сентябре. Экспериментатор, очевидно, торопился получить результаты, чтобы не отложить работу на год.

[3]) Вторая призма, по моему мнению, без нужды ослабляла свет.

кривой в этой части спектра[1]). С кривой же Пфеффера не оказалось никакого сходства.

Таковы результаты этой любопытной работы, вновь вернувшей исследование на путь, указанный Дрепером, но избежавшей, повидимому, в значительной степени неточностей, которыми страдали исследования последнего. Если бы не полная неизвестность, в которой Мюллер оставляет читателя относительно метода анализа, то его работу можно было бы признать окончательно разрешающею вопрос о положении maximum'a разложения в спектре.

Ломмель приветствовал в этой работе полное подтверждение своей теории; зато критики ботанической газеты, превознесшие работу Пфеффера, прошли ее молчанием—будто ее и не было.

В подтверждение своего взгляда, Ломмель произвел еще следующий опыт, хотя не особенно убедительный, но зато очень наглядно показывающий резкое различие в действии лучей, рядом лежащих, именно лучей, лежащих между A и B и между B и C.

Он выставил два проросших бобовых растения под клетками, состоявшими из двух комбинаций цветных стекол, им предложенных для двух приборов, названных им эритро- и меланоскопом. Одна из этих комбинаций, состоящая из кобальтового стекла и красного (окрашенного закисью меди), пропускает только крайние красные лучи, от A до B. Другая, состоящая из красного и фиолетового стекол, пропускает только средние красные лучи. По прошествии недели под первым получилось растение хилое, желтое, с неразвитыми листьями, под вторым — столь же нормальное, как и выросшее рядом в рассеянном свете.

Пфеффер находит, что этот опыт к делу не относится, но это несправедливо. Показывая, какое резкое различие существует в действии лучей, рядом лежащих, из которых одни поглощаются, другие не поглощаются хлорофиллом, этот опыт увеличивает вероятность теории Ломмеля. По теории Пфеффера, такого резкого различия не должно бы существовать.

---

Хотя немецкие ботанические критики почли излишним даже упомянуть о работе Мюллера[2]), но тем не менее она не могла не произвести тревоги между защитниками противной теории. Факту разложения углекислоты давалось строго научное объяснение и при том не на основании одних теоретических соображений, а на почве опыта. В таком положении дело нельзя было оставить; и вот, весною следующего же года, Пфеффер выступает с новой работой, победоносно разбивавшей Мюллера и ставившей учение о „случайном“ или „чудесном“ совпадении, провозглашенном профессором Саксом, вне всякого сомнения. Таков, по крайней мере, как мы видели, приговор немецкой критики, считающей работу Пфеффера последним словом науки по этому вопросу.

Разбору этой работы и мнения о ней Сакса мы уделим последние страницы этой главы и тем закончим наш критический очерк.

Поразить Мюллера можно было только его же оружием. Пфеффер предпринял исследование непосредственно в спектре; но теперь ему не так-то легко было справиться с своей задачей. Может быть, наученный моим опытом, Мюллер скрыл свой прием исследования и Пфефферу на этот раз нельзя было воспользоваться готовым приемом; пришлось бы самому изобретать, а это оказалось не так-то легко. Пфеффер предпочел вернуться к заветному способу пузырьков, рискуя при этом получить результаты, прямо противоречащие его теории (как в первой своей работе). По счастью, способ, оказавшийся в первой работе негодным, на этот раз дал блистательный результат. Без всяких поправок, о необходимости которых Пфеффер так красноречиво распространялся, когда результаты были неблагоприятны, получились такие благоприятные результаты, что кривая, составленная прямо из данных опыта, чуть не точка в точку совпадает с кривой Фраунгофера. Один и тот же прием дает то дурные, то хорошие результаты. Очевидно, что способ, как и та теория, которую он доказывает, не подчиняется докучливому закону причинности. Он „случайно“ может давать дурные результаты и так же „случайно“—хорошие. „Чудесная“ теория подтверждается не менее „чудесным“ опытом. Приводим, для сравнения, результаты обоих рядов, т.-е. для первой работы, вычисленные по способу, принятому в этой работе, а для второй — прямо результаты опыта. Те и другие цифры показывают относительное число пузырьков, но, по мнению Пфеффера, в первом случае нет постоянного отношения между числом

---

[1]) Не следует упускать из виду, что на основании теории Ломмеля, при получении ординаты для красной жидкости в моих опытах должно делить не на все протяжение, как я делал, а только на ту часть красных лучей, которая поглощается; тогда ордината еще значительно увеличится.

[2]) До сих пор, кроме Ломмеля и Адольфа Майера, еще Шеллен (в немецком издании „Солнце“ Секки) принял результаты Мюллера.



пузырьков и кислородом, во втором—количество кислорода можно считать пропорциональным числу пузырьков.

| I. Действие лучей: | | II. Действие лучей: | |
|---|---|---|---|
| Красных и оранжевых | 44,6 | Красных | 25,4 } (Среднее 44,6). |
| Желтых | 37,9 | Оранжевых | 63,0 } |
| Зеленых | 12,1 | Желтых | 100,0 |
| Синих и пр. | 19,2 | Зеленых | 37,2 |
| | | Синих | 22,1 |
| | | Индиговых | 13,5 |
| | | Фиолетовых | 7,1 |

Цифры второго ряда, по Пфефферу, представляют полное сходство с кривой Фраунгофера.

Не только доктор Пфеффер, но и никто после него, повидимому, не задал себе вопроса, как же согласить это противоречие[1]). Как объяснить себе, что явление совершается то так, то иначе, не подчиняясь постоянному закону? Способ пузырьков, в том и другом опыте, остался тот же; здравая логика требует приписать изменения в результате изменившемуся условию, т.-е. физическим приемам. Результаты различны и это различие следует приписать различию в физических приемах опыта. Если один из них точен, то другой не точен; одним из двух нужно пожертвовать. Таким образом неумолимая логика ставит Пфеффера в такое положение: или он должен сознаться, что способ пузырьков — способ капризный, ни на что негодный, и тогда его вторая работа падает сама собою; или, если он признает, что способ пузырьков годен, то тогда он должен сознаться, что один из употребленных им физических приемов негоден, потому что их результаты взаимно противоречат. Он должен принести свою первую работу в жертву второй, или вторую в жертву первой. Не знаю, который из двух исходов предпочтет сам доктор Пфеффер, но пока постараюсь показать, что неожиданный, блистательный успех его второй работы—не что иное, как вполне ожиданная и предусмотренная мною ошибка—ошибка, от которой я именно предостерегал в своей статье.

*Щель, при опытах Пфеффера, была в три миллиметра шириною.* Полученный таким образом спектр представляет только монохроматические края, средина же его должна представлять смесь налегающих друг на друга разнородных лучей. *При подобном спектре нельзя получить тахітит'а разложения в красной части спектра, даже если эти лучи самые деятельные.* Постараюсь выяснить это обстоятельство, по возможности, убедительным образом.

Что спектр был нечист, видно не только из размеров щели, но также из словесного описания доктора Пфеффера. Он говорит, что, желтая часть спектра была так ярка, что казалась беловатой. Для того, чтобы ослабить неприятное впечатление этих слов, он тотчас приводит слова Гельмгольца, что всякий свет при значительной интенсивности представляется беловатым, что, напр., солнце, рассматриваемое чрез фиолетовое стекло, представляется почти таким же белым как облако. Но отчего же доктор Пфеффер не приводит слов Гельмгольца, встречающихся несколькими строками ниже, что призматический желтый свет начинает казаться беловатым только при ослепительной яркости (erst bei blendender Helligkeit). Едва ли Гельмгольц употребил бы подобное выражение, говоря о спектре, проложенном на экране. Вместо того, чтобы прибегать к этому, не относящемуся к делу месту из сочинения Гельмгольца[2]), доктор Пфеффер лучше попробовал бы, что выйдет, если еще немного открыть щель. Всякий, имеющий элементарные сведения по физике, знает, что в результате получилась бы белая полоса

---

[1]) Как уже замечено выше, особенно любопытно положение, которое попеременно принимал Сакс относительно своего метода. Вначале он был предложен им взамен более хлопотливых приемов, как мера (*als Mass*) выделяющегося кислорода. Затем, устами своего ученика Пфеффера, он утверждал, что имел в виду только *выделение газа*, без отношения к количеству кислорода, а опытами того же ученика было доказано, что число пузырьков и количество кислорода не пропорциональны между собою. Но после второй работы Пфеффера, он стал вновь утверждать, что способ этот „*als ich und Pfeffer gezeigt haben, selbst für feinere Messungen als Mass benutzt werden kann*“. Истина, я полагаю, заключается в том, что способ этот пригоден для грубых целей, для которых он и был употреблен Дютроше, но не более. Мысль же сделать из него точный прием вполне неудачна.

[2]) Я полагаю, Гельмгольц не мало удивился бы, услыхав, что эти его слова применяются к спектру, полученному при помощи щели в три миллиметра.

с красным и синим краем. Почему же доктор Пфеффер объясняет приближение желтых лучей к белому цвету увеличением интенсивности света (обстоятельством, увеличивающимся в одинаковой степени для всех лучей), а не смешением лучей? Не подлежит сомнению, что желтые лучи *не казались, а были* белыми. Но доктор Пфеффер сам ожидал это возражение и думает отразить его следующим софизмом. Он говорит: если даже спектр не был чист, то это нисколько не мешает убедительности опыта, в случае, если он благоприятен для его теории. Вот ход его аргументации: по его теории, наиболее энергично действуют в этом процессе желтые лучи, менее энергично красные. Но при смешении лучей, в нечистом спектре, к менее энергичным красным лучам будут присоединяться более энергичные желтые. К более энергичным желтым — менее энергичные красные, следовательно, и те и другие будут в условиях неблагоприятных для его теории и, следовательно, если он получит в этом спектре утвердительные результаты, то не благодаря, а вопреки нечистоте спектра. Это место я имел в виду, говоря в первой главе, что не знаешь чему удивляться, отсутствию ли знаний у доктора Пфеффера, если он сам верит этим словам, или презрительному мнению о читающей публике, если он им не верит.

Несостоятельность этого софизма очевидна уже из того факта, что при увеличении щели края все же остаются монохроматическими, а средина более и более приближается к белому. Ясно, что смешение цветов происходит в пользу средних частей спектра, а не наоборот, как утверждает Пфеффер.

Всякий нечистый спектр можно себе представить состоящим из нескольких чистых. Щель в три миллиметра можно рассматривать, как три щели, каждая в один миллиметр шириною. Каждая треть даст свой отдельный спектр, один будет занимать средину (I), другой будет сдвинут вправо, третий—влево. Предположим, что в каждом чистом спектре разложение углекислоты происходит так, как оно оказалось в моих опытах и в опытах Мюллера, что и означим цифрами 4, 3, 2, 1, убывающими от красного конца к синему.

Посмотрим, что же представит наш нечистый спектр (II), образовавшийся чрез наложение трех чистых. Во-первых, он будет длиннее, в нашем (схематическом) случае на $^2/_3$. Во-вторых, в средине его будут лучи трех родов, следовательно, свет будет почти белый. В-третьих, maximum разложения переместится. Простое сложение показывает, что он будет лежать уже не с краю, а в средине. Следовательно, нечистота спектра имеет своим последствием перемещение maximum'a из красной части в желтую.

Но против такого толкования его опытов у Пфеффера имеется наготове кажущееся опровержение. В некоторых опытах, при определении положения своих приборов, он прибегал к абсорбционной полосе хлорофилла. Одно из определений числа пузырьков производилось в части спектра, соответствующей этой полосе. Производимый таким образом опыт дал, как и другие, maximum в желтой части, а не в части, соответствующей этой полосе. Вот, рассуждает Пфеффер, вы утверждаете, что разложение наиболее энергично там, где наиболее энергично поглощение света хлорофиллом, а опыт дает совершенно противоположный результат.

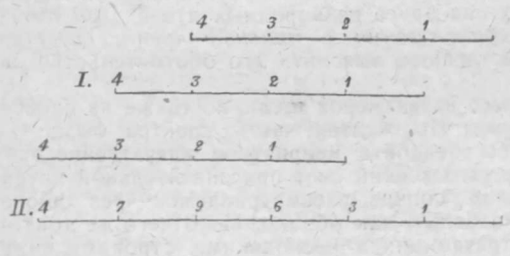



Рис. 3.

Но и это только софизм; правда, менее прозрачный, чем предыдущий, но также без труда разоблачаемый. Софизм этот заключается в распространении понятия, верного для чистого спектра, на спектр нечистый. Если относительно спектра чистого очевидно, что поглощение известных лучей обнаруживается появлением абсорбционных полос, и что степень поглощаемости выражается чернотой полос, то распространять это положение на спектр нечистый несправедливо. В нечистом спектре поглощаемость известных лучей и видимость абсорбционных полос, соответствующих этому поглощению,—две вещи совершенно различные. *В нечистом спектре даже очень сильное поглощение может не сопровождаться появлением абсорбционной полосы, т.-е. может остаться невидимым.*

Постараемся это доказать и на этот раз уже не на схематическом, а на действительном примере.

Возьмем раствор хлорофилла в сосуде с параллельными стенками, поместим его перед щелью спектроскопа и откроем ее как можно шире, но так, чтобы главная абсорбционная черта была отчетливо видна. Измерим ширину щели [1]) и затем, заслоняя

[1]) Я это делаю очень просто: привожу щель в горизонтальное положение, а скалу в вертикальное, тогда деления последней мне служат мерой. В описываемом примере щель была раскрыта почти на 2 м.м.



попеременно по две трети щели, определим вид и положение спектров, соответствующих правой, левой и средней части щели. На прилагаемой фигуре изображены все три спектра, один под другим.

Каждому спектру соответствует своя абсорбционная полоса, занимающая различные места скалы. Откроем теперь щель во всю ширину; получим более длинный спектр с одной крайней чертой. Другие две не видны, как это легко понять. Хотя в местах им соответствующих красные лучи поглощены, но место их заступают оранжевые или желтые лучи других спектров. Итак, поглощение несомненно существует, но мы о нем не знаем, так как не видим полос. Сопоставим оба только-что доказанные нами

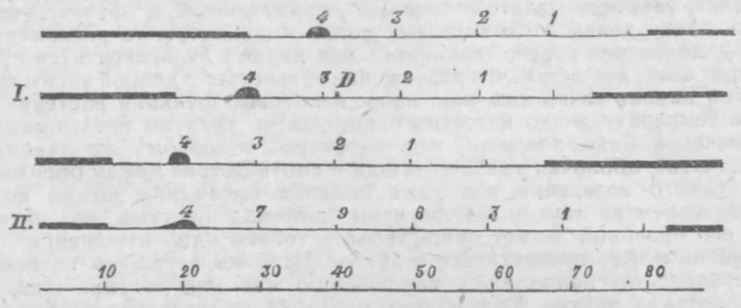



Рис. 4.

положения и мы придем к окончательному заключению, что *в нечистом спектре maximum разложения не может совпадать с абсорбционной полосой, а должен лежать ближе к желтой или в самой желтой части спектра.* Сделав такое же сложение, как в первом примере, убедимся в справедливости сказанного. После этого, мне кажется, становится вполне ясным, что Пфеффер не только мог, но должен был получить тот ошибочный результат, к которому он пришел. Совпадение не является уже случайным, а вполне понятным; у него, как и у Дрепера, был не желтый, а почти белый свет, а понятно, что действие суммы должно быть сильнее действия любого из слагаемых.

Рождается еще вопрос: в состоянии ли приводимое рассуждение объяснить ошибку Пфеффера количественно, т.-е. достаточна ли велика была ошибка Пфеффера, чтобы он мог получить такие, уклоняющиеся от истины, результаты? Некоторые цифры, приведенные Пфеффером, заставляют полагать, что да. Пфеффер говорит, что при увеличении щели длина спектра изменялась на 30 миллиметров. На такое же, примерно, расстояние должен был сместиться и maximum разложения.

Итак, вопреки мнению немецкой критики, последняя работа Пфеффера никак не может быть признана „оконченным" опровержением работы Мюллера и моей, так как она ровно ничего не доказывает, и если эти критики не усмотрели указанных противоречий и ошибок, то это можно объяснить только их близорукостью и преклонением пред авторитетом Сакса, взявшего работы Пфеффера под свое покровительство. В двух последних изданиях своего руководства он следующим образом относится к этому вопросу. Упоминая о результатах работы Дрепера и первой работе Пфеффера, он затем переходит ко второй его работе, о которой выражается следующим образом: „После того, как Пфеффер *показал*, что употребленный мною метод измерения действия света на водяные растения, по числу выделяющихся в единицу времени пузырьков, дает результаты *существенно сходные* с объемным определением газов, с тем только различием, что величины несколько более действительных и при том сравнительно тем более, чем слабее выделение газа, он принял этот метод и пр.". Нужно только удивляться той смелости, с какой профессор Сакс утверждает, что отношение 32 : 46 *существенно сходно* с отношением 44 : 37, и что Пфеффер *показал*, что увеличение числа пузырьков от побочных причин должно совершаться именно, как того требует их теория. Затем Сакс указывает, что результаты второй работы еще лучше согласуются с кривой Фрауенгофера. Далее, для того, чтобы избежать заблуждений, к которым может привести такое сопоставление кривых, кривой разложения и кривой световой (очевидно, намек на заблуждение Прильё и Баранецкого), Сакс пытается выразить выделение кислорода, как *функцию длины волны.* Но и эта мысль, законная в основании, приводится в исполнение вполне незаконным образом, опять-таки по недостатку физических сведений. Профессор Сакс, очевидно, не понимает, что для того чтобы уловить связь этого явления с длиною волны, нужно прежде знать, какую форму примет кривая в нормальном спектре. Ему, повидимому, неизвестно, что интенсивность явления в призматическом спектре может зависеть от двух причин: от специфических

свойств луча (его длины, амплитуды?) и от степени дисперсии или скученности лучей в различных лучах спектра. Так, наприм., если бы волны красного света оказывали, в действительности менее энергическое действие, чем волны желтого света, то, несмотря на то, в спектре красные лучи могли бы оказывать равное или большее действие, чем желтые, так как они более скучены. Итак, прежде чем говорить о разложении углекислоты, как функции длины волны, нужно знать, какой вид примет кривая в спектре диффракционном. Саксу подобное соображение, очевидно, и в голову не приходит. Полученными посредством такого сомнительного приема цифрами он пользуется для подтверждения другого любимого метафизического закона, который я назову, за неимением другого названия, законом „златой средины", примененным к физическим явлениям. Если выразить длину волны в стотысячных долях миллиметра, то разложение начнется при длине в 39, достигнет своего maximum'а при длине в 59, прекратится при 68. Таким образом, говорит Сакс, мы видим, что разложение возрастает с длиной волны до известного предела и затем падает точно так, как, напр., некоторые функции растения ускоряются с повышением температуры до известного предела, а за этим пределом замедляются. Далее, в примечании Сакс поясняет, что, вероятно, подобному же закону следует и впечатление сетчатой оболочки глаза—отсюда и соответствие между обоими явлениями.

Против такого воззрения, или даже способа выражения, можно возразить, что они в существе своем не научны, не логичны[1]). Между простым явлением и тем, что мы называем его причиной может существовать только одно отношение — прямое или обратное. Одно не может превратиться в другое. Если мы встречаем на опыте противоречие этому правилу, то приходим к заключению, что или явление сложно, или оно зависит от нескольких причин. Коль скоро мы обнаруживаем что-либо подобное, мы тотчас стараемся глубже анализировать явление, разложить его на его составные части. Таким образом, убедившись, что свет действует на какое-нибудь изучаемое нами явление сначала ускоряющим, затем угнетающим образом, мы тотчас приходим к заключению, что одновременно совершается два явления, из коих одно находится в прямом, другое в обратном отношении с этой силой, и maximum изучаемого явления будет соответствовать той точке, где оба составляющие его процесса уравновешиваются. Следовательно, встретившись с таким явлением, мы логически вынуждены признать его сложным и не в праве остановиться на таком объяснении, каким довольствуется Сакс. Выраженное в такой форме, как это делает Сакс, оно представляется как бы последним выражением факта, чем-то окончательным, на чем ум может успокоиться; каким-то метафизическим законом благотворного влияния средних напряжений. Наконец, самое выражение: „среднее напряжение" вводит ложный взгляд: среднее между чем? Указывать же, как это делает Сакс, на аналогию, на подтверждение этого метафизического закона влияния средних напряжений в различных явлениях растительной жизни, значит только указывать на то, что все эти явления — сложные. Аналогия эта нисколько не плодотворна, ничего не подтверждает. Далее, объяснение сходства явлений в растении и в глазу объясняет только повышение и понижение кривой, но нисколько не объясняет (допуская, что факт был бы верен) причины совпадения точек maximum'а и пределов[2]).

Итак, соображения Сакса об отношении между длиною волны и разложением углекислоты произвольны, так как мы не обладаем необходимыми для того фактическими данными, и приводятся в подтверждение какого-то смутно сознаваемого метафизического закона, не имеющего определенного научного смысла.

О работе Мюллера Сакс упоминает только в примечаниях; в одном он говорит, что она выставлена Пфеффером в настоящем свете, а в другом высказывает презрительное мнение о степени доверия, ею внушаемого, мнение, уже приведенное нами в первой главе.

Такова окончательная точка зрения главы современной физиологической школы относительно занимающего нас вопроса.

---

[1]) Способ выражения: такое-то явление (рост, движение, дыхание и проч.) зависит от такой-то силы (света, тепла и проч.) *среднего напряжения*,—очень часто употребляется, безо всякой оговорки, относительно его настоящего смысла, почему я нахожу нелишним остановиться несколько долее на этом понятии.

[2]) Весьма возможно, что и относительно акта зрения справедливо развиваемое выше воззрение, т.-е. что и здесь причина видимости и яркости лучей сложная, что возростание и уменьшение действия на глаз и оба предела видимости зависят от различных причин. Интенсивность светового впечатления может зависеть от двух причин: от амплитуды (т.-е. правильнее ее квадрата) и времени колебания (т.-е. длины волны). Весьма вероятно, что амплитуда волн различных цветов различна, т.-е. более значительна для волн большей длины, менее значительна для волн меньшей длины. Тогда, очевидно, обе причины возрастают и убывают в противоположных направлениях. Таким образом, с одной стороны, в спектре впечатление может убывать, потому что удары не довольно часты, с другой, потому что они не довольно сильны, хотя и часты.



Постараемся, по возможности, подвести итог этой длинной критике.

Из всего здесь сказанного должно притти к заключению, что касательно изучаемого нами явления между учеными существует разногласие, как в отношении теоретических воззрений, так и в отношении факта.

Теоретические взгляды представляют следующие три логические ступени. Одни желают и пытаются дать явлению рациональное объяснение и для этого стараются подвести его под общие механические представления об отношении между затраченной силой и произведенной работой (Р. Майер, Гельмгольц, Дрепер, Жамен, Тимирязев, Ломмель и Мюллер). Другие, не находя рационального объяснения фактам и даже, повидимому, не пытаясь найти его, тем не менее признают, что найденная из опыта связь явлений—действительная, причинная связь (Прильё, Баранецкий). Третьи, наконец, принимая найденную из опыта связь явлений за факт, не только не пытаются дать ему рациональное объяснение, но даже отрицают причинность этой связи и объясняют ее „случаем" или, выражаясь их же словами, „чудом" (Сакс, Пфеффер).

Разногласие фактическое в настоящее время сводится к следующему:

Одни наблюдатели утверждают, что кривая, выражающая интенсивность процесса в спектре, повышается с фиолетового конца к красному (Тимирязев) и здесь быстро опускается, представляя maximum разложения между B и C и второстепенный maximum около D (Мюллер). Эти факты, таким образом, указывают на связь явления с энергией луча и его поглощением.

Другие наблюдатели утверждают, что кривая разложения совпадает с кривой Фрауенгофера, выражающей напряжение света (Дрепер, Пфеффер), и что это сходство в действии света на растения и на глаз оправдывается и при действии смешанного света, различного цвета, но одинаковой яркости (Прильё, Баранецкий).

Сделаем теперь оценку убедительности результатов всех описанных нами опытов по отношению к главному разногласию, т.-е. преобладающему значению красных или желтых лучей.

1) Исследования Дрепера, произведенные почти сорок лет тому назад, представляют существенный недостаток в том, что спектр был крайне нечист, и потому не разрешают вопроса, так как могут быть объяснены в смысле одинаково благоприятном как для той, так и для другой теории.

2) Опыты Кальте не дозволяют сделать никакого определенного вывода, но могут быть объяснены и в пользу преобладающего значения красных лучей. В пользу воззрения о значении лучей, поглощенных хлорофиллом, говорят еще опыты с зелеными стеклами, согласные со всеми другими опытами, произведенными с зелеными средами.

3) Моя работа говорит в пользу преобладающего действия красных лучей и решительно противоречит теории Дрепера. Ни одного из указанных Пфеффером и Ломмелем недостатков в моей работе не существует; все их возражеиия основаны на недостаточном знании дела.

4) Результаты аналитической части первой работы Пфеффера говорят за теорию Дрепера. Но немаловажные экспериментальные ошибки, а главное, неправильное и (сознательно или бессознательно) пристрастное вычисление результатов возбуждает основательные сомнения в степени их убедительности. Тем не менее, нельзя указать на одну какую-нибудь выдающуюся ошибку, которая бы могла объяснить полученные результаты; но случайная ошибка могла бы их объяснить. Опыты его с раствором хлорофилла говорят в пользу теории, приписывающей преобладающее значение лучам, поглощаемым этим телом.

5) Результаты опытов с пузырьками произвольно толкуются Пфеффером в свою пользу; до сих пор они говорят против него. Способ пузырьков может употребляться только для таких, сравнительно грубых, целей, для каких он был употреблен Дютроше. Это прием (если можно так выразиться) эвдиоскопический, а не эвдиометрический.

6) Опыты Прильё, логические по своей исходной мысли, фактически опровергнуты Дегереном.

7) Работа Мюллера подтверждает значение поглощения света хлорофиллом. Она развивает результаты моей в том, что обнаруживает и объясняет предел разложения в крайних красных лучах. К сожалению, автор почел нужным умолчать о своих приемах исследования и тем отнял у читателя возможность составить собственное суждение о его убедительности.

8) Вторая работа Пфеффера находится в противоречии со второй частью первой, а согласие ее с работой Дрепера объясняется присутствием той же экспериментальной ошибки. Следовательно, она ничего не доказывает.

---

## Собственные исследования.

> Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nötigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Causal-Zusammenhang zu bringen.
>
> *J. R. Mayer.* Die Mechanik der Wärme.

Из критического обзора, приведенного в предшествовавшей главе, вытекает, что для экспериментального разрешения занимающего нас вопроса исследователю представляются два пути, два способа исследования: способ цветных экранов и способ спектра. Тот и другой представляют свои выгоды и свои невыгоды. При первом способе свет очень мало ослаблен, и потому количества разлагающейся углекислоты настолько значительны, что легко поддаются анализу. Но этот способ, удобный с точки зрения химических приемов, не точен с точки зрения оптической, и по следующим причинам: 1) определение границ частей спектра, пропускаемых средою, не точно; 2) определение степени поглощения света в тех частях спектра, которые пропускаются средою, не точно [1]). На основании этих двух соображений наблюдатель не в праве заключить, что между уединенными таким образом частями спектра сохраняется то же отношение, какое существует между ними в спектре; 3) обе изложенные причины неточности увеличиваются с уменьшением полосы спектра, пропускаемой экраном, и потому уединение таким путем узких полос спектра оказывается окончательно невозможным. Все три причины, в особенности последняя, устраняют возможность точного определения, при помощи экранов, положения maximum'a разложения и сообщают вычисленным результатам известную долю неизбежной произвольности.

Способ спектра вполне точен с оптической точки зрения; действие каждого луча зависит от его специфических свойств [2]). Точность определения положения ординат зависит от ширины взятого листа или части листа, и следовательно, вполне удовлетворяет имеющейся в виду цели. Зато химическая сторона дела сопряжена с значительными трудностями. Наблюдателю представляется дилемма. Если он будет работать в чистом спектре (т. е. полученном при помощи узкой щели), то свет будет значительно ослаблен, а следовательно, будет ослаблен и химический процесс, и количества газа будут слишком малы для исследования [3]). Если же, расширив щель, он увеличит яркость спектра, то тем уничтожит его чистоту, а следовательно, лишит свои результаты той точности, которая составляет преимущество этого способа.

Итак, этот способ *точен* с оптической точки зрения, но *неудобен* с точки зрения химических приемов.

Все препятствие заключается в затруднительности анализа малых количеств газа.

Это затруднение и заставило Пфеффера вернуться к способу пузырьков, а Саксу внушило самоуверенно-презрительную фразу по поводу работы Мюллера: что люди, сведущие в этом деле, знают, что следует думать о подобных исследованиях.

Профессор Сакс, однако, напрасно думает, что препятствие это непреодолимо. Правда, готового способа в науке не существовало; химикам и физикам не представлялось, повидимому, надобности в анализе таких малых количеств газа, вот и вся

[1]) Приемы, предложенные Фирордтом, делают эту задачу в настоящее время более возможной; тем не менее определение суммы поглощенного света на известном протяжении спектра крайне хлопотливо и все же не очень точно. Во всяком случае эти хлопотливые определения становятся излишними, если является возможность работать прямо со спектром.

[2]) А также и дисперсии; об этом см. ниже.

[3]) Разумеется о способе пузырьков при точном исследовании не может быть и речи.



причина, почему такого способа не существовало, и это не доказывает, что его нельзя придумать и что следует бросить мысль о точном исследовании и проверять результаты точного способа способом неточным, как это делает Пфеффер.

Итак, вся задача состоит в том, чтобы, не увеличивая ширины щели, получить возможно более света и затем вооружиться способом анализа малых количеств газа, столь же точным, как тот, который употребляется для анализа больших количеств.

Первое условие осуществляется употреблением гелиостата с возможно большим зеркалом. Я работал с гелиостатом Зильбермана, сначала малого, потом большого размера (grand modèle), работы Дюбоска.

Для выполнения второго условия пришлось придумать новый прием анализа газов, или вернее, прием обращения с ними [1]).

Для точного измерения малых количеств газа, их нужно измерять в сосудах, в трубках малого калибра. Я поставил себе целью определять от 0,001 до 0,0001 долей кубического сантиметра. Такие количества могут быть удобно измеряемы не иначе, как в трубках с внутренним диаметром в 2—3 миллиметра. Но понятно, что переливание газа без потери из таких сосудов или в такие сосуды, при обыкновенно употребляемом способе вытеснения под ртутью, фактически не возможно. Прежде чем придумать способ перемещения малых количеств газа, нужно было выбрать какую-нибудь из известных систем газового анализа. Способ Дойера, дозволяющий употребленне жидких реактивов и, благодаря его регулятору, избавляющий исследователя от скучного механического труда барометрических и термометрических наблюдений и поправок, по моему мнению, наиболее совершенный из современных способов; на нем я и остановился. Этот способ, сверх указанных только что достоинств, удовлетворяет еще основному требованию эвдиометрии: газ всегда находится в глухих сосудах и не встречает на всем пути ни кранов, ни замазки [2]). К тому же этот способ доставляет полную свободу в обращении с газами, чего не дозволяют другие способы [3]).

Остановившись на системе Дойера, я тем самым избрал пипету Этлинга, видоизмененную Дойером, Бертло и Девилем, как прибор для перемещения газов. Прямо применить ее к моей цели не было возможности. Пипета, как известно, даже при некоторой ловкости и опытности, очень хрупка. Ее носик (bec), вводимый в эвдиометр или какой другой сосуд, весьма легко разбивается даже тогда, когда сосуд этот представляет внутренний диаметр в $1^1/_2$ сантиметра (как у Дойера). Для трубок меньшего калибра она уже окончательно непригодна.

Мне пришла мысль вытянуть ее носик в тончайшую трубочку, которая могла бы свободно входить в эвдиометр потребного калибра, т.-е. 2-х м.м. внутреннего диаметра. Но понятно, что при этом нельзя было сохранить общую форму прежней пипеты; при таком тонком носике, с ней невозможно было бы манипулировать в Дойеровой ванне: она разбилась бы при первой попытке. Тогда мне пришло в голову соединить пипету с ванной, и при том с ванной такого малого внутреннего диаметра, чтобы эвдиометр не мог в ней принимать положения не параллельного длине носика, чем устранялась бы возможность перелома последнего [4]). После нескольких попыток я остановился на следующей окончательной форме прибора, соединяющей все требования удобства и простоты.

Прибор этот можно назвать *автоматической пипетой-ванной*; главная цель его—сделать возможным перемещение, переливание самых малых количеств газа, хотя бы одного пузырька. Автоматичным его можно назвать в том смысле, что он избавляет от неприятного, а в некоторых случаях даже болезненного труда всасывания газов [5]).

[1]) Не стану описывать всех испробованных мною приемов; скажу только, что они были многочисленны. В том числе мною был проектирован и способ тождественный с тем, который употреблен теперь Майером и Волковым, но был покинут, как представляющий только воображаемую чувствительность.

[2]) Не говоря уже о каучуке и затычках, как у Пфеффера.

[3]) Так, напр., газ, однажды попавший в эвдиометр Бунзена, уже не может быть из него получен обратно; то же справедливо и относительно эвдиометра Реньо. Я нахожу излишним описывать подробности приемов Дойера, считая их известными. Пфеффер и Мюллер (в своих прежних статьях) представляют небольшие трактаты о газовом анализе вообще (по Бунзену), но я полагаю, что такое переписывание из всех известных сочинений напрасно обременяет текст работ, хотя, правда, сообщает им некоторый заимствованный блеск.

[4]) Возможность этой случайности до того устранена в моем приборе, что, работая с одной пипетой в течение трех лет, я ни разу не разбил ее носика, между тем как всякий, работавший с пипетами Дойера, вероятно, знает, как недолговечен этот прибор.

[5]) Всякому, обращавшемуся с пипетой Дойера и даже Бертло, вероятно, известно, что при продолжительной работе распухают и болят губы, а люди со слабой грудью даже подвергаются кровохарканию. Впрочем, пипета Девиля уже устраняет этот недостаток.

Устройство прибора понятно из приложенной таблицы (табл. II, фиг. II и III). Ванна сделана из цилиндрической, в верхней части расширенной, трубки (лампового стекла). Нижний конец трубки заткнут каучуковой пробкой, для большей бесопасности закрепленной посредством проволоки (и в таком случае стекло должно быть снабжено оплавленным краем, за который проволока может быть закреплена) или, еще лучше, посредством металлической оправы, состоящей из кольца с винтовой нарезкой, приделанного к стеклу, и кольцеобразной гайки, которая внутренним выступом своим придерживает пробку. Пробка снабжена двумя отверстиями: центральным и эксцентрическим. В центральное входит та часть прибора, которая собственно может быть названа пипетой, в эксцентрическое—короткая, прямая трубочка, немного выдающаяся над внутреннею поверхностью пробки. Пипета имеет мало сходства с обыкновенной пипетой: она состоит из шарика с короткою нисходящею трубочкою и другою восходящею, дважды изогнутою. В восходящей трубочке третья вертикальная часть гораздо длиннее остальных и вытянута таким образом, что наружный диаметр менее 2 миллиметров. Нисходящая трубочка шарика и короткая трубка ванны соединяются каучуковыми трубками с трехконечной небольшой стеклянной трубочкой, третий конец которой соединяется также посредством каучуковой длинной трубки с воронкой. Обе короткие каучуковые трубки снабжены обыкновенными зажимами Мора.

Действие прибора состоит в следующем. Он наполняется таким количеством ртути, чтобы, когда ванна полна, воронка была пуста и наоборот. Воронку можно подымать или опускать на различную высоту, для чего служат два или три подвижных кольца, с выпиленными в них отверстиями. Подымая или опуская воронку, открывая тот или другой кран, можно заставить ртуть переливаться то через пипету, то прямо в ванну и, наоборот, из ванны в воронку, прямо или чрез пипету. Таким образом, одно и то же количество ртути, свободно обращаясь по всем направлениям в приборе, появляется в той его части, где оно оказывается нужным. Этим достигается одно из удобств прибора—экономия ртути [1]). Понятно, что, обладая возможностью по произволу оказывать давление на газ, заключающийся в сосуде, надвинутом на носик пипеты, то в том, то в другом направлении, мы легко и быстро переводим его из сосуда в пипету и обратно. Для этого только нужно попеременно опускать и подымать воронку, открывать и закрывать тот или другой зажим. При описанной форме пипеты для переведения газа из сосуда в сосуд нужно сначала из первого перевести газ в шарик пипеты, потом удалить этот сосуд, и на его же место подвинуть второй, наполненный ртутью, в который и перегоняется газ из пипеты. Если пипета служит только переливателем газа (transvaseur), то ей можно придать и такую форму, как изображено на фиг. I, т.-е. форму двух ванн, соединенных двуколенчатой трубкой с одним узким и одним широким восходящим концем. Действие прибора само собою понятно после сказанного о приборе первой формы. Третий конец трехконечной трубки, как и там, сообщается с воронкой. Я употреблял подобный прибор, когда нужно было быстро переводить газы из нескольких сосудов, но вообще предпочитаю первую форму.

Газовая пипета служит не только *переливателем* газов, но в то же время и прибором для обработки газов жидкими реактивами. Всем, кому знакомо действие обыкновенной пипеты, известно, что при употреблении жидких реактивов главное затруднение заключается в отцеживании газа, т.-е. в отделении его начисто от реактива, причем, очевидно, газ должен быть вытеснен из пипеты таким образом, чтобы реактив остановился у самого отверстия носика. Если он остановится несколько ниже, то понятно, что часть газа останется в трубке, и перешедшее в эвдиометр количество газа будет менее действительного. Если капля реактива попадет в эвдиометр, то измеряемый объем будет выше действительного; притом поступление реактива в эвдиометрическую трубку сопровождается еще другими неудобствами.

Это регулирование истечения газа так, чтобы остановить давление ртути в должный момент, достигается у Дойера повышением или понижением эвдиометра над уровнем ртути в ванне и быстрым погружением носика пипеты под ртуть. При этой операции все же нередко случается, что реактив попадает в эвдиометр. Неудобства пипеты Дойера в значительной степени ослаблены введенным Бертло краном; но даже и в пипете Бертло трудно регулировать истечение газа. Для того, чтобы доставить экспериментатору возможную свободу и удобство действия, я устроил свою реактивную пипету следующим образом (фиг. II).

Нижняя трубка шарика снабжена стеклянным краном, так как при каучуковой трубке и зажиме невозможно остановить реактив у самого выхода из пипеты. При зажимании трубки объем еще уменьшается, и выдавливается капля реактива; рассчитать же на каком расстоянии следует остановить реактив, чтобы остающийся невытеснен-

[1]) Это зависит и от того, что ванна имеет ровно размеры эвдиометра; между тем как при манипуляциях в ванне Дойера нужен простор.



ным объем газа соответствовал поднятию ртути, вследствие действия зажима, также невозможно, потому что эта величина совершенно случайная. Для того, чтобы изменять давление ртути на реактив по возможности нечувствительно, я употребил следующее приспособление. Среднее кольцо статива утверждается на такой высоте, чтобы при известном наполнении воронки давление ртути не было достаточно для поднятия реактива до отверстия носика. При таком положении воронки можно открывать и закрывать кран без опасения внезапного, неожиданного выбрасывания реактива (что случается нередко при несоблюдении этой предосторожности). Дальнейшее увеличение давления ртути достигается уже не поднятием воронки (это движение слишком грубо), а постепенным ввинчиванием в ртуть стеклянного песта, вращающегося в гайке, сделанной в поперечной пластинке, которая лежит на краях воронки и закреплена проволокой. Понятно, что каждому обороту винта соответствует ничтожное поднятие уровня ртути в воронке, что и необходимо, так как ему соответствует поднятие столба реактива, превышающее его раз в десять. Таким образом наблюдатель, сохраняя полное хладнокровие [1]), может довести реактив до наружного отверстия носика пипеты и, не торопясь, закрыть кран. Я убежден, что исследователи, работавшие с пипетой Дойера, вполне оценят удобства и преимущества моей пипеты.

Опишу, в виде примера, все манипуляции при определении углекислоты [2]).

Положим, что газ находится в трубке, представляющей размеры обыкновенной пробирной трубки, и что газ требуется определить с точностью до 0,001 кубического сантиметра. Трубка берется за кончик Бунзеновским ухватцем, подхватывается железной ложечкой и погружается в ванну *переливателя*, верхняя часть которой сделана расширенною для облегчения движения ложки. Так как отверстие трубки широко, то легко ощупать под ртутью носик пипеты и надвинуть на него трубку, при чем избыток ртути можно спустить прямо в воронку, находящуюся в нижнем кольце. Затем стоит закрыть этот зажим и открыть другой, и газ почти мгновенно переходит в шарик пипеты и замыкается ртутью. Пробирную трубку удаляют и на место ее надвигают предварительно наполненную ртутью эвдиометрическую трубку.

Так как мне приходилось определять не только *абсолютно малые* количества газа, но в то же время и количества, составляющие *относительно* малую часть (т.-е. малый процент) всего измеряемого объема [3]), то эвдиометру удобно было сообщить такую форму, как изображено на фиг. I таб. II (в средине). Он состоит из шарообразной части или, вернее, из цилиндрической, с закругленными основаниями, длинной узкой шейки и колоколообразно расширенного основания. Значение и форма этих частей понятны: расширенная верхняя часть дозволяет укоротить размеры эвдиометра, а, следовательно, и пипеты; цилиндрическая ее форма (вместо шарообразной) дозволяет употреблять ванну возможно малого диаметра, а следовательно, вмещающую возможно менее ртути; узкая часть снабжена делениями и служит для измерения газа, с желаемою степенью чувствительности; наконец, нижняя, расширенная часть служит для помещения газа, вытесняемого из эвдиометра при введении в него носика пипеты, а также способствует более удобному нахождению этого носика под ртутью.

Наполнение эвдиометра ртутью происходит или при помощи пипеты же, или при помощи очень тонких и гибких трубочек из полутвердого каучука, которые можно получать в хирургических магазинах, под названием английских катетеров.

Наполненный ртутью и заправленный в особой формы ухват с длинной ручкой (форма которого понятна из рисунка) эвдиометр надвигается на носик пипеты. Часть ртути прямо из ванны выпускается в воронку; вследствие происходящего от этого уменьшения давления, часть газа из пипеты тотчас переходит в эвдиометр, остальная часть переливается, когда воронка будет поднята и открыт зажим, сообщающий ее с шариком пипеты. Вся ртуть переходит в ванну; для ускорения этого можно вновь воспользоваться кратчайшим путем, чрез дно ванны. Эвдиометр подхватывается ложкой и переносится, для отсчитывания, в прибор Дойера. Благодаря употреблению регулятора, здесь, как известно, нет надобности ни в термометре, ни в барометре (когда определяется только относительный состав газа; для получения абсолютных величин стоит только сделать одно барометрическое и термометрическое наблюдение) [4]).

[1]) Чего не бывает при обыкновенной пипете, когда рот и обе руки заняты, глаза скошены на кончик пипеты и наблюдатель находится в постоянном страхе, что одним неосторожным движением может испортить анализ.

[2]) Как уже сказано выше, я ограничиваюсь только описанием тех приемов и подробностей, которые введены мною; все остальное предполагаю известным и отсылаю читателя к работе Дойера.

[3]) Известно, что разложение углекислоты происходит наиболее энергично, когда содержание ее не превышает 8%, как это показали опыты Соссюра и Добени, недавно подтвержденные Годлевским.

[4]) Принимая во внимание капиллярное понижение ртути в эвдиометре.

Измеренный газ вновь при содействии *переливателя* переводится в сосуд широкого диаметра и в нем переносится в *реактивную* пипету, содержащую раствор гидрата кали, где взбалтывается с реактивом, и обратно, тем же порядком, чрез *переливатель* возвращается в эвдиометр для вторичного измерения. Разность двух отсчитываний дает количество углекислоты. Это, кажущееся излишним, усложнение операций, т.-е. посредство *переливателя*, полезно с двоякой точки зрения. Во первых, эвдиометр никогда не приходит в прикосновение с реактивом пипеты, следовательно, не может быть и тени сомнения в его чистоте, а во вторых, газ, полученный после обработки гидратом кали, в переливателе вновь насыщается водяным паром, так как стенки его для того постоянно смочены водой. Подобное смачивание стенок эвдиометра (как это обыкновенно водится) ввело бы ошибку при определении объема газа, конечно, ничтожную, но тем не менее нежелательную, когда определяются такие малые количества газа. Но из всего сказанного ясно, что это усложение не представляется необходимым, и при опытах, не требующих особенной, исключительной точности, может быть опущено. При соблюдении всех описанных приемов, определение углекислоты требует минут 12—15, но если не переносить эвдиометра в прибор Дойера, а производить отсчитывания прямо над ванной реактивной пипеты, то для этого не потребуется более 3—5 минут.

Остается сказать несколько слов о степени чувствительности употребленных мною приборов. Каждое деление моего эвдиометра (=1 миллиметру), прокалиброванного ртутью, посредством взвешивания, равнялось (средним числом) 0,0075 кубического сантиметра. Но так как отсчитывания производились при помощи зрительной трубки, дающей увеличение в 10 раз и снабженной скалой в окуляре, служащей нониусом, то отсчитывания легко можно было бы производить с точностью до 0,01 деления; но я довольствовался 0,1 деления и, следовательно, определял 0,0007 кубического сантиметра, а результаты выражал в тысячных долях. При употреблении таких узких трубок, очевидно, играет роль форма ртутного мениска, изменяющаяся с температурой; но это изменение в пределах тех температур, при которых я наблюдал, ни в каком случае не превышало 0,1 миллиметра и, следовательно, не могло влиять на мои определения.

Ознакомившись с химической стороной дела, перейдем теперь к рассмотрению физической и физиологической стороны.

Помещение, где производились опыты, было обращено на Ю.-В. и находилось в нижнем этаже, вследствие чего гелиостат можно было выставлять на каменный столб, сложенный нарочно поодаль от стены здания для того, чтобы воспользоваться возможно большим горизонтом (комната была к тому же угловая). Световое изображение, отраженное от зеркала гелиостата, принималось на вделанную в ставень чечевицу (неахроматическую) такого размера (13 см.), чтобы изображение занимало только ее средину. С внутренней стороны ставни, для устранения рассеянного света, прикреплялась коническая трубка из папки, выклеенная внутри черной матовой бумагой; длина трубки равнялась фокусному расстоянию чечевицы (50 см.). К внутреннему концу трубки, снабженному диафрагмой, приставлялась С' Гревзендова щель, ширина которой не превышала 1 миллиметра. Между щелью и призмой с сернистым углеродом помещалась другая чечевица (также неахроматическая, в 10 см. диаметра и 30 см. фокусного расстояния). Для получения отчетливого спектра я поступал таким образом. Сначала прокладывал спектр, чтоб определить приблизительно положение экрана. Затем поворачивал призму так, чтобы одна из сторон отбрасывала на экран изображение щели и, передвигая вторую линзу и экран, устанавливал их таким образом, чтоб получить ясное, резко ограниченное изображение щели. Затем призма приводилась в должное положение и устанавливалась на minimum отклонения для луча D. Эта линия была еще видна при употреблявшейся ширине щели, а при незначительном сужении последней проявлялись и B, C, E, F, G. О чистоте спектра можно было судить еще, устанавливая сосуд с параллельными стенками, наполненный раствором хлорофилла. Спектр хлорофилла был почти также отчетлив, как в спектроскопе; *все линии обозначались с полною ясностью*, а главная, характеристическая черта представлялась совершенно черной, с ясно ограниченными краями. При увеличении щели, напр., до двух миллиметров, средние черты исчезали, а главная делалась расплывчатой, туманной. Высота спектра была обыкновенно от 8—10 см., длину же я не определял, вследствие неясной границы фиолетового конца. Силу освещения я также не определял, так как это было бы очень хлопотливо (если определять ослабление вследствие отражения от зеркала, призмы и пр. и вследствие поглощения средами) и для настоящей работы излишне [1]). Простое геометрическое построение (т.-е. не принимая, во внимание указанные обстоятельства) показывало, что свет был ослаблен приблизительно в шесть раз.

[1]) Я имею в виду предпринять впоследствии ряд определений абсолютных количеств разлагающейся углекислоты; тогда подобное определение будет существенно важно.



Физиологические условия состояли главным образом в следующем. Нужно было заботиться, чтобы листья получали возможно более света и были по возможности сходны. Хотя с первого взгляда может показаться, что было бы все равно выставлять большие зеленые поверхности в большой, но не яркий спектр или малые поверхности в малый, но яркий спектр, лишь бы в том и в другом случае листья пользовались всем возможным светом. Но не трудно убедиться, что результаты того и другого опыта были бы различны. Не следует забывать, что одновременно с разложением углекислоты в растении постоянно совершается процесс окисления, выделения углекислоты, и что, чем он энергичнее, тем менее ясны, отчетливы результаты обратного процесса. Но процесс окисления можно принимать пропорциональным поверхности (или вернее массе), следовательно, *для ясности* результатов выгоднее выставлять в более яркий спектр менее значительные поверхности листа.

Возможной тождественности объектов можно достигнуть только одним путем; вырезая куски *одинаковой площади и свойства из одного и того же листа*.

Выбор листа, кроме его размеров, определяется еще следующими обстоятельствами. На состав газов после опыта, кроме совершающихся процессов, очевидно, должна влиять и существующая в листе атмосфера и растворенная в жидкостях его углекислота (и преимущественно эта последняя причина, так как атмосфера межклетных пространств должна скоро приходить в равновесие с окружающей средой). Этот источник неточности, очевидно, зависит от объема листа, а так как поверхность его дана, то—от его толщины.

Следовательно, удовлетворить условиям опыта мог лист *довольно большой, плоский, однородный* (в отношении цвета и нервации) и *тонкий*. Из всех находившихся у меня под рукой листьев наиболее пригодными оказались листья бамбука, толщина которых, как я убедился посредством измерения поперечных разрезов под микроскопом, не превышает 0,1 миллиметра. Из такого листа, по удалении срединного нерва, а также верхней и нижней части, вырезывались 4—6 кусков в 8 сантиметров длиною и 12—15 миллиметров шириною (разумеется, в каждом опыте все куски были одинаковой величины).

Рассмотрим теперь самый способ эксперементирования и погрешности, которые он может представить. Описанные куски листа вводились в стеклянные, запаянные с одного конца трубки, с внутренним диаметром в 10—12 миллиметров. Так как ширина кусков превышала диаметр трубки, то они, вследствие своей упругости, удерживались (даже при наполнении ртутью) на той высоте, на которой были помещены. Это обстоятельство немаловажно, так как, если не все куски будут на одной высоте, то или часть листьев не будет вполне освещена, или придется увеличивать размеры спектра и напрасно терять свет. Наполнение трубок с листьями ртутью требует некоторой ловкости или, вернее, навыка. Как известно, листья весьма упорно удерживают на своей поверхности слой воздуха [1]); удалить его можно следующим образом: наполнив трубку почти до края, ее приводят в наклонное положение так, чтобы лист находился на нижней стороне, и, закрыв отверстие перстом, несколькими сухими ударами или сотрясениями удаляют весь воздух, до последнего пузырька. Листья бамбука и в этом отношении представляют удобство. У них пузырьки воздуха держатся почти исключительно на нижней поверхности, покрытой пушком. Когда весь воздух удален, то присутствие листа, прилегающего под ртутью к нижней поверхности трубки, обнаруживается бесчисленным множеством мельчайших точечек, это верхушки волосков. Наполненная трубка опрокидывается над ртутной ванной. При всех операциях с этими трубками и эвдиометром употребляется железная ложка.

Для выставления трубок в спектр служил очень искусно сделанный в Париже маленький деревянный статив с такою же ванной. Для того, чтобы трубки можно было размещать в каких угодно между собою расстояниях, т.-е. плотно одна к другой, или с желаемыми промежутками, они не захватываются, а только придавливаются сверху нажимами, закрепляемыми винтом и подложенными пробкой. Дно ванны также выложено каучуком, так что трубки крепко удерживаются в своих местах и плотно закрыты со дна; таким образом, даже при самом неосторожном обращении (при переноске) не может быть опасности, расплескав ртуть в ванне, случайно ввести пузырек воздуха. Каждая трубка получает по возможности одинакий объем газа; для этого все они прокалиброваны га-

[1]) Это обстоятельство было одной из причин неудачи опытов Дрепера. Для удаления этого воздуха он оставлял листья на несколько дней в воде, при чем сам подозревал, что они начинали разлагаться. Довольно странно, что ему не пришел в голову следующий простой прием: стоило только погрузить листья в прокипяченную воду, тогда серебристый слой пузырьков, их покрывающих, мгновенно исчезает, растворяется. Этот прием можно было употребить и в настоящем случае, т. е. сначала наполнить трубку прокипяченной водой, а потом уже вытеснить ее ртутью; но я нашел это излишним.

зом таким образом, что означенная алмазом черта показывает объем, соответствующий нижним чертам эвдиометра. Эта предосторожность вызвана формой эвдиометра: если бы газа взято было слишком много или слишком мало, то уровень ртути при измерении в эвдиометре стоял бы или в колокольчатой, или в расширенной верхней части эвдиометра, т.-е. отсчитывание было бы невозможно.

Все трубки наполнялись из одного маленького стеклянного газометра предварительно приготовленною смесью воздуха с углекислотой. Последней бралось обыкновенно около 5% (что измерялось при помощи делений на колоколе газометра) [1]). Это содержание углекислоты находится также в связи с размерами эвдиометра. Нужно было брать ее такое количество, чтоб объем ее в каждой трубке + наибольший объем углекислоты, который может образоваться, помещались в шейке эвдиометра, т.-е. чтоб после самого энергического поглощения гидратом кали, остающийся объем был бы настолько велик, чтоб уровень ртути стоял в шейке эвдиометра, а не вошел бы в шарик. Одновременно с трубками, содержавшими листья, наполнялась и порожняя трубка, назначенная для точного анализа употребленного газа.

Батарея трубочек выставлялась затем в спектр, который передвижением второй линзы сокращался или расширялся (в вертикальном направлении) сообразно размерам взятых кусков листа так, чтобы нисколько света не пропадало даром. За трубками помещался белый экран, а в промежутках между ними, вплоть до экрана — черные картонные перегородки для того, чтобы препятствовать боковому отражению от стенок соседних трубок. Таким образом, каждая трубка получала исключительно ей предназначенный свет. Положение трубок определялось положением линии D, но главным образом, отчетливым, *представлявшим все линии* спектром хлорофилла. Трубки размещались таким образом: самая крайняя в красной части, не поглощаемой хлорофиллом, вторая в абсорбционной полосе хлорофилла, третья в оранжевой части (на второй полосе), четвертая в самой яркой желтой части на границе с зеленой (при линии D, следовательно, около третьей линии), пятая в самой светлой зеленой части, левее четвертой абсорбционной линии. Если смотреть на установленную таким образом батарею, то все трубки представляются в соответствующих цветах спектра, только крайняя красная представляется почти темной [2]). Но если перед глазом поместить сосуд с раствором хлорофилла, то картина изменяется: крайняя трубка представляется ясно-красного цвета, а вторая с краю совершенно черной.

Инсоляция длилась обыкновенно шесть часов, иногда более, редко менее. Я не привожу числа часов, потому что они ничего не означают: за одним только исключением, мне не удавалось экспериментировать в совершенно безоблачные дни, а при таких условиях настоящее время инсоляции все же остается неизвестным. В следующем году у меня будет регистрирующий аппарат, который дозволит точно определять время инсоляции, и тогда эти цифры представят интерес при вычислении абсолютных количеств.

По окончании опыта газы поспешно отделяются от листьев при помощи пипеты и переводятся в другие сосуды. В этой операции обнаруживается одно из удобств моего метода: благодаря ему, возможно действовать на один и тот же объем неопределенное число часов, т.-е. несколько дней, и каждый раз отделять газ от листа без потери. Таким путем, вероятно, удастся получить результаты и в спектрах менее ярких, чем тот, который я имел, наприм., в таких, в которых видны будут все фраунгоферовы линии, или в дифракционном.

Собранные таким образом газы подвергаются анализу (т.-е. определяется в них углекислота) и результат сравнивается с составом взятого газа. Разность между двумя отсчитываниями, до и после поглощения гидратом кали, дает количество углекислоты, оставшейся после инсоляции. Но, зная состав взятого газа и его количество в данной трубке, из пропорции, получаем, сколько ее должно было быть до опыта. Вычитая первую величину из второй или наоборот, узнаем, сколько углекислоты исчезло или прибыло во время опыта. Все полученные цифры не нуждаются ни в каких поправках, так как все отсчитывания производятся в приборе Дойера при помощи его регулятора.

Из приведенной ниже таблицы видно, что наибольшее количество разложенной углекислоты = 0,462 куб. сантиметра, наибольшее количество выделившейся = 0,144.

[1]) Принимая во внимание ослабление света при этих опытах, это содержание, вероятно, наиболее выгодное.

[2]) Нельзя не разделять энтузиазма, с которым Дрепер описывает свой опыт; трудно не увлечься, когда увидишь в первый раз среди совершенной темноты этот ряд сверкающих, словно горящих разноцветными огнями, трубок, а уму невольно представляется мысль, что тут неслышно, невидимо совершается таинственный, неразгаданный процесс, что тут завязывается узел, соединяющий все живое на нашей планете с источником его силы—солнцем. Едва ли во всей физиологии растений найдется другой опыт более любопытный по содержанию, более изящный по форме,



Рассмотрим главные источники неточности, которые могли возникнуть при описанной постановке опыта. Главная ошибка, которой следует опасаться, заключается в удалении каким бы то ни было способом из взятого газа находящейся в нем углекислоты, так как о ее разложении заключаем только по ее убыли. Единственным вероятным источником ее потери могло быть поглощение ее водою листа, но не трудно убедиться, что это поглощение не могло влиять на результаты опыта. О количестве углекислоты, поглощенной листом, можем составить понятие на основании следующих данных: 10 квадратных сантиметров листа весят в свежем состоянии 0,06 гр., высушенные при 110° весят 0,03, следовательно воды в них 0,03 кубич. сантиметра. При обыкновенной температуре вода поглощает примерно равный объем углекислоты, но так как давление после опыта было от 0,01 до 0,06 атмосферы, то количество ее, растворенное в листе, колебалось между 0,0003 и 0,0018 кубического сантиметра, следовательно, может считаться в пределах погрешности самого метода. Но эта оценка слишком велика, потому что растения, разлагающие углекислоту, едва ли представляют насыщенные растворы. Это последнее обстоятельство убеждает, что в тех трубках, где углекислоты разложилось мало, ее в действительности разложилось еще менее, так как там поглощение было более энергично, как вследствие большего содержания углекислоты в окружающей атмосфере, так и вследствие большей вероятности равновесия между этой атмосферой и раствором в листе. Следовательно, если и была ошибка в 0,001, то она касается только тех трубок, которые находились в крайней красной и зеленой частях, и эти ординаты следует убавить на соответствующую величину (т.-е. в приводимых графических результатах на 1/4 миллиметра).

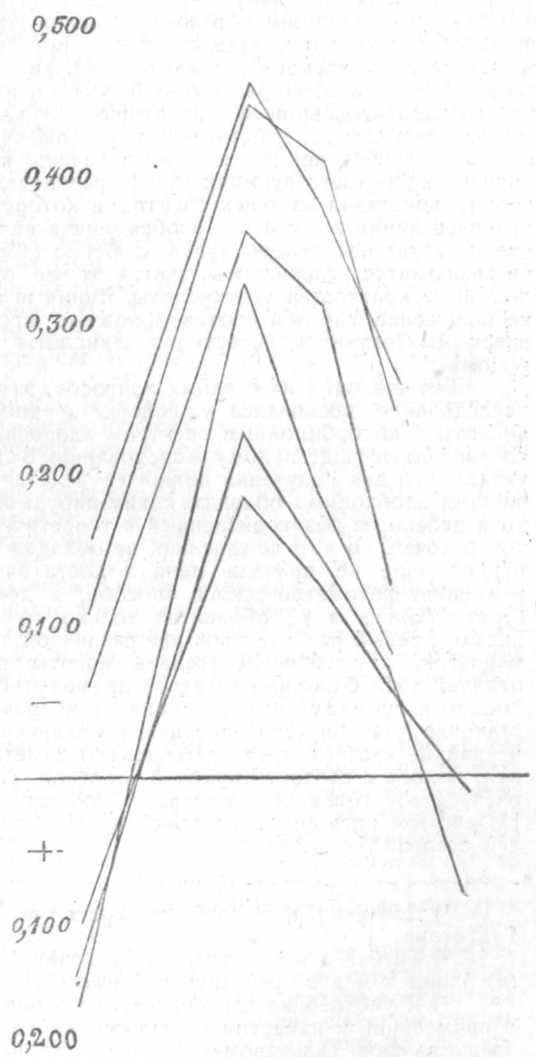



Рис. 5.

Второе возможное возражение заключается в погрешности, которую мог ввести тот период, в продолжение которого трубки наполнялись газом, и тот, когда газ отбирался из них, но та и другая операция не длилась более 1/4 часа, в продолжение которых трубки покрывались черным покровом и постоянно обращалось внимание, чтобы трубка, наполненная первою, была бы первою опорожнена. Таким образом правило, чтобы все сравниваемые части находились при прочих равных условиях, кроме одного, — т.-е. специфического действия различных лучей, — было строго соблюдено (насколько это возможно вообще при опытах с организмами), так что различие в явлении нельзя приписать никакой иной причине, кроме искомой.

Привожу результаты шести опытов в графической форме (фиг. 5). Эта форма дает возможность непосредственно судить о степени чувствительности метода. Ординаты, соответствующие пяти частям спектра, в которых производились опыты, представляют *столбы углекислоты* (исчезнувшей или образовавшейся) в шейке моего эвдиометра, *в удвоенном масштабе*. Если же изобразить их в том виде, в каком они представлялись мне в зрительную трубу, то масштаб нужно взять *в 5 раз более*. Этого соображения, я полагаю, достаточно, чтобы убедить, что приводимые результаты представляют вполне реальные, осязательные величины, а не продукты арифметических упражнений, как у других исследователей.

Черта, обозначенная O, представляет нам такое положение, при котором нет ни разложения, ни образования углекислоты; величины над чертою изображают количество разложеной, величины под чертою — образовавшейся углекислоты. Расстояния на оси абсцисс взяты произвольные и равные. Но так как одна из главных целей заключалась в сравнении полученных кривых с поглощением света хлорофиллом, то нужно было получать результаты в форме, допускающей сравнение. Опыты производились в спектре сероуглеродной призмы, спектр же хлорофилла определялся в обыкновенном спектроскопе с флинтгласовой призмой. Я нашел более удобным перечислить результаты опыта на флинтгласовую призму, т.-е. привести их к спектру моего спектроскопа. Для этого я поступил следующим образом: вычислил среднюю из шести опытов. Определил количество углекислоты, выделяемое средним числом тою же поверхностью листа за тот же промежуток времени в темноте, прибавил это количество ко всем величинам, показывающим количество разложенной углекислоты; вычел из этого числа количества углекислоты, образовавшиеся в некоторых трубках. Эти суммы и разности дали мне количества углекислоты, действительно разложенные под различными лучами. Полученные (для всех трубок положительные) величины я перемножил на показателей отношения дисперсии (соответствующих лучей сравниваемых между собою призм) и полученные величины восставил из точек спектра, в которых находились трубки [1]). В результате получилась линия a b c d e f, изображенная на табл. I [2]). Нижняя горизонтальная линия представляет настоящую нулевую линию (абсолютный нуль), т.-е. положение, где вовсе не разлагается углекислоты; считая от нее, ординаты представляют действительно разложенные количества углекислоты. Линия m n представляет относительный нуль, т.-е. то положение, где оба противоположные процесса уравновешиваются; считая от нее вверх, мы получим количество углекислоты исчезнувшей (т.-е. заменившейся кислородом).

Так как один из главных вопросов, для разрешения которых было предпринято исследование, заключался в проверке предполагаемой связи между разложением углекислоты и абсорбционным спектром хлорофилла, то я счел нужным подвергнуть этот последний более тщательному исследованию. В своем исследовании над хлорофиллом я уже указал, что для получения полного представления о законе поглощения света хлорофиллом необходимо обладать каким-нибудь фотометрическим приемом. Прием Фирордта, хотя далеко не безукоризненный в теоретическом отношении, вероятно, был бы достаточно точен, но я, к сожалению, не обладал его прибором, а те приемы, к которым прибег, еще не привели меня к достаточно удовлетворительным результатам [3]). По неимению фотометрического способа, я довольствовался тем, что срисовал на глаз (прямо тушью, а не обозначая только точками границы линий, как это обыкновенно делают) целый ряд спектров при различной толщине слоя. При этом обращалось внимание: на относительную степень черноты трех первых линий между собою; на степень отличия абсорбционных точек от промежутков; на моменты, когда различие между полосами и промежутками становилось неприметным для глаза. Этих данных было достаточно для получения рисунка, приведенного на таблице I. Следует еще заметить, что и крайние красные лучи претерпевают заметное поглощение, если сравнивать эту красную полосу с соответствующей полосой спектра взятого источника [4]); она кажется очень яркой только по контрасту с совершенно черными частями, ее окаймляющими. На рисунке поглощение красных лучей не обозначено, вследствие трудности судить о его степени [5]).

---

[1]) Для дисперсии спектра сероуглеродной призмы я руководствовался данными Гладстона.

[2]) Трубки a и b находились в крайней красной части спектра, но в трех опытах (a) ближе к A и в трех других ближе к B.

[3]) Я употреблял для постепенного ослабления света два приема. Первый состоял в применении к измерению напряжения света приема, употребляемого Desain'ом для градуирования гальванометра при исследованиях над лучистой теплотой. Другой прием состоял в замене дымчатых стекол дымчатой желатиной. Скала, составленная из наложенных одна на другую пластинок желатины, представляет, кроме постепенности, еще то преимущество, что может в то же время служить при подборе теней на рисунке, и таким образом самый рисунок лишается своей произвольности. Оба эти способа, взятые вместе, дадут, я убежден, удовлетворительные результаты. Впрочем, я ожидаю еще более удовлетворительных результатов от применения открытия Бекреля (о котором будет сказано ниже) к фотографированию спектра хлорофилла, чем в настоящее время и занят.

[4]) Спектроскоп мой снабжен подвижною щелью в окуляре, что делает все определения несравненно более точными, так как позволяет устранять действие других лучей.

[5]) Еще не известно, не существует ли абсорбционных полос при A и левее; это может обнаружить только столбик Меллони.



Для более удобного определения спектров, при различных толщинах слоя, я употребил не прежний свой прибор (главное значение которого заключалось в возможности точного изучения *малых количеств* тел, получающихся при реакциях), а следующий, новый, представляющий несомненные удобства и вполне удовдетворяющий так часто заявляемой потребности в подобного рода приборах (фиг. 6). Он состоит из широкой цилиндрической трубки, открытой с обоих концов и тщательно пришлифованной по краям. Оба конца закрыты зеркальными пластинками, закрепляемыми посредством каучуковых колец и снабженными двумя призмами, которые приклеены канадским бальзамом, и сообщают лучу указанное на рисунке направление. Жидкость приливается из бюреты, где и может измеряться со всею желаемою точностью. Зная отношения диаметров бюреты и цилиндра, знаем толщину слоя жидкости. Кончик бюреты снабжен узкой вытянутой трубочкой, доходящей до дна цилиндра. Значение этой трубочки следующее. При определении абсорбционной кривой иногда весьма важно обращаться к уже сделанному определению, проверять его, т. е. уменьшать толщину слоя, что и достигается здесь таким образом: верхняя часть бюреты снабжена каучуковым шаром с зажимом, при помощи которого можно по желанию всасывать жидкость в бюрету и вновь ее выпускать. Когда имеется достаточное количество раствора, прибор этот представляет несомненное преимущество пред своим прежним прибором.

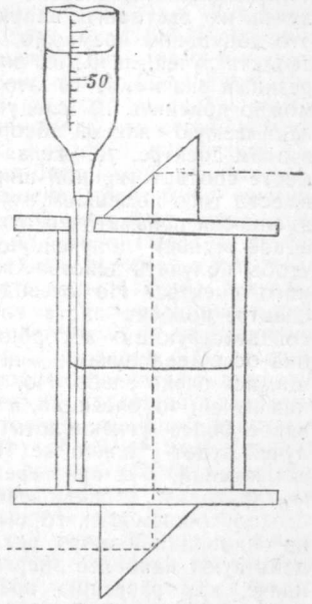


Рис. 6.

Полученое таким образом изображение показывает с особенною ясностью, как велико различие в интенсивности различных полос спектра. Вторая и третья полосы являются только как бы зубцами на общей фигуре, которая, если отвлечься от этих второстепенных maxima, представляет близкое сходство с помещенной над нею кривой разложения.

На этом мы и закончим фактическую часть этой главы. Из нее, я полагаю, можно сделать тот вывод, что вопреки мнению Сакса, уже не раз приведенному выше, изучение занимающего нас явления становится возможным в форме, вполне точной как с физической, так и с химической точки зрения, чем и разрешается задача, поставленная в начале этой главы. Перейдем теперь к рассмотрению заключений, выводов и предположений, возникающих при современном состоянии вопроса и определяющих дальнейший ход исследования.

---

Первый и самый общий вывод, который может быть сделан—тот, что всякий окончательный вывод был бы преждевременен. Тем не менее, постараемся, по возможности, ответить на те вопросы, которые возникают сами собою ввиду полученных результатов. Какие лучи оказывают преобладающее действие? От каких свойств этих лучей зависит оно? Пропорционально ли оно действию луча на глаз? Зависит ли оно от условий силы луча? Не зависит ли оно исключительно от степени поглощаемости луча хлорофиллом? Или оно, быть может, зависит одновременно от двух или нескольких причин? И, наконец, не имеют ли действующие и поглощенные хлорофиллом лучи еще какого-нибудь специального значения в этом процессе?

I. Какие лучи, т.-е. лучи какой длины волны оказывают наиболее энергическое действие? Хотя мы видели, что Сакс дает в своем учебнике прямой ответ на этот вопрос, определяя, с какой длины волны начинается разлагающее действие и при какой кончается, и выводит из этого даже особую теорию, что наибольшее действие оказывают лучи с длиною волны, среднею между этими пределами, но мы также видели, что он в этом обнаруживает полное непонимание дела (не говоря уже о ненадежности фактических данных, на которых он основывается). Для того, чтобы судить об отношении между длиною волны и рассматриваемым процессом, нужно знать, какой вид получит кривая разложения в спектре дифракционном, так как в спектре призматическом действие луча зависит от двух причин: от свойства волны и от светорассеяния, и потому нельзя произвольно приписывать явление исключительно одной причине. Так, напр., если в призматическом спектре известный красный луч оказывает одинаковое действие с известным фиолетовым, то из этого нельзя заключать, что и в дифракционном спектре оба окажут одинаковое действие, напротив, последний луч может оказать действие более энергическое. Итак, если мы желаем судить о значении того или другого луча (характеризуемого длиною его волны), то во всяком случае, должны прежде

элиминировать влияние светорассеяния, и для этого результаты, полученные для призматического спектра, перечислить на спектр дифракционный, помножая полученные данные на показателя отношения дисперсии. Но, спрашивается, вправе ли мы поступить и таким образом? Не будет ли произвольным допущение, что действие лучей *пропорционально* дисперсии? Если явление зависит от какого-нибудь общего свойства лучей, их светового напряжения или живой силы (измеряемой тепловым эфектом), то это допущение возможно, но если действие зависит от каких-нибудь специфических свойств лучей, напр., их поглощаемости, в особенности, когда это свойство изменяется резкими скачками, то это допущение, очевидно, может оказаться неправильным. Это можно пояснить на следующем примере [1]). Возьмем полосу дифракционного спектра, занимаемую главной абсорбционной линией хлорофилла. Еслиб мы экспериментировали в этом спектре, то, желая узнать действие этого пучка лучей, поместили бы в этом месте соответственной ширины полоску листа, но мы этого пока не можем сделать и вместо того помещаем эту полоску в призматический спектр, и зная, что в этой части дисперсия призматического спектра примерно вдвое менее (следовательно, лучи скучены вдвое теснее), полученную величину разложенной углекислоты делим на два для того, чтобы получить действие на ту же площадь листа соответствующих лучей дифракционного спектра. Но очевидно, что подобное заключение не верно; в призматическом спектре полоска листа только в средней своей части будет освещена пучком лучей, соответствующих абсорбционной линии хлорофилла, направо и налево от этого пучка она освещена лучами, или вовсе не поглощающимися хлорофиллом, или поглощающимися очень слабо. Но, так как, по условию, действие зависит от степени поглощения лучей, то очевидно, мы не вправе заключить, что полоска листа будет разлагать вдвое более углекислоты; хотя она и получит вдвое более лучей, но действующих лучей будет столько же. Понятно, что аргумент сохраняет свою силу и при обратном заключении, т.-е. при переходе от призматического спектра к дифракционному [2]). Итак мы приходим к заключению, что если разлагающее действие луча зависит от степени его поглощаемости, то мы не вправе перечислять кривую с одного спектра на другой, на основании одного различия в дисперсии. Возвращаясь к вопросу, какие же лучи действуют наиболее энергическим образом, мы теперь видим, что разрешить его нельзя иначе, как разрешив предварительно, в силу каких своих свойств действуют лучи, потому что, только разрешив этот вопрос, мы можем решить вопрос—вправе ли мы переводить результаты с одного спектра на другой, а без этого мы не можем составить никакого понятия об отношении между явлением и длиною волны.

Итак, переходим к этим вопросам.

II. Пропорционально ли действие света на разложение углекислоты действию его на глаз? Мы видели, что теория случайного совпадения, предложенная Саксом, оказывается фактически неверной (так как в защиту ее нельзя привести убедительных опытов, а опыты Мюллера и оба ряда моих опытов говорят против нее). Но если это учение неверно с фактической стороны, а допущение элемента случайности даже оскорбляет логику, то оно неверно еще и в том отношении, что отрицает возможность рационального объяснения (предполагая, что самый факт был бы верен). Сакс говорит: факт связи верен, но рационального объяснения ему дать нельзя, следовательно, это связь случайная. Обыкновенно считают несомненной истиной, что световое напряжение—явление чисто субъективное, что ему не соответствуют различия в объективной энергии луча. Но такое утверждение едва ли не слишком смело. Мы в настоящее время ничего не знаем о живой силе, о тепловом напряжении лучей, так как эти данные можно получить, только изучив тепловое напряжение лучей в нормальном (дифракционном) спектре, а пока мы их не имеем. Если же перечислить результаты, полученные Мюллером, Десеном и Ламанским, то оказывается, что maximum теплового действия в нормальном спектре лежит в средней части светового спектра, не далеко от maximum'а света [3]). Итак, пока мы даже не знаем, не совпадают ли эти два проявления светового луча, кажется, еще рано утверждать, что свет—явление чисто субъективное, не зависящее от энергии луча [4]). Заключение Сакса, таким образом, совершенно извращается. Вместо того, чтобы утверждать, что связь существует, но не может быть объяснена рациональной причиной и потому должна быть признана за случай, можно сказать, что связь эта не оправдывается фактами; но *пока* еще было бы слишком смело утверждать, что она даже логически невозможна [1]).

III. Существует ли отношение между разложением углекислоты и энергиею действующего луча? Этот вопрос, для выяснения, требует некоторого развития. Для измерения лучистой энергии могут служить только черный термометр или столбик Меллони. Повидимому, после того как опыт показал, что maximum нагревания лежит в темной части спектра, где разложение = 0, о подобном соотношении не может быть и речи. Но спрашивается, не поспешно ли будет подобное суждение. Не следует ли делать различие между температурой тела и температурой его частиц. Термометр или столбик показывает нам среднюю температуру тела, а не maximum, до которого достигают его частицы. При действии лучистой энергии это различие может быть очень значительно. Еще Румфордт указывал, что нам неизвестно, до какой степени могут быть нагреты частицы воздуха под действием лучистой теплоты. Термометр нам дает одинаковые показания, будут ли все частицы при одной, или некоторые при очень высокой, другие при низкой температуре. Но очевидно, что в химических явлениях должна играть роль именно температура частиц. Быть может, в этом и заключается специальное значение лучистой энергии в фотохимических явлениях. Частицы вещества, подвергающиеся действию лучистой энергии, находятся в условиях, более благоприятных для диссоциации, чем другие, находящиеся в пространстве, нагретом равномерно. Представим себе частицы углекислоты, рассеянные в атмосферном воздухе и подвергающиеся действию лучистой энергии; известно, что углекислота гораздо энергичнее воздуха поглощает тепловые лучи, следовательно, частицы ее будут нагреваться в сравнительно холодном пространстве—обстоятельство, благоприятствующее диссоциации (tube chaud et froid Девиля). Таким образом, термометр, помещенный в различные части призматического спектра, показывает нам только среднюю температуру, приобретаемую телом под влиянием лучистой энергии. Но по этим средним мы не в состоянии судить—где, в какой части спектра, будет лежать maximum молекулярной температуры; так напр., maximum температуры в темной части будет зависеть от дисперсии, от большей скученности, густоты светового пучка. Если же мы примем во внимание дисперсию, то, как уже сказано выше, убеждаемся, что в нормальном спектре maximum должен лежать в светлой части спектра. Следовательно, большей энергией обладают лучи светлой части спектра; лучи же темной части призматического спектра действуют энергичнее на термометр только вследствие своей скученности. Но, быть может, такое суммирование действия имеет последствием только повышение температуры большего числа частиц, повышает среднюю температуру тела, а не в состоянии довести некоторые частицы до температуры, необходимой для разложения. Темные волны приводят в движение большее число частиц, но уже ни одну не приводят в такое состояние, которое способно вызвать разложение. Подобное воззрение в состоянии объяснить, почему, допуская, что разложение зависит от живой силы луча, мы можем не встретить его в призматическом спектре там, где термометр показывает высшую температуру. Понятно, впрочем, что бóльшая скученность лучей, суммирование их *до известного предела* может увеличивать действие лучей и потому, даже допуская, что процесс зависит от живой силы луча и прекращается, когда она достигает известного minimum'а, нельзя предвидеть, в какой части *призматического* спектра должен лежать maximum разложения.

Но если подобное соотношение существует, то оно должно обнаружиться в нормальном спектре. Прилагаемый рисунок (фиг. 7) показывает, какую форму принимают обе кривые (кривые разложения (a′ и a) углекислоты и тепловая кривая (b) по Ламанскому в нормальном спектре). Как видно, соответственности не оказывается. Но еще неизвестно, насколько можно полагаться на подобные перечисления данных призматического спектра на дифракционный, и потому крайне любопытно было бы получить непосредственные экспериментальные данные для распределения теплового напряжения в последнем спектре. Итак, вопрос, существует ли отношение между тепловым напряжением *луча* и разложением, до получения сведений о распределении тепла в нормальном спектре, может считаться открытым [2]).

---

[1]) Понятно, выбран именно такой пример, из которого была бы ясна несообразность такого способа вычисления.

[2]) Т.-е., если бы мы взяли полоску листа шириною в абсорбционную линию призматического спектра и поместили ее посредине абсорбционной линии дифракционного, то получили бы не половинное количество разложенной углекислоты, а более половины.

[3]) С этим, повидимому, согласны и недавние опыты Дрепера над тепловым напряжением обеих половин спектра.

[4]) Новейшие исследования физиологов, повидимому, доказывают, что влияние света на глазной нерв обнаруживается объективным явлением отрицательного колебания тока и что явление это вызывается преимущественно желтыми лучами.

[1]) Может показаться, что я здесь сам себе противоречу, но это противоречие является необходимым последствием более глубокого анализа изучаемого явления. Действительно, господствующее в настоящее время убеждение в субъективности светового напряжения возбудило во мне недоверие к теории Дрепера (о случайности, разумеется, никогда не могло быть и мысли) и было исходной точкой моей работы; но теперь, в виду сказанного, не могу признать это убеждение за несомненную, непреложную истину, хотя весьма вероятно, что оно окажется таковою.

[2]) Понятно, что нет никакого основания a priori предполагать, что должно суще-

IV. Зависит ли разложение от поглощения света хлорофиллом? Приведенные результаты делают положительное разрешение этого вопроса в высшей степени вероятным. Этим соотношением объясняются два факта, требующие объяснения, именно

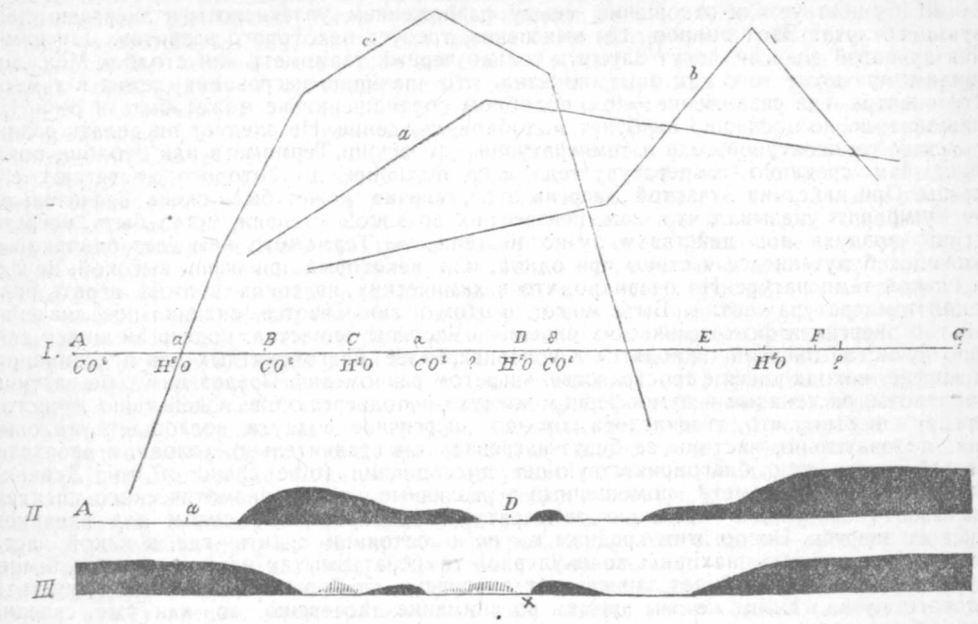



Рис. 7.

положения maximum'a [1]) разложения и положение пределов. Затем самая форма кривой в значительной степени сходна с общим очертанием фигуры, изображающей поглощение света. Эта фигура наглядно показывает, что спектр хлорофилла вовсе не представляет прерывчатого чередования темных полос и светлых промежутков, а напротив, представляет сплошное поглощение менее преломляющейся части спектра, на котором абсорбционные линии являются зубцами. На это обстоятельство ни Ломмель, ни Мюллер не обратили должного внимания. Для большей убедительности, конечно, желательно было бы обнаружить действие и второстепенных maxima, т.-е. второй и третьей абсорбционных линий. Хотя из спектра и видно, что их действие должно быть незначительно, тем не менее, убедившись в чувствительности своих приемов исследования, я надеюсь при употреблении более узких полосок листа обнаружить и это действие [2]). Но достаточно сравнить этот спектр хлорофилла с кривой моих первых опытов, чтобы убедиться, что одним поглощением нельзя объяснить форму кривой разложения. Крайние синие и фиолетовые лучи сильно поглощаются, а между тем разложение в них очень слабо. Здесь для объяснения является вторая вспомогательная гипотеза Ломмеля, что, кроме поглощения, влияет и энергия луча, а так как энергия этих лучей мала, то, несмотря на сильное поглощение, они оказывают только слабое действие. По этой причине, несмотря на повышение абсорбционной кривой, кривая разложения в этой

ствовать такое простое отношение между лучистой энергией и рассматриваемым процессом. Очевидно, что явление и в дифракционном спектре может быть подвергнуто более глубокому анализу, быть разложено еще на простейшие. Так как длина волны убывает от красного конца к фиолетовому, а показания термометра сначала увеличиваются, достигают maximum'a и затем уменьшаются, то из этого не следует ли заключить, что амплитуды также убывают от красного конца к фиолетовому. Чем более амплитуда, тем сильнее, тем короче длина волны, тем учащеннее удары, получаемые частицами, и едва ли можно сказать, которое из этих обстоятельств, или какое сочетание их, должно наиболее способствовать разложению.

[1]) Он был бы еще очевиднее, еслиб полоски листа были уже.

[2]) В приведенных опытах, не зная еще, как энергично будет разложение, я брал по возможности большие (т.-е. широкие) поверхности листьев, и потому их нельзя было разместить ровно на линиях (кроме первой) и в промежутках.



части спектра склоняется. Но это слабое тепловое напряжение синих и прочих лучей зависит в значительной степен, от сильной дисперсии; в нормальном спектре их тепловое действие должно быть более значительно—и, действительно, если мы перечислим результаты моих первых опытов на дифракционный спектр, то увидим (*a* фиг. 6), что в этой части спектра кривая уже не будет склоняться, а примет почти горизонтальное направление. Весьма возможно, что при более тщательном исследовании и здесь можно будет обнаружить повышение кривой. Но если эта сторона объяснения Ломмеля удовлетворительна, то общее его положение, что из лучей, поглощаемых хлорофиллом, наибольшее действие оказывают те, которые обладают наибольшей энергией, еще нуждается в доказательстве. Пока дело касается призматического спектра, это положение верно, и хлорофилл является очень совершенным поглотителем, т.-е. из тех лучей, которые он поглощает, всего сильнее поглощает те, которые представляют наибольшее тепловое напряжение. Но в природе солнечный свет действует не через призму, в природе существуют только известной длины волны, которые сильнее других поглощаются хлорофиллом, и волны *неизвестной нам длины,* обладающие наибольшей энергией. Пока нам неизвестна длина этих последних, мы не вправе считать положение Ломмеля доказанным. Вычисленная кривая даже не говорит в его пользу; но едва ли на эту кривую можно вполне полагаться. Итак, здесь снова, в отсутствии положительных данных, открывается простор для предположений. Во-первых, повторяем, нам неизвестно, какие лучи обладают наибольшей энергией; возможно, что они лежат гораздо ближе к красному концу, чем показывает вычисление,—и тогда окажется, что хлорофилл сильнее поглощает не только самые энергические *из поглощаемых*, но и абсолютно самые энергические лучи света. С другой стороны, возможно еще и другое отношение, в случае несовпадения обоих maxima, именно то, что недостаток энергии краевых лучей спектра выполняется более энергическим их поглощением. Такое воззрение пояснило бы то среднее положение maximum'a разложения, между maximum'ом поглощения и maximum'ом теплового напряжения, которое мы видим на фигуре 7 [1]). Итак, добавочная гипотеза Ломмеля о значении энергии лучей, необходимая для объяснения явлений в наиболее преломляющихся лучах спектра, пока еще произвольна в применении к менее преломляющимся лучам и даже не представляется необходимой, потому что положение maximum'a между B и C достаточно объясняется наибольшим поглощением этих лучей.

Таким образом, факты, повидимому, указывают на преобладающее значение в рассматриваемом процессе лучей, поглощаемых хлорофиллом; только это сопоставление, как уже сказано, объясняет найденное из опыта положение maximum'a, а равно и быстрое понижение кривой со стороны красных лучей. Но если такова роль хлорофилла, то постараемся ее изучить поближе; посмотрим, нельзя ли привести аналогий в подкрепление этого взгляда, нельзя ли, до известной степени, разъяснить природу этой связи. Против этого предположения о связи между поглощением света хлорофиллом и разложением, Сакс вооружается следующим аргументом. Растворы хлорофилла, говорит он, поглощают свет так же, как и живые части растений, и, однако, они углекислоты не разлагают—ясно, что между поглощением и химическою деятельностью не существует связи. Но, во первых, против этого можно возразить, что в растворах энергия света расходуется на другие процессы, на разложение самого хлорофилла, происходящее при непосредственном солнечном свете весьма быстро, в рассеянном—гораздо медленнее. И только, когда отсутствие кислорода делает невозможным это превращение, поглощаемая энергия не обнаруживается никаким внешним проявлением; тогда она, без сомнения, превращается в теплоту [2]). Во-вторых, есть основание предполагать, что твердый хлорофилл флуоресцирует в меньшей степени, чем растворы, следовательно, теряет при этом менее энергии [3]). Что энергичность внутренней работы находится в обратном отношении с флуоресценцией, можно, повидимому, заключить из следующего наблюдения. Если взять три пробирных трубки со спиртовым, эфирным и масляным растворами одинаковой концентрации и посредством цилиндрической линзы отбросить на них полосу яркого света, то можно убедиться, что они флуоресцируют в порядке: спиртовой $<$ эфирный $<$ масляный раствор. Способность к разложению сле-

[1]) Считаем излишним повторять, что эта кривая (a′) совершенно произвольна, что она не может иметь той формы, если явление зависит исключительно от поглощения.

[2]) Замечу кстати, что до настоящего времени, насколько мне известно, не опровергнут непонятный факт, описанный Студничкой (Wiener Ber. 1861), будто солнечный луч, *прошедший* через слой твердого хлорофилла, на слюдяной пластинке вызывает большее отклонение стрелки гальванометра, чем прошедший через ту же пластинку без хлорофилла.

[3]) Флуоресценция твердого хлорофилла, как известно, долго отрицалась, но присутствие ее было доказано Н. Мюллером, а впоследствии признано и Гагенбахом.

дует в обратном порядке: спиртовые растворы разлагаются очень быстро, эфирные—медленно, масляные могут иногда оставаться на солнце целые месяцы. Мюллер даже приводит опыт, из которого следует, что разложение углекислоты уменьшается с увеличением флуоресценции [1]). Наконец, возражение Сакса совершенно устраняется новыми фактами, приобретенными фотохимиею и бросающими яркий свет на природу изучаемого явления.

Недавние открытия Фогеля и затем Бекреля заставляют думать, что предполагаемая роль хлорофилла не исключительная, что такова вообще роль пигментов в фотохимических явлениях. Фогель показал, что серебряные соли, способные, как известно, разлагаться только под влиянием лучей с наименьшей длиной волны (которые, как показал Шульц-Зеллак, ими поглощаются),—что эти соли, если к ним будут примешаны какие-нибудь пигменты, начинают разлагаться и в тех лучах, которые поглощаются этими пигментами. Это явление, очевидно, сходно, как указывает на это Бекрель, с явлением так называемых продолжающих лучей (rayons continuateurs), заключающемся в том, что как только реакция подвинулась настолько, что серебряный препарат окрасился, то реакция продолжается уже в тех лучах спектра, которые начинают поглощаться этими окрашенными частями. Фогель делал свои опыты с различными пигментами. Но опыты Бекреля для нас любопытнее, так как они были сделаны над хлорофиллом. Оказалось, что если взять чувствительную пластинку, приготовленную из колодиума с иодистым серебром (чернеющим, как известно, только в наиболее преломляющихся частях спектра) и прибавить к раствору немного хлорофилла, то фотографическое действие тотчас обнаруживается и в частях спектра, соответствующих абсорбционным полосам хлорофилла. Особенно отчетливо выступает характеристическая абсорбционная полоса в красной части спектра, и по ее черному полю тянутся две узкие белые полоски—Фраунгоферовы линии B и C. Итак, не подлежит сомнению, что хлорофилл, подобно другим пигментам, способствует разложению серебряных солей при посредстве лучей им поглощенных, и иначе недеятельных. Что в этом случае действуют именно те лучи, которые поглощаются хлорофиллом, очевидно из того, что в этой части спектра поглощение полное; других, кроме поглощенных, лучей в этом месте спектра нет. Итак, мы вынуждены допустить, что в частицах хлорофилла поглощаемые лучи не затрачиваются (по крайней мере сполна) на какую-нибудь химическую работу, а только переходят (вполне или отчасти) в движение иного рода, способное сообщиться частицам других веществ и вызвать в них движение, имеющее результатом распадение этих тел. Таково, по всей вероятности, и действие хлорофилла в процессе разложения углекислоты. Описанные факты убеждают нас, что роль хлорофилла в процессе диссоциации углекислоты растением вовсе не исключительная, не имеющая аналогии в природе, как могло казаться до сих пор; напротив того, они обнаруживают, что тот же хлорофилл вызывает подобное же разложение и в других веществах; мало того,—что и другие пигменты, а может быть, и все, оказывают подобное же действие. Я сказал: может быть, все,—и действительно, пока еще не разрешен вопрос, действуют ли пигменты только как пигменты, или в этом явлении играет роль и их химический состав, т.-е. они принимают участие в этом процессе. Бекрель склоняется более в пользу физического действия, так сказать, превращения или передачи силы. Фогель, повидимому, предполагает участие самого вещества в реакции. Это может быть более согласно со всем, что нам известно вообще о способствующем действии органических веществ в фотохимических разложениях. Это действие обыкновенно состоит в удалении, в связывании продуктов диссоциации (O, Cl, J), а это обстоятельство, постоянно нарушая равновесие, не допускает диссоциации до предела, и таким образом разложение становится непрерывным [2]).

---

[1]) К сожалению, и этот опыт описан автором (Pringsheim Iahrb. 1873) так неудовлетворительно, что заставляет читателя принимать результат на веру.

[2]) Участие самого вещества хлорофилла в реакции весьма возможно. В своем исследовании над хлорофиллом я указывал на вероятность разложения хлорофилла в живом растении (или вернее на одновременное существование двух обратных реакций), и теперь этот взгляд, повидимому, начинают высказывать и другие ученые, как, напр., Визнер. Только Визнер допускает образование и разрушение хлорофилла, между тем как я указал на существование двух взаимно превращающихся видоизменений. Этот факт я считаю одним из главных результатов своей работы, и любопытно, что несмотря на обширное развитие литературы хлорофилла, он еще никем не был усмотрен. Замечу, кстати, что зеленение филлоксантина я считал окислением (хотя и приводил доводы pro и contra), теперь я склоняюсь к противному взгляду. Становится до некоторой степени вероятным, что различие этих двух пигментов находится в связи со степенью окисления железа, по крайней мере, любопытные, но к сожалению мало изученные, соединения закись-окиси железа представляют много сходства с реакциями



Итак мы можем с одинаковым правом допускать, что хлорофилл действует только в качестве пигмента, поглотителя света, или в то же время—химически, но во всяком случае не подлежит сомнению, что его роль находится в зависимости от его оптических свойств.

В том, что на разложение углекислоты действуют именно лучи, поглощаемые хлорофиллом, а не другие, можно убедиться еще и следующим путем. Во-первых, как уже замечено, между линией B и C, где лежит maximum разложения, поглощение полное, так что мы вынуждены принять, что световая волна не может здесь непосредственно действовать на частицы углекислоты; она должна предварительно превратиться в иного рода движение, в движение частиц хлорофилла. Следовательно, относительно главных действующих лучей едва ли может оставаться какое сомнение. Во-вторых, можно показать, что если бы действовали другие лучи, а не те, которые поглощены, то это должно было бы обнаружиться известными оптическими явлениями. Энергия, необходимая для разложения углекислоты, равняется, примерно, 1% всей лучистой энергии, получаемой от солнца данною площадью листа (как я это вычислил в своей работе над хлорофиллом, на основании цифр Пулье и Буссенго). Но мы теперь знаем, что главное действие ограничивается частью спектра, лежащего между B и E. Ей следует приписать, на основании всех согласных между собою опытов с хромистокалиевой солью, до 90% всего действия. Этой полосе спектра (на основании данных Ламанского) соответствует около $^2/_5$ теплового действия всего спектра. Но мы ни в каком случае не превысим действительности, если допустим, что лист пропустит $^1/_5$ этого количества, что составит около 8% всей энергии, получаемой листом; но на разложение тратится, как мы видели, около 1%. Следовательно, если бы разложение происходило не на счет лучей, поглощенных хлорофиллом, а на счет остальных лучей, то во время разложения интенсивность проходящих лучей должна была бы понижаться на $^1/_8$, между тем глаз может видеть различия в $^1/_{60}$—$^1/_{120}$. Если еще к этому прибавить, что разложение не везде (в означенной части спектра) равномерно, что в некоторых частях спектра оно сильнее, в других слабее, то из этого окажется, что в спектре луча, прошедшего чрез лист, разлагающий углекислоту, должны обнаружиться заметные minima света, т.-е. добавочные абсорбционные полосы. Так, напр., еслиб разложение происходило так, как предполагает Пфеффер, то в полосе света, соответствующей его орселину, должно разлагаться 50% всего количества углекислоты; но этой полосе соответствует $^1/_7$ всей энергии, а если принять опять, что чрез лист проходит всего $^1/_5$, то получим, что проходит около 3%, а на разложение потребно 0,5%, т.-е. $^1/_6$ всего света этой части спектра—следовательно, здесь должна бы появляться темная полоса, чего не бывает [1]). Приведенные соображения основываются на цифрах несколько произвольных (но зато и минимальных), тщательная же проверка этой стороны вопроса будет первой задачей, которую я предполагаю выполнить при наступлении благоприятного времени года [2]).

Итак, в общем выводе, связь между поглощением и разложением едва ли может быть подвергнута сомнению, но еще нельзя решить, какое отношение рассматриваемое явление имеет с тепловым напряжением луча. Если в призматическом спектре maximum поглощения представляет в то же время и maximum теплового напряжения, и оба совпадают с maximum'ом разложения, то еще неизвестно, какое положение эти точки будут иметь в нормальном спектре, другими словами, еще неизвестно, будет ли луч, обладающий наибольшей энергией, всего сильнее поглощаться. Положение maximum'а и предел в красных лучах могут быть удовлетворительно объяснены одним поглощением, но сравнительно незначительное разложение (несмотря на сильное поглощение) в синей части требует добавочного предположения, что в этом процессе играет роль и энергия луча [3]).

V. Не имеют ли лучи, поглощаемые хлорофиллом, еще специального отношения к совершающемуся процессу разложения углекислоты? Этот вопрос также требует разъяснения. Для того, чтобы разъяснить его, требуется уяснить самую сущность

---

хлорофилла. К этому предмету, занимающему меня более двух лет, я надеюсь вскоре вернуться.

Визнер полагает, что разложение хлорофилла в растении обусловливается, главным образом, желтыми лучами; этого еще нельзя считать строго доказанным, хотя оно вероятно à priori, из сравнения спектров хлорофиллина и филлоксантина.

[1]) Хотя такое предположение невероятно, тем не менее, я проверял его, т.-е. сравнивал спектр листа нормального, разлагающего углекислоту, и того же листа, убитого погружением в кипящую воду, и различия не оказалось.

[2]) Но даже и в такой форме эти соображения имеют реальную почву и тем отличаются от праздных, ничего не доказывающих и представляющих какой-то ребяческий характер соображений Пфеффера о том, какой маленький кусочек крахмала должен при этом образоваться.

[3]) Оно не может быть объяснено только сильной дисперсией.

фотохимических явлений, т.-е. отношение превращающихся тел к действующей силе. Прежде, как известно, фотохимические явления приписывали так называемым химическим лучам. Несостоятельность этого взгляда обнаружилась, когда стало ясно, что каждому телу свойственны свои химические лучи, примером чего могут служить изучаемые явления разложения углекислоты. Исследования Дрепера, показавшие, что луч света, прошедший чрез тело, в котором он вызывает превращение, теряет способность вызывать то же явление в новом количестве вещества, находящемся позади первого, исследования Гершеля и мисс Сомервиль над изменением растительных пигментов под влиянием комплементарных лучей спектра, наконец, последние исследования Шульц-Зеллака над поглощением света различными серебряными солями и их разложением,— все эти факты приводят к общему заключению, что фотохимическое действие находится в связи с поглощением лучей, что только тот луч, который поглощается, может вызывать превращение. Но, если в самом факте не может быть сомнения, то его объяснение еще может быть различно. Зависит ли только разложение от поглощения или эта зависимость обоюдная. Другими словами, могла ли бы та или другая реакция, вызываемая специальными лучами, поглощаемыми телом, быть вызвана и другими лучами, если бы они поглощались, или такое предположение невозможно по самой природе вещей. Имеем ли мы здесь дело с явлением аналогическим с явлениями созвучия, или еще ближе, с явлениями соотношения между лучеиспусканием и поглощением, или же химические явления не зависят от формы сообщаемого движения, лишь бы только это движение сообщалось частицам. Весьма любопытные явления, открытые в недавнее время, о разложениях, вызываемых сотрясениями от звуковых волн, скорее заставляют предполагать, что и здесь имеет значение вид волны. Но с другой стороны, только что указанные явления влияния посторонних тел, пигментов, делают это предположение менее вероятным. Повидимому, в опытах Фогеля, лучи, не поглощающиеся самим телом, действуют так же энергично (а может быть и энергичнее?). Ввиду этой неполноты наших сведений об отношении изменяющегося тела к изменяющему его лучу, вполне законен вопрос: не зависит ли разложение $CO_2$ и $H_2O$ при действии лучистой энергии от каких-нибудь специальных, поглощаемых ими лучей. Известны ли абсорбционные спектры этих газов? Относительно одного спектра мы имеем весьма неполные данные, относительно другого, насколько мне известно, только одну догадку. Спектр водяного пара был предметом довольно обстоятельных исследований Янсена. Янсен мог указать на некоторые из так называемых теллурических или Брюстеровых линий, как на несомненно принадлежащие водяному пару. Что касается до углекислоты, то кроме опытов Тиндаля, показывающих, что она, подобно другим сложным газам, поглощает тепловые лучи энергичнее, чем атмосферный воздух, мне известно только мнение Ангстрёма, предполагающего, что некоторые атмосферные линии принадлежат углекислоте. В пользу своего взгляда Ангстрём приводит следующий довод: если наблюдать атмосферические линии зимой, в сильные морозы, то можно убедиться, что некоторые из них, принадлежащие водяному пару, значительно ослабевают, между тем как другие не только не ослабевают, но кажутся даже более резкими. Эти-то линии Ангстрём и считает за линии углекислоты, так как их нельзя приписать другим телам [1]). Если мы обратим внимание на положение, занимаемое этими несомненными линиями водяного пара и вероятными линиями углекислоты, то заметим, что они скучены именно в той части спектра, которая поглощается хлорофиллом. Ангстрём прямо высказывает эту мысль: он говорит, что спектр потухающей зари напоминает спектр хлорофилла [2]). На фиг. 7 изображен дифракционный спектр с линиями водяного пара и углекислоты (I, по Ангстрёму), а под ним спектр хлорофилла (II, определенный мною при помощи решетки в 1200 линий в дюйме) и зари (III, по описанию Ангстрёма); в последнем спектре чертами означены те части, в которых поглощение представляется таким, т.-е. не сплошным; крестиком означено место наименьшего поглощения. Итак, к свойствам хлорофилла присоединяется еще одно, он поглощает те же лучи, которые поглощаются водяным паром и углекислотой, и следовательно такие, от которых можно ожидать наиболее энергического разлагающего действия. Справедливо ли подобное предположение или это только совпадение, решит будущее. Но если оно окажется

---

[1]) В сильные морозы, в декабре и январе этого года, я имел случай убедиться в справедливости этого наблюдения; особенно резко выделяется линия α, так что с первого взгляда легко ошибиться, приняв ее за C, C за B и т. д.; B также становится очень широкой, b — широка, но не очень резка. Остальные атмосферические линии были сравнительно с этими значительно слабее, чем, напр., в августе месяце.

[2]) Ангстрём—лучший судья в этом деле. Его „Spectre normal du Soleil", всем известно, но менее известно, что ему же принадлежат первые точные исследования спектра хлорофилла.



справедливым, мы получим в хлорофилле новый разительный пример приспособления органа к его функции [1]).

Из всего сказанного можно сделать следующие заключения о направлении, которое должны принять будущие исследования и о современном положении вопроса.

Для дальнейшего разъяснения дела существенно важно:

I. Определить, существуют ли второстепенные maxima (т. е. выдающиеся зубцы на полученной кривой), соответствующие абсорбционным полосам хлорофилла, а также тщательнее исследовать разложение в синей и фиолетовой части спектра, чтобы проверить предположение—не представит ли кривая при перечислении на дифракционный спектр повышения в этой части.

II. Определить, если окажется возможным, положение maximum'a разложения в спектре решеток. Этот опыт можно считать решающим опытом, experimentum crucis, для вопроса—от какого свойства луча зависит разложение.

III. Определить (посредством пиргелиометра и столбика Меллони) отношение между количеством тепла, получаемым листом, поглощаемым хлорофиллом и затраченным на процесс разложения [2]).

Указав на эти задачи, я оставляю за собой право на их разрешение указанным мною путем.

Обсуждение уже полученных фактов приводит к следующим заключениям:

1) Теория Сакса о случайном совпадении разложения со световым напряжением, противоречащая логике, противоречит и фактам.

2) Касательно связи между разложением и энергией луча нельзя притти ни к какому заключению, пока неизвестна последняя.

3) Связь между поглощением света хлорофиллом и разложением углекислоты, между затраченной силой и производимой работой не подлежит сомнению.

4) Хлорофилл может действовать или вообще как пигмент, т.-е. как тело, задерживающее, превращающее и передающее энергию луча, или как вещество, поглощающее известные лучи, специально вызывающие разложение углекислоты и воды, или, наконец, как вещество, участвующее в реакции.

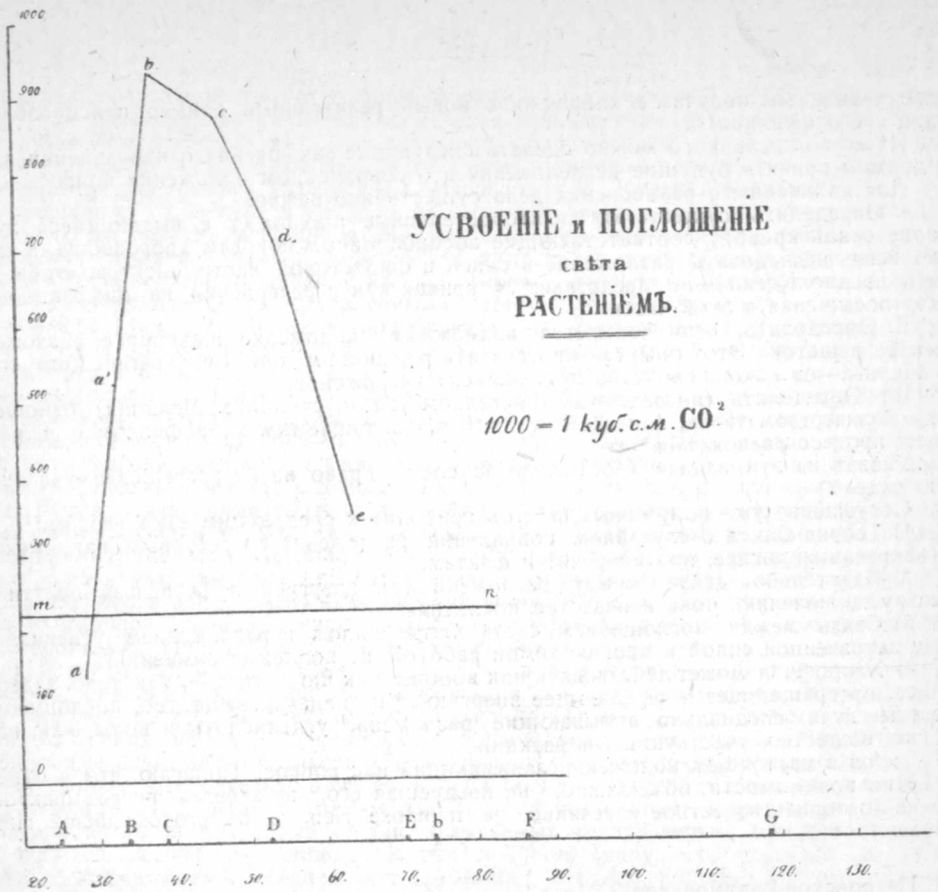
Таков в настоящем положении занимающий нас вопрос. Полагаю, что я отнесся к нему по возможности объективно, не предрешая его, не забегая вперед фактов, и в праве повторить известное изречение: Je n'impose rien, je ne propose même rien,— j'expose.

Петровское-Разумовское.
20-го декабря 1874 г.

---

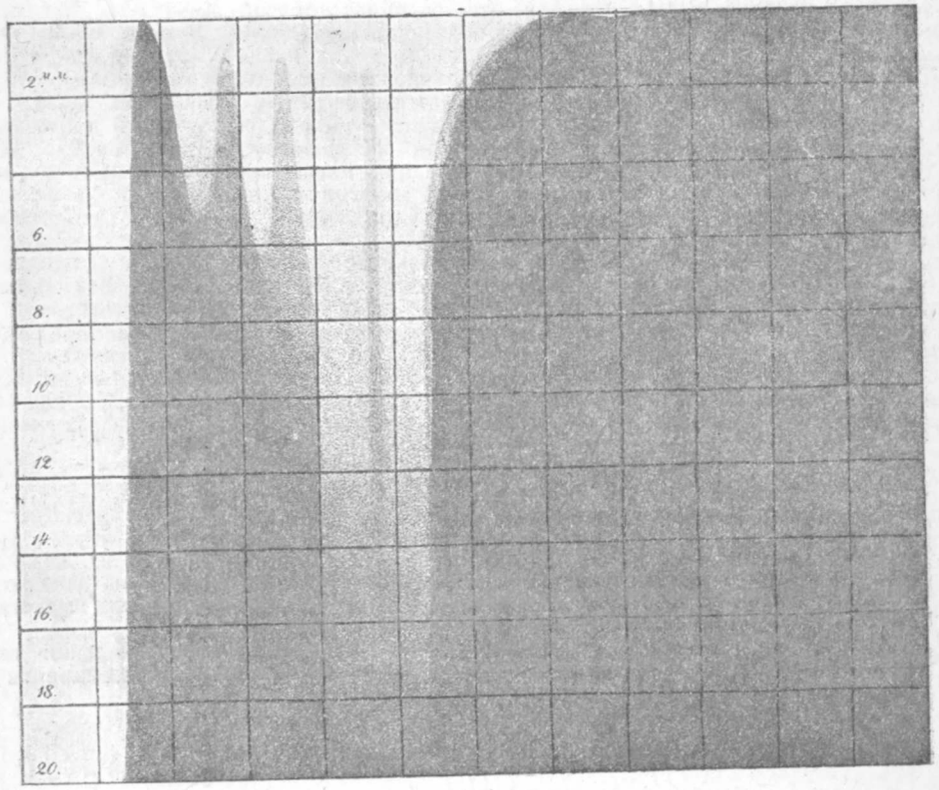
[1]) При этом может родиться целый ряд любопытных вопросов, как, напр., о соотношении между окраской морских водорослей и глубиной, на которой они вырастают, о значении пигментов, сопровождающих хлорофилл, и проч.

[2]) Здесь, разумеется, не указаны общие вопросы: о распределении тепла в спектре решеток, об абсорбционном спектре углекислоты и проч., выходящие из области ботаники.



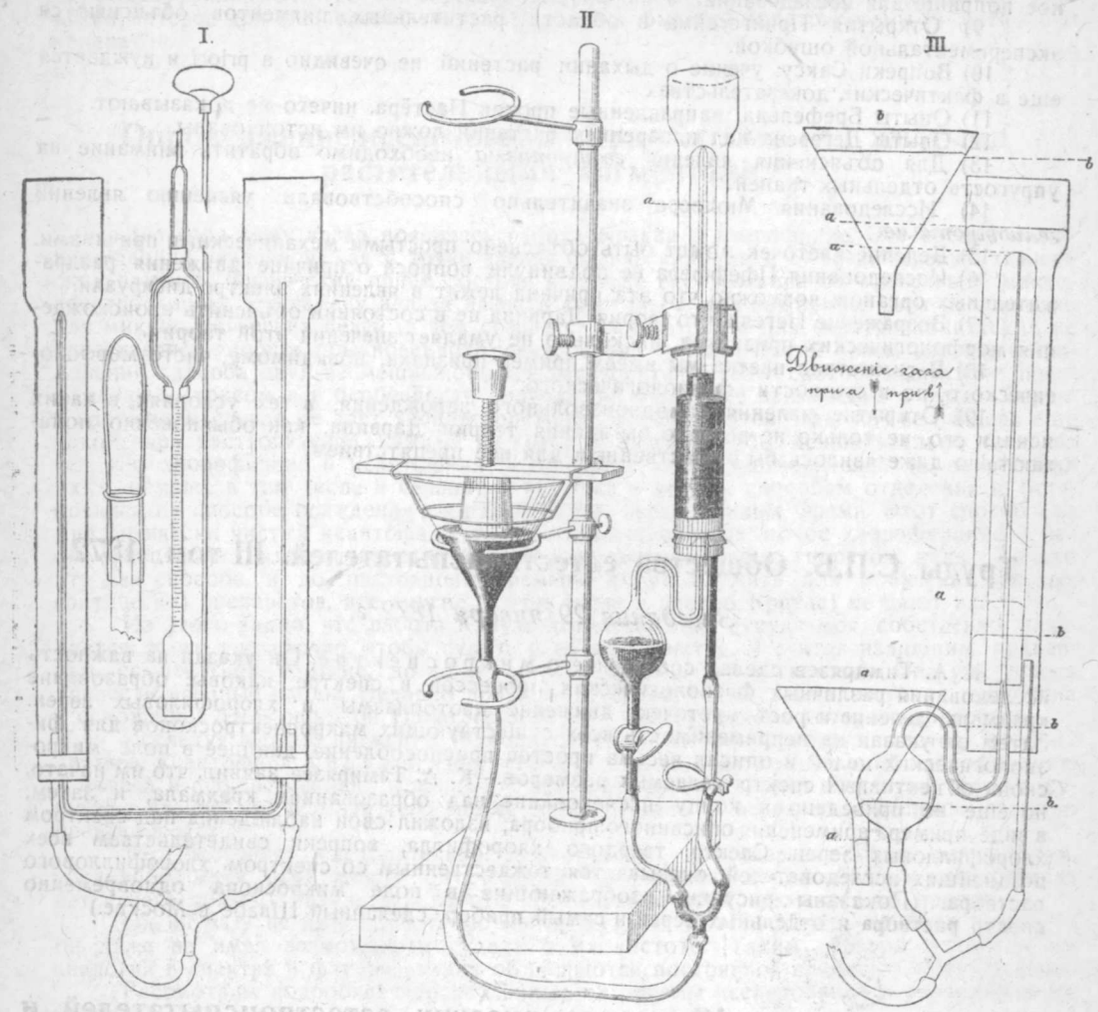

## УСВОЕНІЕ и ПОГЛОЩЕНІЕ
### свѣта
### РАСТЕНІЕМЪ.

1000 – 1 куб. с.м. $CO^2$








## Положения к докторской диссертации „Об усвоении света растением“.

1) Воззрения химиков, рассматривающих белковые вещества как сочетания сахаристых веществ с аммиаком, вполне согласуются с физиологическими фактами.

2) Появление аспарагина находится в связи с ростом на счет белковых веществ.

3) Теория распространения аспарагина, предложенная Пфеффером, поддерживаемая Саксом, противоречит законам физики.

4) Опыты Пфеффера, имеющие целью доказать участие аспарагина в образовании белковых веществ, этого не доказывают: но самый факт вероятен.

5) Отношение корней к растворенным веществам еще не вполне разъяснено.

6) Эндосмометр Баранецкого, имеющий целью устранить гидростатическое давление, этого неудобства не устраняет.

7) Способ Дютроше (несправедливо называемый методом Сакса), т.-е. определение кислорода по числу пузырьков, не точен и с успехом может быть заменен способом Шютценбергера.

К. Тимирязев.

8) Вопреки мнению Крауза, окулярный микроспектроскоп не имеет никакого значения для физиолога; напротив того, объективный микроспектроскоп открывает обширное поприще для исследований.

9) Открытия Прингсгейма в области растительных пигментов объясняются экспериментальной ошибкой.

10) Вопреки Саксу, учение о дыхании растений не очевидно a priori и нуждается еще в фактических доказательствах.

11) Опыты Брефельда, направленные против Пастёра, ничего не доказывают.

12) Опыты Дегерена над испарением растений ложно им истолкованы.

13) Для объяснения явлений *геотропизма* необходимо обратить внимание на упругость отдельных тканей.

14) Исследования Мюллера значительно способствовали уяснению явлений *гелиотропизма*.

15) Деление клеточек может быть объяснено простыми механическими причинами.

16) Исследования Пфеффера не подвинули вопроса о причине движения раздражительных органов; возможно, что эта причина лежит в явлениях электро-диффузии.

17) Возражение Негели, что теория Дарвина не в состоянии объяснить происхождения морфологических признаков, нисколько не умаляет значения этой теории.

18) В симметрии цветка мы имеем пример признака, повидимому, чисто морфологического, но в сущности—физиологического.

19) Открытие явления самопроизвольного зарождения, в тех условиях, в каких искали его, не только не венчало бы здания теории Дарвина, как обыкновенно полагают, но даже явилось бы существенным для нее препятствием.

---

## Труды С.П.Б. Общества естествоиспытателей. III том. 1872.

*Заседание 29 января 1872 г.*

К. А. Тимирязев сделал сообщение о микроспектре. Он указал на важность исследования различных физиологических процессов в спектре, каковы: образование крахмала, деление и рост клеточек, движение протоплазмы и хлорофиловых зерен. Затем он указал на неприменимость всех существующих микроспектроскопов для физиологических целей и описал весьма простое приспособление, дающее в поле микроскопа объективный спектр желаемых размеров.—К. А. Тимирязев заявил, что им начато, но еще не приведено к концу исследование над образованием крахмала, и затем, в виде примера применения описанного прибора, изложил свои наблюдения над спектром хлорофилловых зерен. Спектр твердого хлорофилла, вопреки свидетельствам всех позднейших исследователей, оказывается тождественным со спектром хлорофиллового раствора. (Показаны рисунки, изображающие в поле микроскопа одновременно спектр раствора и отдельных зерен и самый прибор, сделанный Швабе в Москве.)

## Речи и протоколы VI съезда русских естествоиспытателей и врачей в С.П.Б.

*с 20 по 30 декабря 1879. Стр. 37. 29 декабря 1879.*

К. А. ТИМИРЯЗЕВ сделал следующее сообщение:

## О методах спектрального исследования в применении к хлорофиллу.

Спектр листьев. Известно, что спектр листьев отличается от спектра растворов, а между тем Тимирязев уже ранее показал, что спектр отдельных хлорофилловых зерен не отличается от спектра растворов, и тогда же высказал мысль, что уклонение в спектре листьев должно зависеть от примеси белого цвета. В настоящем сообщении Тимирязев указал на простое экспериментальное доказательство высказанного им пред-



положения. Из этого факта можно сделать вывод: что с одной стороны, поглощение света хлорофиллом в листьях более значительно, чем можно было предполагать на основании их спектра, а с другой стороны, что часть света проходит через лист, не поглощаясь или почти не поглощаясь хлорофиллом. Оба вывода представляют глубокий интерес для физиологии листа. При этом были демонстрированы и несколько аппаратов.

## Опровержение исследований Прингсгейма над желтыми растительными пигментами [1].

Два года тому назад появилась работа Крауза о хлорофилле. Эту работу я считал вдвойне неудачной как с точки зрения физических, так и с точки зрения химических приемов. Физический прием состоял в замене спектроскопа окулярным микроспектроскопом; эту замену нельзя назвать счастливой, так как прибор этот не пригоден для микроскопических целей (в чем сознается сам автор), а для спектроскопических не представляет удобств обыкновенного спектроскопа [2]. Химический прием состоял в применении способа двух несмешивающихся растворителей. Этот способ, давно уже предложенный Стоксом и в особенности получивший обширное применение в руках Сорби, в настоящем случае не дает удовлетворительных результатов, так как не найдено еще такой пары растворителей, каждый из которых растворял бы исключительно одно из тел, т.-е. хлорофиллин и ксантофилл [3]. Не найдя таких растворителей (а попробовал их я немало, в том числе и бензин), я перешел к другим способам отделения и остановился на способе осаждения гидратом бария, предложенном Фреми. Этот способ дал мне оптически чистый ксантофилл, т.-е. без абсорбционных полос хлорофиллина и без флуоресценции. Затем я упростил этот способ, заменив барит гидратом кали. Только эти два способа и до настоящего времени могут служить для получения чистых (оптически) препаратов, все другие (в том числе и способ Крауза) не дают их.

Из этого видно, что работа Крауза кончается там, откуда моя собственно начинается; этого достаточно, чтобы судить о ее достоинстве. Я считал излишним подвергать ее печатной критике, но на-днях имел случай в том раскаяться. Она уже успела принести вредные плоды. Недавно появилась работа Прингсгейма, которая ошибочна в основании. Этой ошибкой Прингсгейм обязан Краузу, приему которого доверился.

Исследуя желтые пигменты (этиолированных растений, желтых цветов, осенних листьев, ксантофилл Крауза), Прингсгейм нашел во всех следы линий хлорофиллина, а иногда и флуоресценцию, и пришел к заключению, что спектр всех этих тел по существу сходен, что все эти тела между собою сродны и, вероятно, в растении взаимно превращаются.

Этот результат, следовательно, диаметрально противоречит моим результатам, убедившим меня, что между оптическими свойствами хлорофиллина и ксантофилла нет ничего общего. Результаты работы Прингсгейма объясняются очень просто.

Он ни разу не имел дела с чистым продуктом. Довольствуясь приемом Крауза [4], он даже не имел возможности судить о их чистоте. Таким образом открытая им аналогия в спектре и флуоресценция объясняются постоянной примесью хлорофиллина.

Рассмотрим подробнее употребленные им приемы исследования и приводимые им доводы.

Прежде всего несколько слов о физических приемах. То, что сказано о приемах Крауза, еще справедливее относится к Прингсгейму. Решительно не понимаешь, при чем тут микроскоп; он исполняет только роль статива или чехла и притом далеко не удобного.

Употребление длинных трубок со слабыми растворами ничем не оправдывается, так как короткие трубки с более концентрированными растворами и удобнее и даже в некоторых отношениях точнее. Употребление этих трубок и является причиной, почему

---

[1]) Напечатано в трудах С.П.Б. Общества естествоиспытателей, т. VI, стр. XLV, 1875.

[2]) Само собою понятно, что сказанное здесь не относится к моему объективному спектроскопу, имеющему совершенно иную цель, открывающему совершенно новое, обширное поле для исследований.

[3]) Это обстоятельство мною достаточно выяснено в моей работе. „Спектральный анализ хлорофилла„. С. П. Б. 1871, стр. 20, 21 и 30. См. стр. 205 настоящего сборника.

[4]) В несостоятельности которого, как увидим ниже, он сам должен был убедиться.

у Прингсгейма так ясно обнаружилась несостоятельность способа разделения тел, заимствованного у Крауза [1]). Переходим к результатам.

I. Первый ряд наблюдений произведен над пигментом этиолированных растений, которому Прингсгейм дал (по всей вероятности, излишнее) название этиолина. Этот этиолин представляет следующие свойства. Сначала появляется характеристический спектр ксантофилла, но когда толщина слоя достигает значительных размеров, появляются линии хлорофиллина, т.-е. получается именно такое изображение, какое должен дать ксантофилл, с небольшой примесью хлорофиллина. Прингсгейм предпочитает другое объяснение: он говорит, что это новое тело, этиолин, представляющее те же линии, как хлорофилл, но в другом порядке интенсивности; в хлорофилле всех интенсивнее линия в красной части спектра, здесь она оказывается менее интенсивною, чем поглощение синих лучей. Против этого можно возразить, что едва ли Прингсгейм найдет в природе другой пример двух тел, представляющих одинаковые линии, но в другой последовательности (в отношении интенсивности), между тем как смеси должны представить именно это явление [2]). Как бы то ни было в экстракте этиолированных листьев оказывается хлорофиллин (или один из трех его производных, мною описанных). Это можно объяснить двояким образом. Известно, что в хвойных и у папоротников хлорофилл появляется в темноте; можно допустить, что и в других растениях происходит то же, но в меньшей степени. Такое объяснение имеет за себя аналогию; оно допускает, что оба явления представляют только различие количественное, а не качественное, между тем как, по теории Прингсгейма, в одном случае должен образоваться хлорофилл, а в другом—этиолин. Но не исключается и возможность иного объяснения. Прингсгейм не описывает, какие он брал предосторожности, чтобы пресечь доступ света, а в некоторых случаях, по его словам, экстракты представляли синий, зеленоватый оттенок. Не вкралась ли здесь экспериментальная ошибка? Я не занимался специально пигментами этиолированных растений, но мне случалось несколько раз наблюдать этот пигмент, полученный от тщательно этиолированных растений (правда, при незначительной концентрации), и я не замечал ни абсорбционных линий, ни флуоресценции. Посмотрим, чем же Прингсгейм доказывает существование своего гипотетического этиолина или, вернее, несуществование желтого тела без линий хлорофиллина; чем он опровергает возможность примеси. Он говорит, что если бы это была смесь, то тела можно было бы разделить по способу Крауза. Но мы уже знаем, что это не довод. Затем, он указывает, что спектр не тождественен со спектром хлорофилла, но мы видели, что и этот факт может быть объяснен. Итак, возможность смеси не опровергнута, оптические свойства, приписываемые этиолину, невероятны, не имеют аналогии в природе.

Напротив, эти свойства вполне понятны, если допустить, что эта смесь и присутствие хлорофиллина (или одного из его производных, в пользу чего говорят наблюдения Шотара) объясняется или недостаточною тщательностью этиолирования, или, в случае если явление было нормальное, аналогией с хвойными и проч.

II. Второй ряд опытов относится к желтым цветам. Но здесь Прингсгейм сам сознает трудность освободиться от примеси хлорофилла [3]). Для доказательства, что он имел дело с желтыми частями, не содержавшими хлорофилла, он подвергал их микроскопическому исследованию, и не нашел зеленых крупинок. На это можно возразить, что микроскоп не судья над спектроскопом, который разыскивает малейшие частицы вещества, которые легко могут ускользнуть от микроскопа. Наконец, мы не знаем, в какой тесной связи могут находиться оба пигмента в одной крупинке. Что бы сказали об исследователе, который стал бы опровергать показания спектроскопа о присутствии

---

[1]) Нечего и говорить, что пропускание света через трубки с запаянным дном нельзя считать удачным. Также остается совершенно непонятным замечание Прингсгейма, что концентрировать раствора нельзя. Раствор ксантофилла можно доводить почти до густоты сиропа.

[2]) Прингсгейм, впрочем, замечает, что линии не вполне тождественны, и действительно, спектр несколько приближается к спектру моего хлорофиллина (или смеси его с хлорофиллом).

Этот факт весьма любопытен. Шотар показал, что хлорофилл молодых листьев легче подвергается при действии реактивов явлению раздвоения характеристической линии (т.-е. образованию моего хлорофиллеина). В этиолированных растениях хлорофиллина, вероятно, еще менее, а может быть, и содержится примесь хлорофиллеина. Этот факт был бы очень любопытен в том отношении, что хлорофиллеин, по моим воззрениям, тело более простое, хлорофиллин — его продукт. Потому было бы естественно, что тело простое появляется ранее, а продукт его — позднее.

[3]) Это я могу вполне подтвердить. Занимаясь исследованием любопытного фиолетового пигмента зверобоя (на существование которого указал Шотар), я мог убедиться, как трудно получить цветочные части, не содержащие хлорофилла.



хлорофилла в флоридеях на том основании, что микроскоп не обнаруживает в них зеленых крупинок? Слабость положения Прингсгейма относительно пигментов цветов очевидна сама по себе. Здесь, как и в предшествующих и в последующих случаях, вещество обладает теми же свойствами, вполне понятными, если допустить примесь хлорофилла,—и в высшей степени невероятными, если допустить, что это—самостоятельное вещество. Здесь, как во всех других случаях, Прингсгейм лишен возможности решить, смесь ли это или нет, так как, кроме способа Крауза, не обладает средством для разделения тел.

III. *Пигмент желтых листьев.* Прингсгейм снова при помощи реакции Крауза доказывает невозможность разделить этот пигмент на два тела, невозможность получить желтый раствор без полос хлорофилла и без флуоресценции. Против этих наблюдений я могу возражать на основании своих собственных наблюдений над осенними листьями [1]), из которых я получил пигмент, со всеми его отрицательными качествами, т. е. отсутствием линий и флуоресценции. Здесь ошибка Прингсгейма может считаться почти доказанной, но она становится очевидной при рассмотрении последнего ряда опытов.

IV. *Желтое вещество хлорофилла* (по Краузу). Разлагая хлорофилл по способу Крауза и исследуя желтое вещество в толстом слое. Прингсгейм убедился, что и оно представляет спектр, сходный с описанными, т.-е. сначала спектр ксантофилла, к которому при большой толщине слоя присоединяется спектр хлорофиллина. Это наблюдение, казалось, должно было бы раскрыть глаза Прингсгейму и показать ложность его исходной точки зрения; но он не заметил этого противоречия и потому во всей своей работе вертится в ложном круге. Этот ложный круг состоит в следующем. Он доказывает, что известные абсорбционные линии и флуоресценция принадлежат желтым пигментам на том основании, что их невозможно удалить и получить желтые пигменты без этих оптических свойств. А невозможность удалить эти оптические свойства в ксантофилле (тем же способом Крауза) объясняет он тем, что эти свойства принадлежат ксантофиллу, подобно другим пигментам. Может быть, только один вывод, что реакция ненадежна, так как она никогда не дает чистого желтого тела (т.-е. без признаков, свойственных зеленым), но Прингсгейм предпочитает извратить вывод и приходит к заключению, что чистых тел не существует. Логическая несостоятельность этого взгляда, таким образом, очевидна; что же касается до его фактической невероятности, то, я полагаю, об этом излишне распространяться. В своей работе я доказал и поставил вне всякого сомнения существование ксантофилла, без этих абсорбционных линий и флуоресценции; здесь могу только пояснить, что в течение почти шести лет через мои руки прошел не один литр растворов ксантофилла такой концентрации, какой ни Крауз, ни Прингсгейм никогда не видали [2]), и эти растворы даже при такой толщине слоя, какую употреблял Прингсгейм, не показывали ни линий, ни флуоресценции.

Итак мы видим, что вероятность ошибки Прингсгейма, возрастающая с каждой новой серией опытов, в последней превращается в очевидность [3]). На основании этого, я могу с полной уверенностью сказать, что все желтые тела Прингсгейма (каждое из описанных он еще подразделяет) при точном исследовании распадутся на желтое тело и примесь хлорофиллина или одного из трех мною описанных продуктов хлорофиллина, и все открытие Прингсгейма сводится к тому, что, не обладая точным способом разделения, он ни разу не видал чистого тела.

Таким образом, о работе Прингсгейма (а следовательно и Крауза, которая является ее виновницей) я могу сказать то же, что сказал в начале своей работы о работах моих предшественников: „Из предшествовавшего очерка ясно, что неудовлетворительность данных, приобретенных путем спектрального исследования, проистекает главным образом от неточности способов, употребленных для разделения тел, и от несовершенства обыкновенных способов наблюдения и обозначения спектров, вследствие чего тела, очевидно, различные, оказывались сходными в отношении спектров так, что показания спектроскопа оказываются менее надежными, чем указания невооруженного глаза [4]).

После всего сказанного, я полагаю, лучшее, что можно сделать с этой работой Прингсгейма, из уважения к имени ее почтенного автора, это—постараться поскорее о ней забыть.

---

[1]) В том числе наблюдения над листьями ежевики, произведенные мною еще в 1869 г. в Гейдельберге.

[2]) Судя по их описаниям эти растворы цветные напоминали кислую хромистокалиевую соль.

[3]) Так как те же доводы, которыми доказывается существование этиолина, приводятся для доказательства несуществования чистого ксантофилла, что совершенно ложно.

[4]) Так и здесь желтые тела являются со спектральными признаками, принадлежащими зеленым.

# VIII. Разбор теории Прингсгейма о физиологическом значении хлорофилла.

Статья, имеющая предметом такой специально научный вопрос, может показаться, с первого взгляда, не совсем уместной на страницах журнала, посвященного исключительно прикладному знанию; но нетрудно убедиться, что эта неуместность действительно только кажущаяся. Основные положения физиологии растений составляют краеугольный камень рационального растеньеводства, а учение о значении хлорофилла принадлежит к числу именно этих положений—на нем основаны наши современные понятия о производстве органического вещества. В сущности, что бы ни производил сельский хозяин или лесовод—он прежде всего *производит хлорофилл* и уже чрез посредство хлорофилла получает зерно, волокно, древесину и т. д. Воззрение на значение хлорофилла в жизни растения принадлежит к числу наилучше установленных в науке; тем более неожиданно было появление теории, пытающейся разрушить приобретения чуть не целого столетия, теории, исходящей притом от лица, пользующегося авторитетом в науке. В доказательство того, что разъяснение этого недоразумения представляет интерес не для одних только ботаников, могу сослаться на мнение известного английского агронома-химика, почетного члена нашей академии—Гильберта. В президентской речи, произнесенной им на последнем съезде „Британской ассоциации" в августе истекшего года и посвященной обзору успехов агрономической химии за последние сорок лет, Гильберт с недоумением останавливается перед этой теорией Прингсгейма, идущей в разрез со всеми господствующими воззрениями, и говорит, что вопрос о значении хлорофилла заслуживал бы подробного разбора, но что на это потребовалось бы столько же времени, сколько он может уделить для всей своей речи [1]). Предлагаемый критический очерк написан почти год тому назад; я откладывал его печатанье в ожидании появления подробной работы Прингсгейма, но эта работа, возвещенная почти два года тому назад, медлит появлением, а между тем предварительное сообщение, заключающее основные черты теории, продолжает приносить вред, вызывая даже в среде специалистов неосновательные сомнения в одном из наиболее прочно установленных положений физиологии растений.

---

В июле 1879 года в „Monatsberichte" Берлинской академии появилось исследование Прингсгейма, заключающее совершенно новый взгляд на значение хлорофилла в жизни растения. Взгляд этот клонится к полному разрушению всех современных воззрений на роль этого тела в процессе ассимиляции и взамен их предлагает теорию, парадоксальность и бездоказательность которой должна бросаться в глаза каждому, знакомому с этим вопросом. В таком смысле, казалось, можно было понять первоначальное молчание, которым была встречена эта теория. Можно было подумать, что ботаники, помня прежние заслуги ее автора, tacitu consensu, решились простить ему это увлечение, но в настоящее время дело, повидимому, приняло иной оборот. Стали высказываться лишь очень робкие сомнения и возражения (статья Сидней Вайнза в „Nature", статья неизвестного автора в „Revue Scientifique"). Сам Прингсгейм вновь напомнил свету о своей теории и с еще большею уверенностью повторил свои воззрения в сообщении, присланном в Парижскую академию, и, наконец, в „Nature" за 15-ое апреля появляется статья проф. Рей-Ланкестера, придающая громадное значение теории Прингсгейма и требующая к ответу всех физиологов, придерживающихся господствующего и будто

[1]) См. „Nature" Sept, 16, p. 476. Вопрос, о котором говорит Гильберт, послужил предметом речи, произнесенной мною на С.-Петербургском съезде естествоиспытателей (см. речи и протоколы VI съезда, стр. 58), но я находил тогда, по причинам, с изложенным ниже, излишним входить в разбор теории Прингсгейма.



бы незаконно проскользнувшего в науку учения о хлорофилле. Таким образом, еще раз оправдывается истина, что в науке не бывает взглядов достаточно ошибочных, чтоб они не нуждались в опровержении, особенно если они высказаны авторитетным лицом. Ввиду такого оборота дела считаю небесполезным подвергнуть работу Прингсгейма подробной, обстоятельной критике.

Прингсгейм прежде всего высказывает свое недовольство современным состоянием вопроса о хлорофилле; он усматривает какое-то *смятение* (Wirrwar) противоречивых мнений и стремлений и признает все до сих пор употребляющиеся методы непригодными для того, чтоб подвинуть дело вперед. Ввиду такого безнадежного положения, он предлагает новый метод исследования и, как результат его применения, новую теорию значения хлорофилла. Познакомимся прежде с методом, а затем и с теорией.

## 1. Метод Прингсгейма.

В чем же прежде всего обвиняет Прингсгейм существующие методы? Все они (и в том числе метод цветных экранов) представляют, по его мнению, коренной недостаток: употребляемый свет *слишком ослаблен*, растение развивается в *относительной темноте*, так что полученные результаты выражают *действие на растение света недостаточного напряжения* [1]). Но всякому известно, что этот упрек не относится к методу экранов, так как все опыты показали, что за двумя экранами комплементарного цвета (напр., синим и желтым) разлагается в сумме такое же количество углекислоты, как за белым стеклом. Очевидно, физиологическое действие света ослаблено в степени, ускользающей от наблюдения. Для избежания этой воображаемой ошибки Прингсгейм сам впадает в ошибку несомненную. Он предлагает производить опыты при помощи *концентрированного* солнечного света и даже поясняет, что очевидные результаты получаются только *в фокусе линзы* в *шестьдесят тт. в диаметре*. Этот прием получает громкое название *метода микроскопической фотохимии* [2]).

Действие такого света на хлорофилловые зерна, лежащие в поле микроскопа, обнаруживается весьма быстро—через 3—6 минут. Первоначально разрушается пигмент, субстрат зерна сохраняется—препарат напоминает ткань, обесцвеченную спиртом. Далее, начинают обнаруживаться такие же признаки разрушения протоплазмы, какие обнаруживаются при действии крайностей температуры, электричества и пр.

Понятно, что при чтении этих строк у всякого естественно является сомнение относительно возможности делать какие-либо выводы из опытов, произведенных в таких ненормальных условиях—в фокусе собирательного стекла! Из описания Прингсгейма нельзя составить понятия о том, что он называет фокусом линзы. Во всяком случае диаметр изображения солнца в поле микроскопа, вероятно, не превышал 2—3 миллиметров, так как Прингсгейм описывает опыты, в которых освещались отдельные клеточки и даже части клеточек. Я собирал при помощи линзы (в 60 mm. в диаметре) солнечные лучи на шарике термометра и получал температуры до 85° Ц. и выше. Отбрасывая при помощи той же линзы изображение в 4 mm. в диаметре, я выжигал на бумаге следы такой же величины, что, впрочем, я полагаю, известно всем, кому случалось иметь в руках зажигательное стекло. Этих данных достаточно для того, чтобы получить приблизительное понятие о той температуре, которой могли подвергаться клеточки в опытах Прингсгейма. Не забудем, что большая часть жизненных отправлений растения прекращается между 50°—60°, что дыхание, о котором идет речь в работе Прингсгейма, по исследованиям Шютценбергера над дрождевым грибком, при 60° прекращается вовсе [3]).

Прингсгейм, очевидно, ожидает подобное возражение и старается его парировать, доказывая, что описываемые им явления вызываются не высокой температурой. Но

---

[1]) Курсив здесь означает собственные слова Прингсгейма.

[2]) В настоящее время физиологи приходят к заключению, диаметрально противоположному воззрениям Прингсгейма,—именно, что для процесса разложения углекислоты непосредственная инсоляция может быть с выгодою для растения скорее ослаблена, чем усилена. Этот вывод, вытекающий из опытов Клоеза и Грасиоле и развитый Крейслером, в последнее время нашел новое подтверждение в опытах Фаминцина. Едва ли только можно согласиться с заключением Фаминцина, что это угнетающее действие избытка света должно приписать передвижению хлорофилловых зерен, — к листьям с палисадною тканью это объяснение едва ли приложимо.

[3]) По новейшим исследованиям Мюнца, *дыхание* семян прекращается при 50° Ц. Выше этой температуры продолжается простое химическое действие.

вместо того, чтобы взять термометр и прямо показать, какова была температура при его опытах, он прибегает к длинной и крайне неубедительной косвенной аргументации. Он доказывает, что явление вызывается не температурой, а светом,—что, в применении к хлорофилловому пигменту, едва ли нуждается в доказательстве, так как всякому известно, что он выдерживает, не изменяясь, очень высокие температуры, но легко разрушается светом. Как бы то ни было, познакомимся с аргументацией Прингсгейма и приводимыми им фактами; это тем более необходимо, что самые факты далеко не ясны. Вот его доводы в доказательство того, что наблюдаемые явления зависят не от высокой температуры:

1) Описанные явления происходят в лучах всякого цвета, как в *теплых красных*, так и в *холодных синих* [1]).

2) В отсутствии кислорода разрушения не происходит.

Прежде всего следует заметить, что выражения *теплые красные*, *холодные синие* следует предоставить живописцам в применении к колориту, так как физического смысла эти выражения теперь уже более не имеют вообще, а в настоящем частном случае в применении к употребленной Прингсгеймом синей жидкости, и в особенности, так как опыты Десена показали, что проходящий через нее свет далеко не холодный. Следовательно, из одного сопоставления цвета лучей нельзя делать никакого заключения о независимости разрушения от температуры (не забудем, что дело идет об опытах в фокусе зажигательного стекла) [2]).

Что касается второго пункта, т.-е. участия кислорода, то по отношению к пигменту хлорофилла не было даже никакой надобности в новом доказательстве этого факта, известного со времени Сенебье. Сомнительно только предположение Прингсгейма, что хлорофилл при этом превращается начисто в углекислоту.

По отношению же влияния кислорода на изменение плазмы, то хотя оно и доказано Прингсгеймом, но им не устранена возможность предположения, что и помимо кислорода температура оказывала вредное влияние, так как он сам вынужден сознаться, что при *продолжительном действии света* и в отсутствии кислорода наступала дезорганизация плазмы—конечно от действия высокой температуры [3]).

Таким образом, Прингсгейм, доказывая, что в описываемом им явлении выдающуюся роль играет свет и кислород (что по отношению к хлорофиллу было известно, по отношению к плазме осталось еще недоказанным), нимало не рассеивает сомнений, вызываемых необычайностью его экспериментальных приемов, не отвечает на главные вопросы, неотвязчиво возникающие при чтении его работы. Какова была температура его клеточек? Совместимо ли с такой температурой нормальное отправление клеточки? Совершалось ли обесцвечивание пигмента в живых, способных к дальнейшей деятельности зернах хлорофила, или это было только посмертное явление в зерне, предварительно пораженном ненормальными условиями, в которые оно было помещено? Судя по тому, что в живых листьях при самом интенсивном солнечном свете не происходит полного обесцвечивания хлорофилла, должно склониться к последнему заключению. Впрочем, сам Прингсгейм, говоря далее о том, что хлорофилл, изменившийся в цвете, не восстановляется в прежнем своем виде, приходит к заключению, что, следовательно, „*разрушение хлорофилла светом не есть нормальное физиологическое, а вредное патологическое явление*“ [4]).

---

[1]) Курсив в подлиннике.

[2]) В изложении этой части работы является одно непонятное противоречие. Через несколько строк после приведенных двух пунктов Прингсгейм говорит, что в красном свете (заключающем группу BC) *описанные явления не происходят даже при продолжительном действии света*, между тем как в синем происходят довольно быстро. Если Прингсгейм хочет этим сказать: *не происходит вовсе* изменения в окраске хлорофила,—то это противоречит только что приведенному его положению, что и красные и синие лучи действуют; если же Прингсгейм хочет только сказать, что в красных лучах, даже при продолжительном освещении, не происходит *полного обесцвечивания* (т.-е. употребляя его сравнение,—до состояния алкогольных препаратов), то это явление, быть может, нашло бы себе объяснение в том факте, что желтый *ксантофилл* разрушается только синими лучами.

[3]) Вполне понятно, что в присутствии кислорода действие высокой температуры может быть энергичнее, чем в его отсутствии; мы имеем аналогичный факт в изменении температуры свертывания белка, смотря по тому, будет ли он находиться в присутствии или отсутствии углекислоты.

[4]) Совсем иной вопрос—существует ли в живом, нормальном листе процесс превращения хлорофилла? Опыты Прингсгейма, произведенные при ненормальных условиях, не дают на него ответа. Если я не ошибаюсь, я был первым, высказавшим предположение о существовании подобного кругового процесса; впоследствии красноречивым



Трудно понять, каким образом Прингсгейм не замечает, что в этих словах он сам произносит окончательный обвинительный приговор своему *фото-химическому методу*.

Спрашивается, какой интерес может представлять физиологический метод, a priori возбуждающий одни сомнения—a posteriori приводящий самого автора к заключению, что при его помощи изучаются *патологические* процессы? После такого заключения о методе, казалось бы, излишне и говорить о полученных результатах и сделанных из них выводах, тем не менее я постараюсь показать, что даже допустив, что изученные явления были нормальные, из них нельзя сделать тех выводов, а тем более на них нельзя возводить той всесокрушающей теории, которую построил Прингсгейм.

## 2. Теория Прингсгейма.

Исходным пунктом для построения новой теории служит следующий опыт. Если освещать описанным образом часть зеленой клеточки Nitella, то ее в этом месте можно совершенно обесцветить; далее, зерна хлорофилла отрываются от стенки и увлекаются током протоплазмы так, что место, на которое действовал свет, совершенно обнажается. Такая клеточка с одним обнаженным местом может долго сохранять свою жизненность. Но если продлить действие света на то же место, то наступает разрушение содержимого даже более быстрое, чем при действии света непосредственно на зеленую клеточку. Опыт, повидимому, не представляет ровно ничего нового. Что на хлорофилловых зернах прежде всего обнаруживается действие света—само собою понятно. Во-первых, у Nitella они образуют сплошной наружный *неподвижный* слой содержимого и, как тела цветные, сильнее поглощают свет, сильнее нагреваются. К тому же, из того факта, что обесцвеченные зерна падают в движущуюся плазму, и из выражения Прингсгейма, что это место представляется „вполне обнаженным“, можно заключить, что и плазма, в которой были заключены зерна, вскоре разделяет их участь. Далее, еще более понятно, что движущаяся плазма, быстро проскользающая чрез выжженное место, еще долго сохраняет свою жизненность. Всякий ребенок знает, что можно быстро проводить палец чрез пламя свечи, не рискуя обжечься! Вероятно, при каждом прохождении мимо выжженного места погибает известная доля протоплазмы, так что все более и более значительная часть ее выходит из оборота, пока не наступит общая смерть [1]).

Итак, вот вся фактическая подкладка теории: хлорофилл в фокусе линзы изменяется под влиянием света, в этом процессе участвует кислород; у Nitella прежде разрушается неподвижный хлорофилл, а затем — движущаяся протоплазма. Кажется, ничего ни нового, ни неожиданного не заключается в этом факте, и, однако, вот какой вывод делает из него Прингсгейм. „С увеличением напряжения света увеличивается и сродство кислорода с горючими составными началами, *но хлорофилл, пока он существует, умеряет вредное действие света на протоплазму, ослабляет интенсивность дыхания и служит его регулятором*“. В заключительных выводах своей статьи Прингсгейм формулирует это заключение уже в более определенных и резких выражениях; он говорит, что результаты его опытов дают более правильное объяснение для всех, до сих пор произведенных и *превратно понятых (missverstandenen)* опытов касательно связи между газовым обменом, действием света и функцией хлорофилла. „Эта функция,—говорит он,—далека от той, которая ему приписывается на основании господствующих воззрений: она сводится на его *роль в процессе дыхания*. Показано (?), что хлорофилл, как *регулятор дыхания при свете*, вследствие свойственного ему сильного поглощения наиболее энергически действующих химических лучей, *понижает энергию дыхания ниже энергии ассимиляции* и таким образом делает возможным накопление углерод-

---

защитником этого взгляда, хотя в несколько иной форме; явился Визнер. Пользуюсь случаем, чтобы выяснить, в чем заключается различие наших взглядов. Я предполагаю, что хлорофилл только превращается (хлорофиллин превращается в филлоксантин и обратно), подобно, напр., превращению пигмента кровяных шариков; Визнер же полагает, что хлорофилл разрушается и образуется вновь. Мне кажется, что мое предположение вероятнее; во-первых, оно стоит на более реальной почве — существование таких двух видоизменений хлорофилла и возможность их взаимного превращения мною доказаны; во-вторых, предположение Визнера находится в противоречии с любопытным его наблюдением (которое я могу вполне подтвердить), что чем старше этиолированные ростки, тем труднее они зеленеют; в вполне развитых клеточках эта способность вновь образовать хлорофилл, вероятно, вовсе утрачивается.

[1]) По наблюдениям Веска, нечто подобное происходит в плазме с возрастом клеточки, т.-е. все более и более значительное количество ее выходит из оборота, утрачивает способность к движению.

ных продуктов и вообще существование растения при свете". И, наконец, далее читаем: „Не подлежит сомнению только то, что это отправление—*единственное фактически доказанное*, так как единственное основание, которое со времени открытия выделения кислорода растением вновь и вновь предъявляется в подтверждение прямого участия хлорофилла в процессе разложения углекислоты—именно факт, что *только зеленые* части выделяют кислород,—находит удовлетворительное объяснение в *понижении энергии дыхания, замечаемом в присутствии хлорофилла.* Замечателен тот ряд подстановок, который испытывает эта мысль Прингсгейма при каждом повторении; любопытно следить за тем, как по пути, на котором не прибавляется ни одного нового факта, ни одного нового довода, растет только самоуверенность автора. Сначала высказывается предположение, что *хлорофилл ослабляет энергию дыхания,* далее уже говорится, будто *показано,* что хлорофилл понижает энергию дыхания „*ниже энергии ассимиляции*" и, наконец, утверждается, что это даже *единственное, фактически доказанное отправление хлорофилла.*

Посмотрим, насколько убедительны эти самоуверенные заявления о своих открытиях, это высокомерное отрицание всего, что сделано по этому вопросу в течение почти целого столетия.

Вся теория Прингсгейма сводится к следующим двум положениям:

I. Предполагаемая им функция хлорофилла (заключающаяся в понижении интенсивности дыхания) есть единственная фактически доказанная.

II. Эта функция вполне удовлетворительно объясняет все (до сих пор *превратно* понимаемые) факты касательно связи между присутствием хлорофилла и разложением углекислоты.

Посмотрим же, во-первых, можно ли на основании приводимых наблюдений считать это воззрение на функцию хлорофилла не только *единственным*, но даже хотя сколько-нибудь доказанным, и, во-вторых, даже допуская его доказанным, можно ли в нем видеть объяснение для факта постоянного совпадения между присутствием хлорофилла и разложением углекислоты. Другими словами, можно ли, во-первых, считать вообще доказанным, что хлорофилл *понижает интенсивность дыхания*, и, во-вторых, если это считать доказанным, то возможно ли допустить, что он *понижает ее ниже энергии ассимиляции.* Первый вопрос качественный, второй—количественный.

a) *Доказал ли Прингсейм существование понижающей энергию дыхания функции хлорофилла?*

Ни мало. Для того, чтобы поставить свою теорию на почву фактов, а не одних только голословных уверений, он должен был доказать: что свет усиливает интенсивность дыхания клеточек; что в присутствии хлорофилла это усиливающее действие света ослабевает; но прежде всего он должен был доказать, что в клетках, над которыми он экспериментировал, происходило дыхание, что они находились вообще в условиях, при которых оно возможно (что, напр., температура не была выше 50°—60° С.). Ведь нельзя же из того факта, что для получения резких результатов необходимо присутствие кислорода, заключать, что наблюдаемое явление было дыхание. Ведь и спиртовые растворы хлорофилла поглощают кислород под влиянием света, ведь и бумага горит в фокусе зажигательного стекла, но скажет ли кто-нибудь, что они дышат? Все построение Прингсгейма основывается на том, что кислород необходим для получения таких явлений, каких в живой, нормально дышащей клеточке не замечается, — именно для полного обесцвечивания хлорофилла и дезорганизации протоплазмы. Ведь самый узел вопроса о хлорофилле и заключается именно в объяснении, почему в живой клеточке он не разрушается, а в мертвой или в растворе разрушается светом. Следовательно, свойства явлений говорят за то, что клеточки в опытах Прингсгейма не были живы, а наблюдаемое явление не было нормальное, усиленное дыхание, а, напротив, посмертное окисление и разрушение. Но если таким образом Прингсгейм не доказал, что в его опытах происходило вообще дыхание, то тем менее доказал он, что происходило усиленное дыхание под влиянием света; а до тех пор, пока он не предъявит нам точных опытов, доказывающих такое ускоряющее влияние света на дыхание, мы, на основании имеющихся в науке данных, должны считать доказанным совершенно обратное, т.-е. отсутствие такого влияния света на дыхание. Так, напр., Шютценбергер показал, что свет не оказывает никакого влияния на дыхание дрожжевого грибка [1]); Волков и Майер пришли к заключению, что свет не оказывает влияния на дыхание корней и молодых ростков; к такому же заключению приходит Детмер (см. его Physiologie des Keimungsprocesses, 1880, стр. 271) [2]). Визнер показал, что *начинающие* только зеленеть

[1]) *Schützenberger.* La vie d'une cellule. Revue Scientifique. 1879, p. 915.

[2]) *A. Wolkoff und A. Mayer.* Beiträge zur Lehre ueber die Athmung d. Pflanzen. Landwirth. Jahrbüch. 1874, S. 517. Новейшие опыты Пошон (*Pauchon.* Annales des Sc. Nat. VI. S., t. X) произведены далеко не так тщательно, как опыты Майера и Волкова. Во-первых, они были слишком продолжительны и в большей части случаев часть семян



этиолированные органы при свете выделяют менее углекислоты, чем в темноте; что же касается зеленых органов, то там, очевидно, невозможно констатировать усиления дыхания при свете. Спрашивается, где же искать доказательства этому основному положению, на котором построена вся теория Прингсгейма,—что свет ускоряет дыхание? Но если Прингсгейм не доказал этого, то еще менее мог он доказать, что хлорофилл понижает это, пока еще только в его воображении существующее, усиленное дыхание. По его теории выходит, что хлорофилл играет в растении роль какого-то самоотверженного органа, принимающаго на себя удары враждебной судьбы (т.-е. лучи солнца) и спасающего от них протоплазму. Все это основывается на том факте, что хлорофилл чувствителен к свету и что у Nitella он разрушается (не забудем—в одном месте, а не во всей клеточке) не одновременно, а ранее протоплазмы. Спрашивается, как же действует хлорофилл—как экран или химически, как вещество, легче окисляющееся и предохраняющее от окисления плазму? У Nitella он, пожалуй, действует как экран, — с этой точки зрения пример выбран удачно,—но ведь не везде хлорофилл лежит сплошным слоем; в какой-нибудь клетке валлиснерии или спирогиры не может быть речи о подобной роли [1]). Или, быть может, хлорофилловый пигмент, как экран, предохраняет только плазматическую часть самого зерна? В таком смысле, повидимому, понимает Прингсгейма Рей-Ланкестер. Но ведь это вещество незначительное в сравнении с остальным плазматическим содержимым клеточки, которое должно подвергаться *предполагаемому* усиленному дыханию. Наконец, трудно понять, каким образом хлорофилл понижает энергию процесса дыхания, когда он сам окисляется (при том, по мнению Прингсгейма, скорее и легче плазмы) и при этом превращается *прямо в углекислоту*! Итак, вопреки самоуверенному заявлению Прингсгейма, что он открыл новую функцию хлорофилла и что эта функция—единственная, фактически доказанная, мы видим, что, напротив того, вся эта теория, в целом и в частностях, опирается на голословные допущения, которые лишены всякой экспериментальной почвы, мало того—прямо противоречит установленным в науке фактам и даже на бумаге не разрешает целого ряда логических несообразностей.

Но допустим на время, что Прингсгейму удалось действительно фактически доказать существование подобной функции хлорофилла, и посмотрим, даже в таком случае, имел ли он право сделать из него свой главный вывод — касательно роли хлорофилла в процессе разложения углекислоты.

b) *Допустив существование понижающей интенсивность дыхания функции хлорофилла, можно ли считать доказанным или хоть вероятным, что она понижает интенсивность дыхания ниже энергии ассимиляции?* Несмотря на то, что Прингсгейм смело отвечает на этот вопрос в утвердительном смысле, мы не встречаем в его статье даже попытки представить тому какие бы то ни было доказательства. По теории Прингсгейма выходит, что разложение углекислоты не зависит от хлорофилла, что хлорофилл не обусловливает ассимиляции, а лишь *обнаруживает* эту ассимиляцию, совершающуюся помимо его (когда? где? при каких условиях?—все это остается тайной).

Для того, чтобы объяснить, почему никогда, в течение целого столетия, не удалось обнаружить ни одного случая разложения углекислоты в отсутствии хлорофилла, Прингсгейму и понадобилось изобресть это, усиливающее интенсивность дыхания, влияние света. По его теории в органах, не заключающих хлорофилла, также происходит ассимиляция, но она тотчас же нейтрализуется усиленным дыханием так, что результат двух противоположных действий = 0. В органах, заключающих хлорофилл, существует и ассимиляция и нейтрализующее ее усиленное дыхание и еще действие хлорофилла, понижающее интенсивность дыхания. На этот раз действие двух последних величин = 0, в итоге получается ассимиляция. Роль хлорофилла, следовательно, заключается в том, чтобы *нейтрализовать нейтрализующее действие усиленного дыхания, вызываемого светом*! Такова эта хитросплетенная теория. Посмотрим теперь, как велико

загнивала, во-вторых, не было обращено внимания на то обстоятельство, что ростки зеленели,—а образование хлорофилла сопровождается поглощением кислорода. В одном ряде опытов оказалось самым несомненным образом, что при непосредственной инсоляции важно нагревание, а не свет, так как в аппарате, завернутом в черную бумагу и выставленном на свет, дыхание было сильнее, чем в аппарате, прямо получавшем солнечный свет. Собственно вполне убедительны только два опыта, но и те доказывали только более энергичное поглощение кислорода под влиянием света, но *не выделение углекислоты* и, следовательно, все же не доказывают влияния света *на дыхание,* как это необходимо для теории Прингсгейма.

[1]) *Шталь* весьма остроумно замечает, что хлорофилловые зерна, благодаря своей способности к движению, сами уклоняются от слишком интенсивного света и, следовательно, никак не могут служить экраном для других частей протоплазмы. Botanische Zeitung. 1880, S. 381.

должно быть в количественном отношении это предполагаемое усиление дыхания и эта понижающая дыхание деятельность хлорофилла. Мы знаем, что интенсивность дыхания, единственная нам фактически известная (т.-е. в темноте, по опытам, напр., Буссенго), приблизительно в 20 раз слабее интенсивности ассимиляции, следовательно, одно из двух: или ассимиляция во всех случаях одинакова, и тогда для ее нейтрализации дыхание лишенных хлорофилла органов на свете должно вдруг одним скачком повышаться в 20 раз; или мы должны допустить, что в содержащих хлорофилл органах ассимиляция совершается не так, как в органах, не содержащих его. Во втором случае мы должны допустить, что протоплазма в хлорофилловых органах обладает иными свойствами, другими словами, к гипотезе Прингсгейма должны присоединить еще новую гипотезу, на основании которой те свойства, которые мы теперь просто приписываем хлорофиллу, должны быть произвольно приписаны сопровождающей его протоплазме. Затем и хлорофилл должен в такой же степени (т.-е. примерно в 20 раз) понижать эту возвышенную энергию дыхания. Но спрашивается, какими же средствами? По мнению Прингсгейма, он не действует, как любой какой-нибудь физический непрозрачный экран, а, напротив, сам при этом разрушается [1]). Спасая протоплазму, он сам делается жертвой солнечных лучей. Что хлорофилл не может спасти от окисления протоплазму, окисляясь за нее сам, и при том в размерах, равных процессу ассимиляции, очевидно из того, что для полного окисления всего количества хлорофилла в одном листе потребовалось бы ничтожное количество кислорода [2]), между тем как тот же лист (отделенный от растения) может выделять на свете 70—80 кубических сантиметров кислорода. Очевидно, не может быть и речи о какой-нибудь компенсации этих процессов; да к тому же не будем упускать из виду, что при нормальных условиях такого разрушения хлорофилла и не замечается; а главное, по мнению Прингсгейма, хлорофилл сам сгорает в углекислоту—как же он будет ослаблять дыхание?

Итак, гипотеза Прингсгейма или нуждается в новой, дополнительной гипотезе о различном свойстве протоплазмы клеточек, содержащих хлорофилл, и клеточек, не содержащих его,—гипотезе, которая сделала бы излишней и его гипотезу, или он должен доказать, что под влиянием света дыхание может сразу, одним скачком, усиливаться приблизительно в 20 раз и во столько же раз ослабевать вследствие деятельности хлорофилла. Мало того, он должен допустить, что все растительные клеточки, не заключающие хлорофилла, обладают способностью, при действии света, усиливать свое дыхание ровно настолько, насколько они ассимилируют, ни на иоту более, потому что иначе обнаружилось бы усиленное дыхание (чего ни в одном точном опыте до сих пор не замечено), ни на иоту менее,—потому что тогда, хоть раз в течение почти целого столетия, обнаружилось бы явление ассимиляции органами, не содержащими хлорофилла. Другими словами, по теории Прангсгейма выходит, что *все клеточки, не содержащие хлорофилла, под влиянием света должны и ассимилировать и дышать ровно настолько, чтобы эта двоякая деятельность была для них совершенно бесполезна.* Какой сложный, поразительно точный и совершенно бесполезный для растения механизм придумала природа—и для какой жалкой цели—для того только, чтобы в течение столетия морочить точных исследователей и доставить Прингсгейму возможность высказать парадокс, по самой своей природе не допускающий ни опровержения, ни доказательства.

Логический прием, на котором основана эта теория, очень прост: он напоминает до некоторой степени способ исключения неизвестных из уравнений. Для того, чтобы устранить хлорофилл от участия в ассимиляции, Прингсгейм вводит в физиологическое уравнение две произвольные и произвольно равные величины, берет их с противоположным знаком, складывает—получает желаемый результат. Он изобретает какое-то, другими отрицаемое, им недоказанное свойство света усиливать дыхание, изобретает другое, ни до него ни после него недоказанное, свойство хлорофилла понижать это усиленное дыхание, допускает, что эти величины равны, складывает их и, так как это величины с противными знаками, то в результате деятельность хлорофилла сводится к нулю, и процесс ассимиляции освобождается от этого неприятного для Прингсгейма соучастника. Но зачем же тогда ограничиваться только двумя вымышленными свойствами организмов? Их можно придумать бесчисленное множество: стоит только соблюдать ту же предосторожность—брать эти вымышленные свойства всегда попарно, принимать их равными и с противоположными знаками, и таким образом можно создать целую фантастическую физиологию, не нуждающуюся в доказательстве, потому что ее никто не будет в состоянии и опровергать. Такова эта трансцендентальная, лежащая за пределами экспериментальной проверки, теория Прингсгейма.

Еще одно последнее замечание. Прингсгейм приводит ходячее возражение, что господствующее учение о роли хлорофилла в процессе ассимиляции основывается лишь на эмпирическом факте постоянного их совпадения. Ему, очевидно, незнакомы или он, со свойственным ему высокомерием, голословно отрицает факты, дозволяющие связать процесс разложения углекислоты с оптическими свойствами хлорофилла, так как оказывается, что именно те лучи, которые поглощаются хлорофиллом, и вызывают разложение углекислоты, как это и должно быть на основании фото-химического закона Гершеля [1]).

## Заключение.

Повторим вкратце все сказанное о теории и о методе Прингсгейма, идя в обратном порядке.

I. Для основания этой теории необходимо было *количественными* исследованиями доказать, что в органах, не заключающих хлорофилла, происходит ассимиляция, но что она *всегда строго уравновешена* дыханием, и далее доказать, что присутствие хлорофилла, *понижая интенсивность дыхания ниже интенсивности ассимиляции*, обнаруживает эту последнюю. Ничего подобного Прингсгейм не доказал.

II. Прежде, чем приступать к этой *количественной* задаче, он должен был, хотя бы *качественно* доказать, что хлорофилл понижает интенсивность дыхания, а что свет, наоборот, усиливает ее. Он этого не доказал, а по отношению ко второй части вопроса, т.-е. влиянию света, точные опыты доказывают отсутствие такого влияния.

III. Прежде, чем доказывать, что хлорофилл в его опытах понижал интенсивность дыхания, Прингсгейм должен был еще доказать, что его объекты находились в условиях, допускающих вообще дыхание. Этого он не доказал, а простейшее наблюдение убеждает в том, что температура в его опытах должна была быть выше maximum'a, при котором возможно дыхание.

IV. Он доказал, что при его опытах хлорофилл разрушался под влиянием *света и кислорода*, но влияние этих двух условий было уже известно в прошлом столетии Сенебье. Он показал далее, что при тех же условиях можно убить клеточку, но еще флорентийским академикам было известно, что при подобных условиях можно даже сжечь алмаз. Он не доказал, что исследованные им явления имели какое-либо отношение к живой клеточке.

V. По всему иследованию проходит одна странная мысль: везде идет речь о *вредном* влиянии света [2]) и о противодействии этому вредному влиянию со стороны растения; между тем в природе свет оказывает благотворное влияние, и объяснение этого благотворного влияния составляет задачу физиологии. Эта странная точка зрения прямо вытекает из свойства употребленного метода исследования; когда употребляешь метод, дозволяющий изучать (по словам самого автора) патологические, а не физиологические явления, когда помещаешь живую клеточку в фокусе зажигательного стекла, тогда естественно ожидать одних только вредных последствий.

Итак, господствующему учению о физиологической роли хлорофилла не нанесено не только смертельного удара, но даже и легкой царапины. Остается только пожалеть, что в изучении этого и без того сложного вопроса вносится излишняя путаница и темнота, вследствие вмешательства лица, полная несостоятельность которого в подобных физиологических вопросах не подлежит сомнению, но громкий авторитет которого (правда, приобретенный в совершенно иной сфере знаний) тем не менее оказывает давление на более робких деятелей [3]).

---

[1]) *Сидней-Вайнз*, реферируя в „Nature“ о статье Прингсгейма, заключает, что если хлорофилл действует как экран, то можно ожидать, что если накрыть, напр., гриб колпаком с раствором хлорофилла или стеклом соответственного зеленого цвета, то гриб должен начать разлагать углекислоту. Сидни-Вайнз, повидимому, не догадывается, что это — argumentum ad absurdum.

[2]) Как это видим при обесцвечивании растворов хлорофилла на свете, не обесцвечивающихся без кислорода, но нуждающихся для того в очень малых количествах этого газа.

[1]) См. мою речь „О физиологическом значении хлорофилла“, I с., стр. 65. Настоящий сборник стр. 125.

[2]) Даже буквально—*о возможности* существования растения *вопреки* вредному влиянию света. См. выше стр. 7.

[3]) Позволю себе напомнить читателю, что это уже не первая неудача Прингсгейма. В статье, помещенной в „Трудах С.-Петербургского Общества Естествоиспытателей“, VI, стр. 45, я подверг обстоятельной критике первую работу Прингсгейма о хлорофилле; я старался доказать, что вся она не что иное, как один крупный научный промах. Чрез несколько времени к такому же заключению о ней пришел и Сорби, один из первых европейских авторитетов по спектральному исследованию пигментов, еще позже — Дипель и, наконец, Саксе (последний фактически, но не на словах) подтвердили верность моих заключений.

## IX. Зависимость фотохимических явлений от амплитуды световой волны.

Начиная с 1867 года, под свежим еще впечатлением открытия диссоциации углекислоты С. Клер Девилем, я пытался свести и разложение углекислоты в растении на явление диссоциации, вызываемой лучистой теплотой. Это воззрение шло в разрез с господствовавшим в физиологии убеждением, что разложение $CO_2$ зависит не от теплового, а от светового напряжения лучей (именно от желтых лучей спектра), но уже в 1869 году мне удалось обнаружить всю несостоятельность этого убеждения, указав на экспериментальную ошибку, которой оно было обязано своим происхождением, и доказав своими опытами, что *в пределах видимого спектра* тепловая кривая и кривая, выражающая разложение углекислоты растением в различных лучах спектра, имеют согласное направление.

При дальнейшем исследовании этого вопроса [1]) я показал, что разложение углекислоты зависит от лучей, поглощаемых хлорофиллом, и что maximum разложения лежит в красной части между линиями B и C, где помещается главная абсорбционная полоса хлорофилла. Но уже тот факт, что синие лучи, поглощаемые хлорофиллом, в такой же степени, как и красные, не вызывают почти никакого действия, доказывал, что одного условия поглощения недостаточно для объяснения действия света, что лучи, одинаково поглощающиеся, действуют далеко не одинаково и что, следовательно, дальнейшего объяснения должно искать не в природе вещества, а в природе лучей. Вследствие этого во второй своей работе я вновь и подробно остановился на защите воззрения, что фотохимический процесс разложения углекислоты *может быть объяснен* нагреванием, вызываемым лучистой энергией [2]). Воззрению этому прежде всего противоречило очень распространенное убеждение, что maximum теплового эффекта принадлежит темным лучам, за красным пределом спектра, между тем как разложение $CO_2$ зависит, как сказано, от красных лучей. Для устранения этого кажущегося противоречия я указывал на различие между тепловым эффектом отдельных световых волн (зависящим от их живой силы) и тепловым эффектом целых световых пучков (зависящим, кроме первой причины, еще от дисперсии). Различие это, как известно, выясняется из сравнения тепловой кривой в нормальном и в призматическом спектре. Я указывал далее, что должно делать строгое различие между средней температурой тела (термометра, столбика Меллони) и высшей температурой, которой могут достигать, под влиянием лучистой теплоты, отдельные частицы тел. Так, напр., в темной части призматического спектра, где показания термометра наибольшие, температура зависит не от того, что эти лучи вызывают наибольшее нагревание отдельных частиц, а от того, что, вследствие своей скученности, эти пучки лучей вызывают нагревание более значительного числа частиц, не доводя, быть может, ни одной из них до тех температур, до которых они достигают в частях спектра, где показания термометра (вследствие более значительной дисперсии) не так высоки. Между тем очевидно, что химическое разложение должно зависеть от наивысшей температуры, достигаемой отдельными частицами, а не от средней температуры всей массы тела или окружающей среды [3]). Я указал, наконец, что, быть может, загадочность фотохимических явлений, заключающаяся в том, что энергические реакции происходят, повидимому, при обыкновенной температуре, именно тем и объясняется, что при действии лучистой энергии частицы тел (поглощающие свет) могут достигать очень высоких, нам неизвестных температур, оставаясь окруженными сравнительно холодной (не поглощающей света) средой, чем осуществляется

[1]) Журнал Русского Химического Общества, 1873.

[2]) „Об усвоении света растением", СПБ., 1875, и Annales de chimie et de physique, 1877.

[3]) Совершенно сходные воззрения на значение частичного нагревания были высказаны несколькими годами позднее В. Лермантовым в Ж. Р. Х. О. за 1879 г.



условие, особенно благоприятное для диссоциации (tubes chaud et froid С. Клер Девиля) [1]).

Но если разложение $CO_2$ определяется тепловой энергией луча, то эта зависимость должна обнаружиться в нормальном спектре, где влияние дисперсии устранено. Перечисление на нормальный спектр результатов, полученных Ламанским и позднее Мутоном, во всяком случае доказывало, что высшая точка тепловой кривой лежит в видимой части нормального спектра, хотя до полного совпадения maximum'а теплового действия и maximum'а разложения $CO_2$ было еще далеко. Тем не менее я упорно продолжал высказывать надежду, что более точные исследования приведут к более полному совпадению этих точек [2]). Предсказание вполне оправдалось. На основании исследования Ланглея (в нормальном спектре, при помощи болометра) оказалось, что высшая точка тепловой кривой лежит в красной части спектра, приблизительно между B и C, т.-е. там именно, где лежит характеристическая абсорбционная полоса хлорофилла и maximum разложения $CO_2$ [3]). Новейшие исследования Абнея подтверждают это совпадение в еще более поразительной степени. Высшая точка приводимой этим ученым кривой лежит на двух третях между длиной волны = 0,000600 и длиной волны = 0,000700 миллиметра—скажем при 0,000666 [4]). Средина же абсорбционной полосы хлорофилла, а следовательно, и положение maximum'а разложения углекислоты соответствуют длине волны = 0,000664 м.м. Можно ли ожидать более совершенного совпадения?

Таким образом оказывается, что хлорофилл поглощает и затрачивает на разложение $CO_2$ те именно лучи солнечного спектра, которые обладают наибольшей тепловой энергией; в этом факте, вероятно, заключается разъяснение вековой загадки—разъяснение роли хлорофилла в этом процессе. В то же время исследование над разложением углекислоты в спектре доставляет как убедительное доказательство, что фотохимические явления зависят не от одних только свойств тела (способности поглощать лучи), а от самой природы лучей, т.-е. от количества доставляемой ими энергии. Хлорофилл одинаково поглощает и красные и синие лучи, но эти последние едва разлагают углекислоту, очевидно, потому что не обладают необходимой энергией. Против этого могут возразить: но ведь именно эти лучи — синие, фиолетовые, ультра-фиолетовые в особенности—отличаются своим химическим действием, прежде они даже исключительно пользовались названием химических? Ответ на это возражение дает термохимия. Между тем как для разложения $CO_2$ в растении требуется (по Бертло) 48 или даже 68 Cal; разложение, напр., AgJ поглощает только 13 Cal., не говоря уже о соединении H и Cl и других экзотермических реакциях, в которых свет играет роль толчка [5]). Мне неизвестно фотохимического явления, которое обусловливалось бы таким значительным поглощением тепла, как диссоциация $CO_2$, и зависело от лучей малой длины волны, обладающих, как мы теперь знаем, малой тепловой энергией. Не в праве ли мы на этом основании сделать заключение, что фотохимическое разложение зависит вообще от энергии световой волны?

Но не можем ли мы заглянуть еще глубже в самый механизм фотохимических явлений? До сих пор при сравнении между собой световых волн обращалось исключи-

[1]) Сходный взгляд на эту особенность фотохимических процессов высказал позднее Дит (в Encyclopedie Chimique Фреми. 1882, стр. 682). Еще ранее („Спектральный анализ хлорофила" СПБ. 1871) я показал, что количество тепла, полученное зеленым листом, приблизительно во сто раз превышает то количество, которое необходимо для разложения $CO_2$. Каковы же температуры, которых могут достигать частицы тел под влиянием солнечного света, мы можем только догадываться. Вычислено, напр., что платиновая пластинка в $^1/_{500}$ м.м. толщиной могла бы расплавиться от действия солнечного луча, если б не охлаждалась чрез лучеиспускание. Но что же эта $^1/_{500}$ м.м. в сравнении с размерами химических частиц? Уже Румфорд, защищая мысль, что фотохимическое действие может быть объяснено нагреванием, указывал, что это действие может только распространяться на почти бесконечно малые пространства. В 1798 году он писал: „The heat which is generated by the absorption of the rays of light must necessarily *at the moment* of its generation exist in almost infinitly small spaces and consequently it is only in bodies that are inconceivably small that it can produce durable effects in any degree indicative of its extreem intensity".

[2]) „О физиологическом значении хлорофила". Речь на 2 общем заседании VI съезда русских естествоиспыт. и пр., стр. 67.

[3]) См. мою заметку „La distribution de l'énergie dans le spectre solaire et la chlorophylle" в Comptes Rendus. 1883.

[4]) *Capt Abney.* The influence of water и пр. Proceedings of the Royal Society, 1883. june 21.

[5]) Подобным же образом гелиотропическое склонение органов, зависящее преимущественно от лучей малой длины волны, должно быть, вероятно, отнесено к явлениям экзотермическим, так как оно обусловливается поглощением кислорода.

тельное внимание на их длину и на быстроту колебаний, между тем данные, заключающиеся в исследованиях Ланглея и Абнея над распределением энергии в нормальном спектре дают, повидимому, возможность получить приблизительное представление о другой величине, об относительной амплитуде волн различной длины. Исходя из простейшего предположения, что энергия световой волны пропорциональна квадрату амплитуды и обратно пропорциональна длине волны, я попытался, на основании кривой Ланглея, вычислить амплитуды для нескольких волн, в видимой части спектра через каждые 0,000100 миллиметра, а для темной части (для того, чтобы не растягивать без нужды рисунка см. рис. 14 стр. 173)—через каждые 0,000200 миллиметра длины волны. Результат представлен в верхней части прилагаемого рисунка; из него видно, что амплитуды, начиная с темной тепловой части спектра (слева), возрастают, достигают максимума в красной части спектра (приблизительно при 0,000700 мм.) и затем к синему концу его (вправо) быстро убывают. Таким же образом на основании кривой Абнея я вычислил подробнее амплитуды для красной части спектра, именно для волн 0,000720, 0,000700, 0,000666 и 0,000600. Как видно из нижней фигуры рисунка, наибольшая амплитуда соответствует длине волны = 0,000666. Именно в волнах этой длины (т.-е. 0,000664), как мы знаем, происходит самое энергичное разложение $CO_2$, волны же с малой амплитудой (вправо верхняя фиг.) способны вызывать только реакции менее энергичные (каково разложение AgJ и пр.).

Прибегая к наглядному сравнению, мы можем сказать, что крушение частицы углекислоты в волнах светового эфира происходит, как и следовало ожидать, не там, где медленно колышется тяжелая зыбь, и не там, где быстро пробегает мелкая рябь, а там именно, где следуют один за другим крутые, высокие валы.

Для проверки этого взгляда, особенно интересно сравнить действие различных световых волн, одинаково поглощаемых одним и тем же телом (все равно, будет ли тело разлагаться само по себе или при содействии сенсибилизатора). По отношению к $CO_2$, мы уже видели, что синие лучи, поглощаемые хлорофиллом, так же, как и красные, оказывают только очень слабое разлагающее действие. Сходное явление представляется самим хлорофиллом. Как все сенсибилизаторы, он разлагается, обесцвечивается под влиянием света, но это обесцвечивание происходит быстро в красных, очень медленно в синих лучах. То же правило, повидимому, оправдывается и в других случаях. Остановлюсь на одном примере. Г. Дрепер упоминает, что для фотографирования нормального спектра в части, соответствующей промежутку между волнами 0,000435 и 0,000400, нужно в десять раз менее времени, чем для фотографирования части, соответствующей промежутку между 0,000351 и 0,000344 [1]). Эти части спектра поглощаются серебряными препаратами, повидимому, одинаково; следовательно, более слабое действие коротких волн должно приписать природе самих волн и, конечно, не *возрастающей* (с уменьшением длины волны) быстроте колебания, а *убывающей* энергии или амплитуды волн.

Не дают ли приведенные факты право заключить, что фотохимические явления вообще зависят от амплитуды световой волны, что реакции энергические зависят от волн с большой амплитудой, реакции менее энергические—от волн с малой амплитудой колебания; что, наконец, из световых волн, поглощаемых одним и тем же телом, волны первой категории действуют энергичнее, чем волны второй категории [2])? Если это предположение оправдывается и в других случаях, то не получим ли мы в нем зачаток рациональной теории фотохимических реакций, не удастся ли нам раскрыть, так сказать, молекулярный механизм этих явлений, до сих пор составляющих самую темную область учения о свете?

Извлечено из „Известий" Петровской Академии. 1884 г. Вып. II.

[1]) *H. Draper.* Diffraction spectrum photography. American journal of Sc. 1873, p. 401.

[2]) Говоря, что фотохимическое действие зависит от амплитуды световой волны, я не хочу этим сказать, что оно пропорционально ей (вероятнее, что оно пропорционально ее квадрату), я хочу только указать на связь этих явлений, главным образом, с амплитудой, а не с длиной волны или частотой колебаний, на которые до сих было почти исключительно обращено внимание.

## X. Фотохимическое действие крайних лучей видимого спектра.

(Сообщено 11 февраля 1892).

Какие лучи солнечного спектра оказывают наибольшее химическое действие? Вопрос этот еще недавно разрешался очень определенно, а теперь представляется открытым.

Известно, как долго и упорно держалось мнение, что химическое действие возрастает по мере приближения к фиолетовому концу спектра и за его пределом. Этим лучам синим, фиолетовым, ультрафиолетовым, даже исключительно было присвоено название *химических*. В настоящее время, особенно после открытия сенсибилизаторов и возможности фотографирования при помощи темных тепловых лучей (Абней), это воззрение, как известно, совершенно покинуто [1]). Основным законом фотохимии мы должны признать следующий:

I. *Все световые волны, независимо от их длины, могут оказывать химическое действие.*

На возникающий вслед за тем вопрос: почему в одном случае действуют одни лучи, в другом—другие, современная фотохимия дает также вполне удовлетворительный ответ. Действуют те лучи света, которые поглощаются изменяющимся или сопровождающим его (и также изменяющимся) телом. Все современное учение о сенсибилизаторах, вся ортохромная фотография исходят из этого положения. Закон этот обыкновенно связывают с именем В. Гершеля, но он был еще ранее высказан Гротгусом [2]).

Следовательно, второй по своей общности закон формулируется так:

II. *Действуют те световые волны, которые поглощаются изменяющимися телами.*

Но далее естественно возникнет третий вопрос: зависит ли фотохимическое действие исключительно от свойств поглощающего тела или, в то же время, от свойств поглощаемого луча? Другими словами: два луча, в одинаковой степени поглощаемые одним и тем же телом, будут ли оказывать одинаковое или неодинаковое действие? Мне кажется, что и в этом направлении начинает выясняться известного рода закон.

Занимаясь в течение двадцати пяти лет изучением физиологического процесса, представляющего в то же время самое величественное фотохимическое явление на поверхности земли, я на первых же порах пришел к выводу, допускающему теперь, как мне кажется, более широкое обобщение. На основании уже теперь имеющихся фактов, мне кажется, мы вправе заключить, что фотохимические процессы зависят от энергии луча (измеряемой его тепловым эффектом), так что в пределах видимого спектра действие различных лучей возрастает не по направлению к фиолетовому, как это было принято, а наоборот, по направлению к красному концу. Наиболее энергического действия мы должны искать в красной части спектра, как это и оправдывается, в применении к разложению углекислоты, в зеленых частях растения. Убедившись в справедливости этого воззрения, в применении к углекислоте, я постоянно искал новых фактов, которые могли бы позволить обобщить это толкование единичного явления. Они не замедлили явиться. В сообщении, сделанном в заседании Физического отделения 15 декабря 1888 [3]), я указал на них. Заключались они в том, что некоторые наблюдения (Шрамм и Закжевский, Эдер) подметили, что maximum поглощения света и maximum химического действия не совпадают, и последний maximum всегда смещается в сторону крас-

[1]) Как на любопытный пример „переживания" устарелых идей, можно разве сослаться на известный Chemiker-Kalender, из года в год (до 1892 включительно), перепечатывающий классический (заимствованный из физики Жамена) рисунок трех кривых: распределения тепла, света и *химического действия* в солнечном спектре.

[2]) В 1818 году, в сообщении, сделанном в Curländische Gesellschaft für Literatur und Kunst и напечатанном в извлечении в Gilb. Ann. 1819.

[3]) Зависимость химического действия от энергии луча.

ного конца спектра. Фактам этим я дал такое объяснение: из двух лучей, поглощаемых телом, тот, который ближе к красному концу, обладает большей энергией, вследствие чего и maximum действия должен перемещаться в том же направлении.

В 1890 году появилась работа Акуорта, в которой автор приводит длинный ряд подобных же наблюдений, но оставляет их без объяснения [1]). Липман позднее также указывает на этот факт неполного соответствия между поглощением и химическим действием света, но также не предлагает объяснения [2]). В сообщении, сделанном в заседании физического отделения 28 марта 1891 [3]), я указал, что результат, полученный Акуортом, был мною предвиден в упомянутом выше сообщении и что возрастающее число фактов, очевидно, говорит в пользу предложенного мною объяснения.

Ввиду сказанного, я счел полезным подвергнуть более точному исследованию вопрос о действии двух крайних частей видимого спектра на разложение углекислоты в растении. Реакция эта интересна в том отношении, что представляет самый резкий, так сказать, предельный случай занимающего нас явления. Если в пределах одной абсорбционной полосы замечается уже различие в действии смежных лучей, то, на основании защищаемого взгляда, различие должно выступить еще очевиднее, если сравнить действие двух абсорбционных полос (того же тела), лежащих одна в красной, другая в сине-фиолетовой части спектра. Именно такой абсорбционный спектр представляет хлорофилл, действующий, как сенсибилизатор в процессе разложения углекислоты.

Хотя самый факт, что синие лучи действуют в этом процессе слабее красных, можно было считать прочно установленным, но против методов, которыми он был добыт, можно было сделать возражения, вследствие чего до настоящего времени нельзя было привести точных цифр для количественной оценки этого различия в действии красных и синих лучей.

Вот эти методы и возражения, которые они возбуждают.

1) Исследуют действие света, пропущенного чрез цветную среду, напр., чрез желтую и синию жидкость. Этот прием не точен, так как и свет, *прошедший* чрез цветную среду, бывает ослаблен и притом в различной степени, так что результаты опыта нельзя прямо между собою сравнивать.

2) Исследование производится в призматическом спектре. Неравномерная дисперсия в различных частях спектра делает полученные результаты несравнимыми между собою. Вводить же последующую поправку на дисперсию значило бы tacite допускать, что фотохимическое действие пропорционально напряжению света, на что мы не имеем права [4]).

3) Исследование можно было бы произвести в спектре дифракционном, но все попытки, которые я делал, при помощи превосходной Роуландовской решетки, не привели к удовлетворительным результатам, вследствие значительного ослабления света, в сравнении со спектром призматическим [5]).

Следовательно, для точного исследования нужно остановиться на разложении света призмою, устранив *экспериментально* погрешность, вытекающую из неравномерной дисперсии. Такой прием и был предложен сначала П. Бером, а потом мною [6]). Остановлюсь только на втором, так как первый неудобен в том отношении, что при нем опыты производятся не одновременно, а последовательно и потому требуют, чтобы напряжение света (солнечного) в течение всего опыта было постоянно. Я воспользовался приемом, давно употребляемым физиками для разложения спектра на комплементарные цвета, при помощи цилиндрической линзы и призмы с очень малым углом преломления [7]). Этим

---

[1]) I. Acworth. Beziehung zwischen Absorbtion und Empfindlichkeit sensibilisirter Platten. Ann. d. Ph. и Ch. 1890.

[2]) Comptes Rendus. 1891.

[3]) О соотношении между химическим действием и поглощением света.

[4]) Оствальд, повидимому, считает это положение одним из доказанных законов фотохимии, но, по крайней мере, в применении к разложению углекислоты, это не верно. См. мою статью „Sur le rapport entre l'intensité des radiations solaires et la décomposition de l'acide carbonique par les végétaux". C. R. 1889. см. стр. 321 настоящего сборника и „Физикохимические условия разложения углекислоты в растении", журн. Р. Химич. О. 1890.

[5]) Даже Ланглей, работающий со своим болометром, чувствительность которого известна, пишет: „the prism is on the whole far more convenient than the grating". Ph. Mag. Jan. 1889.

[6]) П. Бер (Comptes Rendus. 1878) предложил способ *последовательного*, я предложил способ *одновременного* наблюдения (Bulletin du Congrés international de Botanique, réuni à Pétersbourg, 1884, p. 122). После нас обоих выступил с ними Рейнке, тем не менее предъявляющий на них какие-то права. Но вопрос о приоритете очень просто разрешается хронологией.

[7]) И именно—прибором Дюбоска, значащимся в его каталоге под № 351 фиг. 110.



способом можно разделить спектр на две части или выделить из него два пучка, которые *в спектре нормальном занимали бы равные протяжения*. Таким образом сохраняется необходимое напряжение света, а полученные результаты можно без погрешности между собою сравнивать.

Не останавливаясь на подробностях производства таких опытов с газометрической стороны (я их излагал уже не раз), перехожу прямо к результату [1]). Спектр был разделен на две равные (как уже сказано по отношению к нормальному спектру) части. В ярких полосах света (синей и желтой) помещались, в плоских трубках, равные зеленые поверхности листа, и по прошествии 3/4 или 1 часа производился анализ газа. Действие двух пучков света (в среднем выводе из 6 опытов) выразилось для менее преломляющейся половины спектра цифрой 100, для более преломляющейся — 54. Уже этот результат говорит в пользу защищаемого воззрения. Но должно еще принять во внимание, что ширина абсорбционных полос, т.-е. пучков света, в действительности вызывающих химический процесс, в той и другой половине спектра не равна. На прилагаемой фигуре изображен спектр хлорофилла испытуемого листа. Полоса в сине-фиолетовой части спектра (нормального) в три слишком раза шире полосы при Фраунгоферовых линиях B—C. Если разделить приведенные только что величины на протяжения *действующих* частей спектра, то получим для *средняго* луча в красной части 100, для *средняго* луча в сине-фиолетовой части 14, что и представлено графически на прилагаемом чертеже.

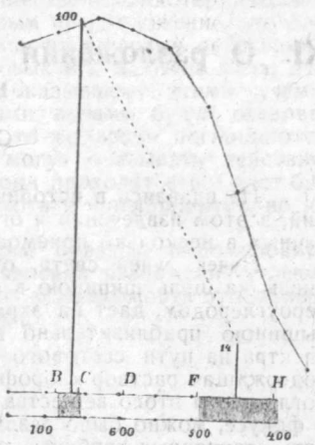


Рис. 1.

Из приведенного опыта представляющего, если не ошибаюсь, первый пример *количественного* изучения химического действия двух групп лучей *одинаково поглощаемых* и *одинаково рассеянных* — вытекает, что действие лучей красной части спектра значительно энергичнее действия сине-фиолетовой части. Какому же свойству лучей припишем мы это различие в их действии? Как я высказывал еще в 1869 г.—очевидно, их энергии, возрастающей в том же направлении, как это видно из сопоставления с кривой Ланглея, представляющей распределение тепловой энергии в нормальном солнечном спектре [2]).

На основании этого результата, а равно и упомянутых многочисленных опытов над действием сенсибилизаторов, мы должны заключить, что, при прочих равных условиях, химическое действие лучей возрастает по мере приближения к красному концу спектра [3]). И единственное пока предложенное объяснение этого действия заключается в связи его с возрастающей в том же направлении энергией лучей.

На основании всего сказанного, мне кажется, мы в праве к первым двум фотохимическим законам присоединить еще третий:

III. *Химическое действие световых волн различной длины зависит от их энергии* [4]).

---

[1]) Опыты произведены в июле 1891 года.

[2]) Кривая эта построена на основании последних данных Ланглея, помещенных в Phil. Mag. за январь 1889.

[3]) Уже после моего сообщения до меня дошла статья Липмана в „Revue des Sciences pures et appliquées". 30 janv. 1892. Липман указывает, что между тем, как в прежних его опытах главное препятствие заключалось в медленном действии красных лучей (для фиолетовых требовались минуты, для красных—часы), теперь задача извратилась: „C'est maintenant le rouge qui vient le mieux, c'est à dire que le but a été dépassé".

[4]) Или, быть может, выражаясь определеннее,—от их амплитуды. См. мою статью „Зависимость фотохимических явлений от амплитуды световой волны" Ж. Р. Химич. Общ. 1883, или стр. 302 настоящего сборника.

# XI. О разложении углекислоты зелеными частями растений в солнечном спектре [1]).

Comptes Rendus 28 мая 1877 года.

Не вдаваясь в исторические подробности и критику предшествующих исследований, в этом извлечении я ограничусь тем, что приведу результаты моих опытов, сделанных в несколько приемов в течение двух лет.

Пучек лучей света, отраженный зеркалом гелиостата и собранный при помощи линзы на щель шириною в один миллиметр и прошедший еще через линзу и призму с сероуглеродом, дает на экране в хорошо затемненной комнате изображение спектра, вышиною приблизительно в восемь сантиметров. Для того, чтобы судить о чистоте спектра на пути светового пучка, помещалась ванночка с параллельными стенками, содержащая раствор хлорофилла. Спектр считался достаточно чистым, когда все полосы поглощения этого вещества были ясно обозначены, к тому же на экране, помещенном в фокусе, можно было различать даже линию D. В этом спектре располагались рядом пять стеклянных трубочек, опрокинутых в сосуд со ртутью. В каждой трубочке заключалось отмеренное количество атмосферного воздуха с примесью угольной кислоты, около пяти процентов. Эти трубочки предназначались для того, чтобы помещать в них зеленые части растения, которые должны были быть выставлены на свет. Я полагал, что наиболее благоприятные условия для вполне точно сравнимых результатов получатся при употреблении одинаковых частей одного и того же листа бамбука (приблизительно 10 квадратных сантиметров).

Трубочки распределялись в спектре таким образом: первая находилась в крайней красной части, вторая занимала ту красную часть, в которой находится характеристичная абсорбционная полоса хлорофилла, так что если смотреть на нее через слой хлорофилла, она казалась совершенно черной, тогда как первая—была ярко красная; третья трубочка помещалась в оранжевой части; четвертая—в желтой, пятая, наконец,—в зеленой. Так как все исследователи были согласны в том, что лучи наиболее преломляемые оказывают малое действие, я счел излишним экспериментировать далее в синей части. Трубочки отделялись одна от другой пластинками из черного картона. При таком расположении опыта зеленые части растений оставались выставленными в спектре, в хорошие июльские дни, часов шесть-десять.

После инсоляции газ из трубочек извлекался, и производился его анализ; так как состав газовой смеси был известен, легко было вычислить количество угольной кислоты, разложенной или появившейся вновь. Шесть рядов опытов дали результаты, вполне согласовавшиеся одни с другими.

Средняя этих шести рядов дает возможность сделать следующее заключение: максимум разложения угольной кислоты оказывается всякий раз в трубочке, соответствующей положению характерной полосы поглощения хлорофилла; в оранжевой, желтой и зеленой частях спектра количество разложенной углекислоты все убывает, тогда как в крайней красной не только нельзя было определить разложения углекислоты, но, напротив того,—ее содержание увеличивалось вследствие дыхания.

Совпадение между максимумом разложения и характерной полосой хлорофилла не подлежит сомнению, но более точное изучение пути световых лучей в толщу раствора хлорофилла указывает на еще более поразительное совпадение между поглощением

[1]) Переводы этой и всех последующих (№№ 11 . . . . 20) статей сделаны после смерти автора 28 апреля 1920 А. А. Тимирязевой и А. К. Тимирязевым и просмотрены Н. С. Понятским; заголовки статей в скобках представляют перевод с оригиналов, заголовки без скобок взяты из оглавления всего сборника, собственноручно написанного автором.



света и разложением углекислоты: между энергией поглощенной и произведенной работой. Действительно, отвлекаясь от второстепенных максимумов поглощения, соответствующих полосам абсорбции средней части спектра, можно рассматривать это совпадение в наименее преломляемой части спектра вполне совершенным.

Того же нельзя сказать относительно наиболее преломляемой части спектра. В этой части поглощение очень сильно, а явление разложения очень слабое, как на это единогласно указывают все исследователи. Но, кроме сильного светорассеяния, в этой области спектра, что могло бы отчасти вызвать это явленне, его можно объяснить и теоретически.

Явление разложения углекислоты, будучи явлением существенно эндотермическим, сопровождающимся поглощением энергии, делает возможным предположение, что оно должно зависеть от живой силы, от энергии лучей (измеряемых их тепловым действием); а между тем энергия, живая сила лучей голубых, фиолетовых и т. д. очень мала; это дает возможность объяснить относительно малое действие, оказываемое этими лучами, несмотря на их сильное поглощение. Наиболее деятельными лучами будут, следовательно, те, которые обладают наибольшей энергией и в то же время поглощаются хлорофиллом. Таким образом, крайние красные лучи не могут оказывать действия, несмотря на их большую (тепловую) энергию, потому что они проходят через лист без видимого поглощения, тогда как синие и другие лучи, хотя и поглощаются, но не производят действия, вследствие их малой энергии.

Установив это, мне кажется возможным следующим образом резюмировать современное состояние наших познаний в этой области: в явлении разложения углекислоты зелеными частями растения солнечные лучи действуют в зависимости от их энергии и, кроме того, от избирательного поглощения хлорофилла.

## XII. Распределение энергии в солнечном спектре и хлорофилл.

Comptes Rendus, T 96, p. 375, 1883 г.

Сообщение К. Тимирязева, представленное Эдмоном Беккрелем.

В краткой заметке, представленной в Академию в 1877 году, я пытался сделать вывод из полученных мною результатов моих исследований над разложением угольной кислоты в солнечном спектре зелеными частями растения [1]).

Эти опыты, все подробности которых после того были мною опубликованы в Annales de Chimie et de Physique [2]), вполне доказывают существование близкой связи между поглощением света хлорофиллом и интенсивностью произведенного химического действия; обе кривые, кривая поглощения и кривая разложения углекислоты, представляют столь полное совпадение, какого можно только требовать для подобного рода исследований. Явление, которое происходит в зеленом листе, повидимому, подчиняется закону Гершеля и представляет собою даже один из наиболее ярких примеров его применения [3]).

Указывая на главный результат моих опытов, я позволил себе в то же время высказать мнение, что это явление могло быть рассматриваемо, как зависящее от лучистой энергии, измеряемой действием ее на термоэлектрический столбик. Обсуждая подробно этот вопрос в Анналах, я указывал, что непосредственное изучение распределения тепла в спектре решеток имело бы большое значение для более тщательного изучения явления, о котором идет речь [4]). И я пришел к тому заключению, что было бы преждевременно высказывать какое-либо мнение об отношениях между явлением разложения углекислоты и световой энергией до тех пор, пока мы не будем иметь более точных данных относительно распределения энергии в спектре [5]).

Изобретение Ланглеем болометра и последовавшие вслед за этим его замечательные исследования над распределением энергии в нормальном спектре заполняют этот пробел. Место в спектре, в котором находится максимум энергии, точно определен Ланглеем в оранжевой части, именно в той части спектра, которая соответствует характерной полосе хлорофилла, (между линиями B и C) [6]).

Установив этот факт, мы вправе допустить, как нечто вполне доказанное, существование этого соотношения между световой энергией и интенсивностью химического процесса, на которое я позволил себе указать, как на вполне вероятное в моем предшествующем сообщении. Таким образом, мы приходим к любопытному результату, а именно: хлорофилл может быть рассматриваем, как вещество специально приспособленное к поглощению солнечных лучей, обладающих максимумом энергии. Выработка этого любопытного вещества растительной экономией является наиболее поразительным примером приспособления организмов к условиям окружающей среды.

Я предполагаю представить в Академию в следующем сообщении краткое извлечение полученных мною результатов из ряда исследований, производимых мною в течение нескольких лет с целью установить *количественную* связь, существующую между солнечной энергией, поглощенной хлорофиллом одного листа, и той, которая слагается в запас, как следствие химической работы. В настоящее время я ограничусь указанием одного из результатов этих опытов. В том случае, когда растение находится в наиболее благоприятных условиях для данного процесса, около 40 процентов солнечной энергии, соответствующей пучку света, поглощенному характерной полосой хлорофилла, превращается в химическую работу. Исходя из этой цифры, можно сказать, что хлорофилловый орган представляет собою весьма совершенный прибор, способный превращать в полезную работу до сорока процентов поглощенной им энергии.

---

[1]) Comptes Rendus. 28 mai, 1877.
[2]) Annales de Chimie et de Physique, 5-me serie, t. XII, 1877.
[3]) Berthelot. Essai de mecanique chimique, t. II, p. 414.
[4]) Ll. c. p. 387.
[5]) Ll. c. p. 396.
[6]) Comptes Rendus, 11 Septembre, 1882.

## XIII. Химическое и физиологическое действие света на хлорофилл.

Comptes Rendus 23 марта 1885 года.

Дюма и Буссенго в их „Essai de statique chimique des êtres organisés“ в первый раз указали на возможность сближения физиологического действия света на живое растение с его химическим действием при образовании фотографического изображения [1]), по способу Дагерра. Несколько лет спустя сходные идеи были высказаны Гельмгольцем [2]). Эти первые попытки установить связь между жизненным явлением и явлением чисто химическим должны были потерпеть крушение перед фактом, установленным Добени и Дрепером, что разложение углекислоты в растении обязано своим существованием группе лучей, вполне отличающейся от тех, которым приписывали в то время почти исключительно химическое действие. Но новые успехи, сделанные физиологией растений и фотохимией, особенно благодаря исследованиям Фогеля, Э. Беккереля и Абнея о сенсибилизаторах, снова делают законным подобное сближение между явлениями физиологическими, происходящими внутри живых тканей, и теми, которые составляют основу новых фотографических приемов.

Разложение углекислоты находится в связи с избирательной особенностью поглощения хлорофилла, а хлорофилл, как доказал Э. Беккерель, действует как сенсибилизатор на серебряные соли.

Все это давало возможность предположить, что физиологическая роль этого вещества, хотя бы отчасти, сходна с действием сенсибилизатора [3]). Оставалось еще разъяснить одну сторону вопроса. Исследования действия сенсибилизаторов и в особенности работы Абнея показывают, что для выполнения роли сенсибилизатора недостаточно, чтобы данное вещество поглощало известные лучи, необходимо еще, чтобы оно само разлагалось в поглощаемых им лучах [4]). Окращивание хлорофилла под действием света—факт известный со времен Сенебье; но физиологи обычно приписывают это действие не лучам, поглощенным хлорофиллом, а желто-зеленым лучам, очень мало поглощаемым. Хотя это мнение находится в противоречии с фактом, уже давно доказаннымГ ершелем-Дрепером и в более недавнее время Дементьевым [5]), мне все же казалось заслуживающим внимания сделать непосредственное исследование этой существенной части теории функции хлорофилла. Вот результаты опытов, сделанных в июле и августе 1883 года.

Для того, чтобы избежать источника ошибки, происходящей от неодинаковой дисперсии в призматическом спектре, и в то же время пользоваться, насколько возможно, наибольшей интенсивностью света, я употреблял остроумный метод Поль Бера, который состоял в собирании лучей света, предварительно разложенных призмой [6]). Для этого я употребил прибор, состоящий из цилиндрической линзы и призмы с малым преломляющим углом, обычно употребляемый для опытов с дополнительными цветами. Такое расположение дает возможность сделать два сравнительных опыта сразу. Два изображения в дополнительных цветах отбрасывались или на две маленьких ванночки с веточками Ellodea, наполненных водою с 30% содержанием углекислоты, или на стеклян-

---

[1]) Loc. cit., p. 24.
[2]) „Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte“. 1854. Pop. Vorträge, p. 127.
[3]) C. Timiriazeff. „Исследование о разложении углекислоты“ (Annales de Chimie et de Physique) 5-me serie, t. XII, 1877.
[4]) „Nature“, 15 Décembre 1881, p. 166.
[5]) Inst. Jahresb. 1876, p. 924. Опыты Дементьева были сделаны в моей лаборатории и под моим наблюдением.
[6]) Comptes Rendus, 1878, p. 697.

ную пластинку, покрытую слоем коллодиума, разбавленного небольшим количеством хлорофилла.

Десяти минут экспозиции оказывалось в большей части случаев достаточно для получения, с одной стороны, необходимого количества выделенного растением газа, и с другой—отпечатков двухцветных изображений на чувствительном слое хлорофилла. Чтобы определить количество выделенного растением кислорода, я обратился к новому методу, который можно назвать микро-эвдиометрическим. Оставляя описание этого метода до другого сообщения, я ограничусь указанием на главные полученные результаты.

При разделении спектра на две равные части, расчитанные по нормальному спектру' изображения получались окрашенными в желтый и синий цвет. Действие физиологическое и фотографическое вполне совпадали; максимум действия в обоих случаях был в желтой части, тогда как действие синего света едва было заметно.

При помощи тонкого листка олова, приложенного к стеклянной пластинке, на которую отбрасывался спектр, сине-фиолетовая часть была выключена, часть спектра, менее преломляемая, была разделена на два пучка—красный и желтовато-зеленый, одинакового размера (также по отношению к нормальному спектру). Действие физиологическое и действие физическое снова оказывались на одном и том же месте, и максимум был в красной части.

Наконец, удаляя оловянный листок и помещая маленькую призму в желто-зеленой части спектра, я получал два пучка лучей: один —желто-зеленый, другой—фиолетовый. В этом последнем находилась почти вся сумма лучей, поглощаемых хлорофиллом, тогда как в первом были только зеленые лучи, отраженные растительностью. На этот раз легко было предвидеть результаты: оба максимума были на стороне фиолетовой полосы.

Обнаруженные факты позволяют вывести следующие заключения о действии хлорофилла:

I. Хлорофилл действует, как сенсибилизатор, сам в то же время разлагаясь и вызывая разложение углекислоты в той части спектра, которая им поглощается.

II. Различные лучи, поглощаемые хлорофиллом, вызывают и разложение в очень различной степени. Максимум разложения поразительно совпадает с максимумом энергии в нормальном спектре. Исходя из этого распределения энергии в нормальном спектре' доказанного Ланглеем и Абнеем, мы приходим к заключению, что скорее амплитуда, чем частота колебаний производит расшатывание молекулы угольной кислоты, что приводит ее, наконец, к разложению. Именно те колебания, которые обладают наибольшей амплитудой, энергично поглощаются хлорофиллом и превращаются в химическую работу.

III. Химическое действие света в фотографии может быть вполне аналогичным его физиологическому действию в живом растении, под условием, чтобы чувствительное вещество представляло в обоих случаях одинаковое поглощение и чтобы в обоих случаях это был хлорофилл.

Таким образом, первоначальная идея об аналогии между жизненными и химическими явлениями, указанная Дюма и Буссенго сорок лет тому назад, как мы видим, подтверждается, правда, в несколько измененном виде, что уже нередко случалось в истории науки.

## XIV. Искусственный протофиллин. (Хлорофилл и разложение углекислоты растениями).

Comptes Rendus. T. CII. 1886, p. 686.

Сообщение К. Тимирязева, представленное М. Бертло.

При действии на спиртовой раствор хлорофилла водородом в момент его появления (водород получается при помощи цинка и уксусной кислоты) образуется продукт разложения желто-соломенного цвета в слабом растворе, коричнево-красный при дневном свете или красивого рубинового цвета при свете лампы, если раствор концентрированный. Вещество это имеет вполне определенный спектр с характерным для него отсутствием полосы I в красной части, которая до сих пор считалась как признак особенно устойчивый во всех производных хлорофилла. Вторая замечательная особенность этого спектра—это широкая полоса, занимающая место II полосы, включая и два промежутка между I-й и II-й полосой и между II-й и III-й. Далее мы увидим, какой интерес представляет положение этой полосы.

Но самая существенная особенность этого вещества—его свойство при соприкосновении с воздухом быстро окисляться и при этом зеленеть. Таким образом, следовательно, это вещество превращается в хлорофилл. Очевидно, что аналогичное этому телу вещество должно существовать в растениях, так как, только окисляясь на счет кислорода воздуха, этиолированные растения начинают зеленеть, вещество это сильно поглощает кислород воздуха. Появление первой полосы, представляющее собою первый признак окисления, обнаруживается, так сказать, моментально даже в атмосфере, содержащей только следы этого газа, так что можно употреблять эти растворы в качестве одного из наиболее чувствительных реактивов для обнаруживания ничтожных следов кислорода.

Это вещество является, очевидно, продуктом восстановления зеленого начала хлорофилла, которое мною было описано в 1869 г. под названием хлорофиллина; новое полученное вещество может быть названо пока протохлорофиллином, или более кратко—протофиллином.

Растворы протофиллина могут сохраняться только в запаянных трубках. Если же их ввести в трубочки, опрокинутые над ртутью, они тотчас позеленеют. Очевидно, что здесь мы имеем дело с энергичным восстановителем, действием которого можно объяснить разложение углекислоты зелеными частями растения. *Действительно, эти растворы, заключенные в запаянные трубки и содержащие угольную кислоту, быстро зеленеют на солнечном свете, превращаясь в хлорофилл*, тогда как контрольные трубочки, сохраняемые в темноте, неизменно сохраняют свой цвет и свой характерный спектр. В то же время трубочки с растворами, совершенно сходные с предшествующими, но содержащие водород, не изменяют оптических свойств ни на свету ни в темноте. Можно ли из этого сделать вывод, что это образование хлорофилла, это окисление, происходит за счет углекислоты? Можно ли, наконец, считать осуществленной задачу разложения углекислоты от действия света при помощи хлорофилла, но вне живого организма? Я не решаюсь еще это утверждать до тех пор, пока у меня нет данных относительно состава остающегося газа, но, с другой стороны, трудно было бы найти иное объяснение изложенных фактов. Во всяком случае в этих опытах мы в первый раз получаем образование раствора хлорофилла на свету вместо его разрушения; эта именно особенность недавно приписывалась Жоденом [1]), как исключительная особенность жи-

---

[1]) Jodin. Etudes sur la chlorophylle (Comptes Rendus, T. 5, p. 266; 1886). Доказательство восстановляющего действия света на хлорофилл вне организма составляет, как мне кажется, несомненную заслугу Реньяра.

вого организма. Естественно является вопрос, можно ли быть уверенным, что это вещество находится и в живом организме. Если принимать в соображение только его спектр, в таком случае кажется, именно присутствию этого вещества надо приписать разницу между спектром зеленой хлорофилловой вытяжки, только что полученной из листьев, и спектром хлорофилла, измененного медленным окислением.

Действительно, это превращение главным образом характеризуется исчезновением полосы поглощения в двух промежутках I и II полосой и между II и III. Эту особенность можно было бы себе объяснить, допустив разрушение протофиллина (благодаря окислению), широкая полоса поглощения которого заполняет, как мы только что видели, именно этот промежуток. Тем не менее я готов скорее заключить, что мы здесь имеем соединение двух тел, а не простое наложение спектра.

К тому же протофиллин не единственное вещество, которое образуется в описанных условиях: если реакция продолжается дольше, особенно в присутствии избытка кислоты или при действии минеральных кислот, появляется новое вещество, характеризующееся также определенным спектром. При этом в конечном результате получается полное обесцвечивание и разрушение красящего вещества. Только останавливаясь на первой стадии восстановления, возможно при помощи последующего окисления достигнуть более или менее полного возврата к первоначальному продукту—хлорофиллу. По мере того, как реакция продолжается, количество полученного вновь хлорофилла значительно убывает, что как будто указывает на частичное разрушение красящего вещества, вследствие слишком энергичного и продолжительного действия восстановителя. Вот причина, которая делает эти превращения столь сложными: все операции надо производить в атмосфере вполне лишенной кислорода, и они все время должны проверяться спектроскопом.

Чтобы ни было, очевидно, что изучение этого любопытного вещества и его отношения к углекислоте и свету, также как исследования его присутствия в живом организме как в нормальном состоянии, так и в этиолированном, выяснит химическую сторону функции хлорофилла, которая изучалась последнее время исключительно с физической точки зрения.

Указав на путь исследования этих новых производных хлорофилла, я предполагаю вести это исследование в означенном направлении.

## XV. Бесцветный хлорофилл [1]).

Е. Шунк в своих тщательных исследованиях по химии хлорофилла (Nature, Vol. XXXII, p. 117) правильно замечает, что объяснение данное Тчирхом любопытному факту, открытому Черчем, не опирается на достаточное доказательство. Действительно, трудно допустить, что металлический цинк действует как восстановитель, потому что такой же результат получается, когда мы пользуемся окисью цинка вместо чистого металла (этот факт я установил в 1869 году).

Но совсем недавно я имел возможность убедиться, что реакция, происходящая, когда раствор хлорофилла обрабатывается *металлическим цинком и органической кислотой*, имеет совершенно другой характер. Действием выделяющегося при реакции водорода, *хлорофилл* в действительности *восстановляется*; получающееся *при этом вещество* не сохраняет зеленой окраски, но совершенно бесцветно и не представляет никаких следов спектра хлорофилла или его флуоресценции. И только входя в соприкосновение с воздухом, оно постепенно приобретает и зеленую окраску и характерные оптические свойства.

В высшей степени поучительно следить за этим явлением в пробирке, помещенной перед щелью спектроскопа, и наблюдать первое появление и дальнейший рост темных полос, в то время, как бесцветное вещество приобретает свою первоначальную великолепную изумрудную зеленую окраску.

Физиологическое значение этого факта ясно всякому ботанику, интересующемуся этой областью. Что касается меня, то я считаю, что открытие этого бесцветного видоизменения хлорофилла представляет еще новое доказательство в пользу гипотезы относительно химической природы хлорофилла, которую я предложил в 1875 г., т.-е. что зеленая окраска этого вещества зависит от железа, находящегося в виде соединения $FeOFe_2O_3$. Действительно, все изменения, происходящие с этим веществом, его возникновение, его разрушение, действие кислот, цинка и окиси цинка можно легко объяснить, принимая эту простую и само собою напрашивающуюся гипотезу.

Но какова бы ни была конечная судьба этой „временной гипотезы", только что установленный факт нисколько не потеряет своего значения. Всего интереснее здесь доказательство существования бесцветного вещества, приобретающего при окислении все оптические свойства хлорофилла. Ясно, что в этом случае хлорофилл образуется подобным же процессом, как и в живом растении. (На существование этого вещества часто указывали, но до сих пор это еще подлежало сомнению). Полагая, что хлорофилл восстановляется, когда $CO_2$ диссоциируется под действием света (это предположение весьма вероятно), мы в то же время находим основание, почему это превращение не сопровождается видимым изменением цвета и других оптических свойств. Ведь продукт реакции бесцветен и не имеет темных полос в спектре. Как бы то ни было, изменение цвета, замеченное Саксом, на большом числе листьев выставленных на солнце, и которое обыкновенно приписывается перемещению хлорофилловых зерен, может, хотя отчасти, зависеть от этого процесса восстановления.

Москва, 15 июля 1885.

---

[1]) С английского. Nature, Vol. 32, p. 342. 1885.

## XVI. Восстановленный хлорофилл.

Nature, 34, 1886, p. 52.

В краткой заметке в Nature, (Vol. 32, p. 342) я упомянул об открытии бесцветного вещества, получаемого при действии восстановителей на хлорофилл, которое при доступе воздуха превращается обратно в зеленый раствор.

Я позволю себе, в добавление к моим прежним сообщениям, указать на то, что если реакция не зашла чрезмерно далеко, и получающееся вещество находится в значительной концентрации, то оно оказывается уже не бесцветным, но имеет красновато-коричневую окраску при дневном свете и великолепную рубиново-красную при Друммондовом свете (эта окраска резко отличается от хорошо известного для хлорофилла красного цвета—портвейна). Спектр этого вещества главным образом характеризуется полным отсутствием полосы I и присутствием широкой полосы, в точности соответствующей полосе II и двум промежуткам между I и II и II, и III. Полоса IV, повидимому, тоже имеется в спектре, но она несколько изменена как по своему положению, так и по резкости.

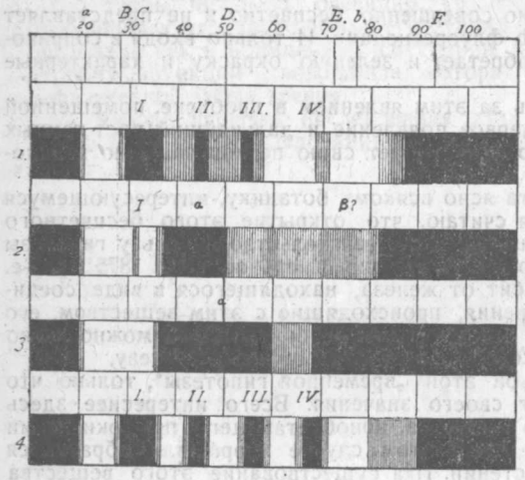


Рис. 1.

Присутствие ничтожнейших следов кислорода тотчас же сказывается в появлении I полосы хлорофилла, так что эту реакцию можно рассматривать как одну из наиболее чувствительных реакций на кислород. При дальнейшем действии воздуха, как уже было указано, получается вновь хлорофилл. Это новое вещество, будучи несомненно продуктом восстановления хлорофиллина, зеленого вещества хлорофилла, мною выделенного и описанного в 1869 году, может быть названо *протохлорофиллином*, или проще *протофиллином*.

Растворы этого вещества можно сохранять в запаянных стеклянных трубках с $H_2$ и $CO_2$: в последнем случае необходимо сохранять в темноте, так как на свету растворы зеленеют. Можно ли из этих фактов заключить, что окисление идет за счет $CO_2$ и что угольная кислота действительно восстановляется соединенным действием света и раствора *протофиллина*. Вопрос, если на него получится положительный ответ, настолько важный, что я пытаюсь сейчас всеми силами притти к определенному результату.

Оптические свойства *протофиллина* указывают на его присутствие в свеже-приготовленных растворах хлорофилла. Действительно, различия между спектром свеже-приготовленного и *измененного хлорофилла* Мистера Стокса можно легко объяснить присутствием в первом широкой полосы *протофиллина*, задерживающей лучи в промежутках между полосами I и II, и II и III, как только что было указано. Присутствием *протофиллина* в различных количествах можно объяснить различие в относительной резкости полос II, III и IV—факт, на который обращали внимание многие исследователи.

Во всяком случае, несомненно, что изучение этого любопытного вещества, хотя и сопровождаемое значительными трудностями, так как все операции должны происходить при полном отсутствии кислорода, и при постоянных спектроскопических наблюдениях, откроет новые пути в этих наиболее важных физиологических задачах—касающихся роли хлорофилла в разложении углелислоты, происходящем в живом растении.

Москва, Университет.

## XVII. Протофиллин в живом растении.

(Протофиллин в этиолированных растениях).

Comptes Rendus. 2-ое сентября 1889 г.

В моем первом сообщении [1]) об этом вопросе я указал на существование производной хлорофилла, получаемой при восстановлении и способной вновь регенерироваться в хлорофилл, окисляясь на воздухе. Оптические свойства этого тела дали мне возможность предположить: 1) что оно происходит из хлорофиллина, зеленого начала хлорофилла, который я выделил в 1869 г., 2) что оно должно находиться в этиолированных растениях и давать начало хлорофиллину при помощи аналогичного явления окисления [2]). Новые опыты, сделанные в апреле 1888 г., подтвердили мое предположение относительно этих двух пунктов.

I. Отправляясь от хлорофиллина (т.-е. хлорофилла, лишенного ксантофилла), мы получаем раствор протофиллина фиолетового цвета, что, впрочем, и ранее можно было предвидеть на основании положения полос поглощения в желтой и зеленой части спектра. Эти характерные полосы протофиллина соответствуют II и IV полосам хлорофилла. Окисление сказывается почти моментальным ослаблением полос II и IV и одновременным появлением полос I и III хлорофилла.

II. Чтобы доказать присутствие этого протофиллина в живом организме я поступил таким образом: ввиду того, что абсолютное количество протофиллина очень не велико, и его красящая способность гораздо слабее хлорофилла, надо было брать жидкость в очень толстом слое [3]), для того, чтобы обнаружить это вещество при помощи спектроскопа.

Я брал для этого трубку длиною 0,5 метр, закрывающуюся с обоих концов стеклянными пластинками. Семенодоли этиолированных растений растирались в маленькой ступке, содержащей алкоголь в количестве, достаточном для наполнения только что описанной трубки, при условии быстрого фильтрования. Первые опыты, хотя и подавали надежды, но были мало удовлетворительны. В спектре получались все абсорбционные полосы хлорофилла, но II полоса была все таки более резко выражена, чем обыкновенно: она была такая же, даже более резкая, чем I. Ясно было, что присутствие I полосы указывало на начало окисления.

Только увеличивая необходимые предосторожности, чтобы сохранять ростки в абсолютной темноте, мне, наконец, удалось извлечь из этиолированных ростков растворы, обладающие чистым спектром протофиллина без малейшаго следа I полосы, столь характерной для хлорофилла. Не представляло более сомнений, что протофиллин, окисляясь на свету, дает начало хлорофиллину в живом организме [4]).

Я не хотел бы упустить случая исправить две ошибки, вкравшиеся в критические заметки, направленные против моего первого сообщения. Мне приписывали утверждение, что я получил разложение углекислоты при помощи протофиллина, тогда как со всеми предосторожностями я высказал это только как предположение. Во всяком случае, факт остается установленным, что раствор протофиллина сохраняется неопреде-

---

[1]) Comptes Rendus, 1886.

[2]) Дементьевым был установлен факт, что появление хлорофилла в этиолированных растениях есть явление окисления.

[3]) Возможность пользоваться концентрированным раствором была исключена вследствие быстрого окисления протофиллина.

[4]) Хвойные, как и можно было ожидать, представляют исключение: они зеленеют, хотя бы содержались в полной темноте. Не следует ли это приписать присутствию скипидара, способствующего окислению протофиллина без содействия света.

ленное время в атмосфере углекислоты в темноте и зеленеет, превращаясь в хлорофилл, как только мы его выставим на солнце.

Наиболее вероятно предположение, что окисление происходит за счет углекислоты, но оно не исключает возможности того, что следы кислорода, от которых так трудно освободить углекислоту и которые не оказывают окисляющего действия даже после долгого пребывания в темноте на протофиллин, столь жадно соединяющийся с кислородом, оказываются достаточными, чтобы вызвать это явление при содействии света.

Прингсгейм высказал мнение, что мои исследования спектра протофиллина вполне расходятся с результатами моих предшествующих исследований, которыми установлена связь между спектром хлорофилла и разложением углекислоты. Однако легко показать, что берлинский морфолог заблуждался. Разложение углекислоты происходит в зеленых частях растения при помощи хлорофилла. Очевидно, что лучам, поглощаемым этим веществом, которое уже существует при начале реакции, должно быть приписано фотохимическое действие, а не лучам поглощаемым веществом (протофиллином), которое первоначально отсутствует и может образоваться в данном случае только как следствие восстанавливающего действие света на хлорофилл. Спектр протофиллина можно привлечь сюда только в том случае, если говорить об отношении самого протофиллина к фотохимическим реакциям, а это, повидимому, и имеет место. Характерная полоса протофиллина (полоса II) находится в оранжевой части спектра, и именно эти лучи оказываются наиболее деятельными, как это было показано недавно Рейнке в процессе зеленения этиолированных растений.

Итак, мои исследования не опровергают закона Гершеля, который лежит в основе всех наших фотохимических представлений; мои исследования спектра протофиллина дают ему еще новое применение в растительной физиологии. Процесс зеленения зависит от лучей, поглощенных протофиллином этиолированных растений, так же как разложение углекислоты зависит от лучей, поглощенных хлорофиллом зеленых растений.

## XVIII. Протофиллин естественный и протофиллин искусственный.

Comptes Rendus, 25 февраля 1895 г.

В сообщении, помещенном в последнем выпуске Acta Horti Petropolitani и озаглавленном Ueber das Protochlorophyll, Г. Монтеверде возвещает об открытии нового тела, новой производной хлорофилла, которая дает начало последнему веществу в момент зеленения этиолированных растений и которой он предлагает дать название *протохлорофилла*. Легко доказать, что этот протохлорофилл не что иное, как протофиллин, на присутствие которого в этиолированных растениях [1]) я указал. Я позволю себе указать на последовательность тех мыслей, которые привели к этому результату.

Действуя на раствор хлорофилла цинком и уксусной кислотой (Comptes Rendus, p. 686; 1886), я получил производное хлорофилла, бесцветное, желтое, цвета соломы, или красное, в зависимости от концентрации, при полном отсутствии характерной полосы I и присутствия очень резкой полосы II. Это вещество, окисляясь, особенно на свету, превращается почти моментально в хлорофилл.

Так как зеленение этиолированных растений есть явление окисления, как это показал Дементьев, то я и сделал из этого вывод, что растения эти должны заключать в себе протофиллин, который я получил восстанавливая хлорофилл. Это заключение не согласовалось с общепринятым мнением ботаников, которые, вслед за Прингсгеймом, считали, что в этиолированных растениях существует вещество, обладающее непременно теми же оптическими свойствами, что и хлорофилл, и которые условились называть *этиолином*. Легкость, с которой на свету происходит окисление протофиллина, заставила меня предположить, что во всех исследованиях красящего вещества в этиолированных растениях упускали из виду условие—помещать растение в полную темноту. Увеличивая необходимые предосторожности, сначала я получил смесь хлорофилла и протофиллина, и только после того, как мне удалось получить вещество, не представляющее ни следа I полосы хлорофилла, а ясно выраженную полосу II протофиллина, я думал, что могу себя считать в праве объявить об открытии протофиллина в живом организме. Моментальное выставление на свет этиолированных растений достаточно было для того, чтобы спектроскопом обнаружить превращение протофиллина в хлорофиллин. В следующей таблице сопоставлены главные сходства двух веществ.

Вследствие того, что о некоторых подробностях я умалчиваю, Г. Монтеверде считает эти подробности отличающими его протохлорофилл от моего протофилллина, как естественного, так искусственного. Вот эти подробности.

I. Протохлорофилл Г. Монтеверде дает следы линии III („очень слабую полосу III“). Следы этой линии я отлично заметил как в естественном протофиллине, так и в протофиллине, полученном путем восстановления, где они сохраняются даже долее, чем линия I, и исчезают только при продолжительном восстановлении. Поэтому я их считаю в обоих случаях случайными.

---

[1]) La Protophilline dans les plantes Ètiolées, Comptes Rendus, T. CIX, p. 414, 1889. A. Gautier. Chimie Biologique, p. 25—26.

Искусственный протофиллин имеет еще полосу II. Трудно определенно сказать что-либо об ее присутствии в спектре естественного протофиллина, т. к. эта часть спектра естественно замаскирована ксантофиллом.

| Искусственный протофиллин. | Естественный протофиллин. |
|---|---|
| 1) Превращается, окисляясь (особенно на свету) в хлорофиллин. | 1) Превращается в хлорофиллин, окисляясь на свету в живом растении. |
| 2) Не имеет спектра хлорофилла. | 2) Не имеет спектра хлорофилла. |
| 3) Бесцветен в слабом растворе; желтый или красный в концентрированном растворе. | 3) Бесцветен, желтый или красный в зависимости от толщины слоя жидкости. |
| 4) Концентрированный раствор характеризуется присутствием резкой полосы II. | 4) В толстом слое дает резкую полосу II [1]). |
| 5) Представляет красную флуоресценцию гораздо более слабую, чем хлорофилл. | 5) Представляет красную флуоресценцию менее ясно выраженную. |

II. Положение II линии протохлорофилла не вполне соответствует положению линии II хлорофилла и потому, заключает Г. Монтеверде, также не вполне соответствует и линии II искусственного протофиллина. Но я нигде точно не обозначал положения линии II в естественном протофиллине, и она находится именно там, где ее нашел Г. Монтеверде. Что же касается до искусственного протофиллина, то я особенно подчеркнул (Comptes Rendus, T. CII, p. 686, 1886), что спектр его изменяется в зависимости от степени восстановления. Линия II меняет место в широких пределах и может даже раздвояться. В некоторых случаях положение линии II вполне соответствует положению этой линии в естественном протофиллине. Следовательно, в действительности есть только сходные черты, не имеющие к тому же существенного значения, которое я мог и даже должен был обойти молчанием вследствие предъявляемого для сообщений в Comptes Rendus требования лаконичности изложения.

Остается еще один существенный пункт, который необходимо выяснить для того, чтобы дополнить аналогию между протофиллином искусственным и естественным. Этот последний моментально окисляется на свету в живом растении, но не представляет того же явления в спиртовых растворах [1]).

Я бы, конечно, не оставил без внимания эту сторону явления, столь важную для физиологии хлорофилла, если бы я не узнал, что ранее меня сделал это Фогель, которому удалось получить зеленение спиртовых вытяжек из этиолированных растений. Я не считал себя вправе работать в том направлении, в котором другой исследователь оказался счастливее меня.

Я могу в следующих выражениях резюмировать соображения по поводу двух вопросов, которые необходимо точно выяснить:

1. Протохлорофилл Г. Монтеверде одинаков с моим естественным протофиллином.

2. Нет существенной разницы между искусственным и естественным протофиллином. Остается точно определить специальные условия, при которых происходит окисление протофиллина, как в растворе, так и в живых организмах.

---

[1]) Не следует слишком настаивать на этом различии, так как множество растений зеленеет помимо действия света, и раствор искусственного протофиллина оказывается чувствительным к свету (Comptes Rendus, p. 414, 1889).

## XIX. Зависимость усвоения углерода от интенсивности света.

(Связь между напряжением лучистой энергии солнца и разложением угольной кислоты растениями).

Comptes Rendus, 26 августа 1889 года.

После того, как моими предшествующими исследованиями [1]) было установлено качественное соотношение между разлагающим действием лучей и оптическими свойствами хлорофилла, я обратил внимание на количественное отношение между интенсивностью лучей и энергией химического процесса. Много известных ученых занимались этим вопросом, не придя однако к какому нибудь удовлетворительному соглашению.

Различные мнения высказанные по этому вопросу могут быть так формулированы.

1) Действие разложения пропорционально интенсивности света [2]); 2) оно возрастает с увеличением интенсивности; но гораздо ранее чем достигается интенсивность, соответствующая непосредственной инсоляции, оно значительно ослабевает, действие непосредственной инсоляции может быть рассматриваемо как вредное [3]); 3) действие разложения при помощи света увеличивается до прямой инсолации, достигнув ее, остается неизменяемым [4]); 4) оно увеличивается до известного напряжения лучей, которое значительно меньше прямой инсоляции. Я сейчас же скажу, что это последнее соотношение первый раз было высказано Крейслером, оно подтверждается моими исследованиями, которые я произвожу в течение нескольких лет.

Очевидно, что для того, чтобы установить действительное соотношение между явлением химическим и действием солнечных лучей, надо устранить всякое второстепенное действие, как, например, избыток нагревания или избыток излишнего испарения, сопровождаемого, в свою очередь, засыханием, которое, как это показал Буссенго, ведет к дальнейшему уменьшению способности разлагать углекислоту.

Для того, чтобы избежать причины этих ошибок, надо сократить насколько возможно время экспозиции. Этого удалось мне достигнуть, пользуясь методом газового анализа, специально приспособленного для анализа малых количеств газа [5]).

Общее расположение опыта было такое: в темной комнате при помощи большого гелиостата Фуко и линзы получается пучек расходящихся лучей; в этом конусе лучей, на оптической скамье, длиною в два метра, помещаются приборы, которые дальше будут описаны, содержащие зеленые органы, поставленные таким образом, что интенсивность света может быть выражена следующими цифрами: 1; 1/2; 1/4; 1/9; 1/16; 1/25; 1/36, при чем за 1 принята непосредственная инсоляция.

В первом ряду опытов (летом 1885 года) водяное растение (большой лист Potamogeton Lucens) было последовательно выставляемо в различных частях светового конуса, о котором была уже речь. Каждая экспозиция продолжалась одну минуту, и собранный газ анализировался при помощи микроэвдиометрического метода [6]). В следующем ряду опытов (1887—1888) четыре трубки, опрокинутые над ртутью и содержащие одну и ту же смесь воздуха и угольной кислоты и кусочки листьев одинаковой поверхности, вырезанные из одной и той же пластинки, были одновременно расположены

---

[1]) Comptes Rendus 1877, 1883, 1885.
[2]) M. Volkoff, M. Van-Tigem, M. Peyron.
[3]) Cloëz и недавно Фаминцын.
[4]) M. Reinke.
[5]) Annales de Chimie et de Physique, 1877. Annales des Sciences Naturelles, 1885.
[6]) Annales des Sciences Naturelles, 1885.

в разных местах оптической скамьи. На этот раз экспозиция продолжалась от пятнадцати до двадцати минут и анализ производился моим прибором, описанным в Annales de Chimie et de Physique 1877 г.

Эти два ряда опытов, сделанные в различное время, при помощи различных методов анализа над растениями, живущими в различных средах, дали результаты вполне согласные; это доказывает, что мы можем рассматривать эти результаты, как выражающие общий закон.

Если отложить световое напряжение на оси абсцисс (непосредственная инсоляция = 1) и на оси ординат откладывать количества разложенной углекислоты, то средняя из всех этих опытов (заключающая в себе приблизительно 200 анализов) выражается кривой abc.

Как видно, разложение углекислоты наростает сначала быстро, затем все более и более медленно, достигает максимума, соответствующего около половины прямой инсоляции, и становится определенно стационарной.

Естественно, является вопрос какая причина лежит в основе такой странной формы кривой, которая указывает на соотношение между напряженностью световых лучей и энергией физиологического или скорее фото-химического явления, происходящего в листе. Мне кажется, здесь опять объяснение нам дадут оптические свойства хлорофилла. Действительно, в другом ряде опытов, сделанных при помощи особого аппарата, который можно назвать фито-актинометром, мне удалось измерить ту часть солнечной энергии, которая поглощается хлорофиллом одного листа. Не вдаваясь в подробности, я укажу только, что эта доля может считаться за 20 — 25 процентов полного количества лучистой энергии, с другой стороны — установлено, что максимум солнечной энергии, слагающийся в запас листом (т. е. превращенный в химическую работу), не превышает никогда 5% [1]).

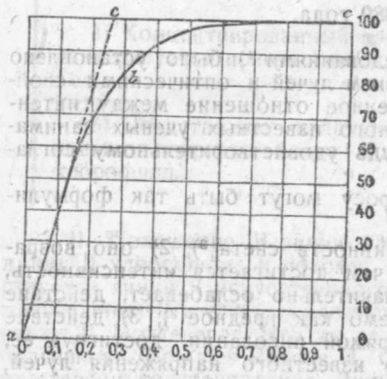



Рис. 1.

Очевидно, что известному напряжению света (около 1/4 или 1/5 прямой инсоляции) соответствует точка C на кривой, в которой лучистая энергия нацело превращается в химическую работу. При уменьшении интенсивности света (C) количества лучистой энергии будет недоставать, и кривая вследствие этого будет быстро опускаться. Энергия разложения будет приблизительно пропорциональна интенсивности света.

В противном случае, если энергия будет поступать в избытке, кривая пойдет приблизительно параллельно оси абсцисс [2]). Это объяснение мне представляется весьма вероятным, оно нам лишний раз указывает, что в оптических свойствах хлорофилла надо искать объяснения главных законов соотношения действия света и усвоения углерода растением. Чтобы ни было, общие результаты, вытекающие из только что установленных фактов, найдут важное применение в ботанической географии, земледельческой метеорологии и вообще в растительной биологии. За неимением места я не могу развить эти результаты так, как это следовало бы, а также привести мои соображения, на основании которых эти результаты согласны с полученными искусными экспериментаторами, которые мне предшествовали на этом пути, принимая во внимание отличие в условиях, в которых я работал.

Карело-Финская База
Академии Наук СССР
БИБЛИОТЕКА

[1]) Существование этого предела факт эмпирический, ожидающий теоретического объяснения.

[2]) Очевидно, что точка C смещается в зависимости от высоты солнца и от количества хлорофилла, заключенного в зеленом органе.

1847
378

## XX. Фотографическая регистрация усвоения углерода хлорофиллом на живом растении.

Comptes Rendus, 23 июня 1890 года.

В целом ряде сообщений, представленных в Академию, мною было установлено при помощи газометрического анализа, что именно те лучи спектра, которые поглощаются хлорофиллом, производят разложение углекислоты в зеленых частях растений. Я только что нашел новый метод для того, чтобы доказать этот факт, пользуясь живым организмом, как саморегистрирующим фотографическим аппаратом.

„Если рассматривать отлагающийся крахмал в зернах хлорофилла, как непосредственный продукт органического синтеза, получаемого в результате разложения углекислоты, то невольно напрашивается такое предположение: в листе, на который в течение значительного промежутка времени был отброшен спектр достаточно яркий, должно находиться количество крахмала в полном соответствии со спектром поглощения хлорофилла, что я и старался доказать; но первые предварительные опыты в этом направлении летом 1888 и 1889 г.г. не дали удовлетворительных результатов, вероятно, вследствие малой продолжительности экспозиции, может быть, также вследствие того, что я употреблял листья, отрезанные от растения [1]).

Но благодаря исключительно хорошей погоде этого года, которая делала возможной беспрерывную экспозицию от 3 до 6 часов, я мог достигнуть результатов, которые не оставляют желать ничего лучшего.

Не вдаваясь в подробности, я ограничусь указанием на общее расположение опыта.

На лист, сохраняющий связь с растением, который в течение двух-трех дней находится в темноте (для того, чтобы из него исчезли последние следы крахмала, заключающегося в зернах хлорофилла), отбрасывается в темной комнате резко очерченный спектр, получаемый при помощи гелиостата Зильбермана, ахроматической линзы и призмы a vision directe. Две маленькие полоски бумаги приклеены к листу, с отмеченными на них главными фраунгофферовыми линиями, служат для определения положения в спектре, который не должен смещаться во время экспозиции.

Невидимое изображение, получаемое благодаря отложению крахмала, обнаруживается при помощи быстрого обесцвечивания листа кипящим алкоголем и последующей обработки иодной тинктурой. Таким образом, получается на фоне бледно-желтого листа изображение спектра хлорофилла, нарисованного как бы карандашем или китайской тушью. Характерная полоса (полоса I) резко обозначена, поглощение в оранжевой и желтой части представляет полутень, которая ослабевает и исчезает немного позади линии D. Итак, этот спектр, который на живом листе регистрирует образование крахмала, вполне соответствует кривой, выражающей интенсивность разложения углекислоты, и которую я получил более точным методом—газового анализа [2]). Оба результата представляют полное соответствие и подтверждают неопровержимым образом связь между спектром поглощения хлорофилла и его физиологическим действием.

В обоих случаях я не мог обнаружить действия впоростепенных полос (II, III, IV), интенсивность которых значительно менее, чем I-й полосы. Возможно, впрочем, что они не имеют непосредственного отношения к разложению углекислоты.

[1]) Превращение крахмала в растворимые углеводы, их передвижение в места потребления, будучи явлениями непрерывными и независимыми от образования крахмала в зернах хлорофилла, делали очевидным, что продолжительная и непрерывная инсоляция представляет собою одно из необходимых условий успеха опыта. При слабом свете, каким является по необходимости свет спектра, и при перерывах в освещении, превращение крахмала, в особенности, в промежутке времени, когда растение погружается в темноту, может скрыть его образование.

[2]) Recherches sur la decomposition de l'acide carbonique dans le spectre etc. Annales de Chimie et de Physique. V serie T. XII. 1877.

19481
926

# СОДЕРЖАНИЕ.

Предисловие.

**I. Публичные лекции.**

1. Растение и солнечная энергия . . . . . 1886.
   а) Круговорот углерода . . . . . 1883.
   б) Почему и зачем растение зелено . . . . . 1886.
2. Растение, как источник силы . . . . . 1875.
3. Растение—Сфинкс . . . . . 1885.
4. Фотография природы и фотография в природе . . . . . 1895.

**II. Речи.**

1. Действие света на хлорофилловое зерно (с французского). Речь, читанная на международном конгрессе ботаников во Флоренции в 1874 г.
2. О физиологическом значении хлорофилла. Речь, читанная в общем заседании VI Съезда русских естествоиспытателей и врачей в Петербурге в 1879 г.
3. Современное состояние наших сведений о функции хлорофилла (с французского). Речь, читанная на международном конгрессе ботаников в Петербурге в 1884 г.
4. Космическая роль растения (с английского). Речь, читанная в Лондонском Королевском Обществе в 1903 г.

**III. Исследования.**

1. Прибор для исследования воздушного питания листьев.
2. Значение лучей различной преломляемости в разложении углекислоты растением (с немецкого).
3. Спектральное исследование хлорофилла.
4. Спектральный анализ хлорофилла.
5. Усвоение света растением.
6. Спектр живых листьев и микроспектр.
7. Разбор теории Принсгейма (о желтых пигментах).
8. Разбор теории Принсгейма (о физиологическом значении хлорофилла).
9. Зависимость фотохимического действия от амплитуды световой волны.
10. Фотохимическое действие крайних лучей спектра.
11. О разложении углекислоты (с французского).
12. О распределении энергии (с французского).
13. Химическое и физиологическое действие света (с французского).
14. Искусственный протофиллин (с французского).
15. Бесцветный хлорофилл (с английского).
16. Восстановленный хлорофилл (с английского).
17. Протофиллин в живом растении (с французского).
18. Протофиллин искусственный и естественный (с французского).
19. Зависимость усвоения углерода от интенсивности света (с французского).
20. Фотографическая регистрация усвоения углерода хлорофиллом на живом растении (с французского).

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

**МОСКВА — ПЕТРОГРАД**

**Пименова, Э. К.** — Голодовка у Северного полюса. (История одной полярной экспедиции). 107 стр. Ц. 25 к.

**Пименова, Э. К.** — Горы и их победители. История восхожд. на горные вершины. 96 стр. Ц. 55 к.

**Покровский, С.** — Черная царица и ее народ. История одного муравейника. 66 стр. Ц. 16 к.

**Порецкий, С. А.** — Растения-дармоеды. 62 стр. Ц. 20 к.

**Порецкий, С. А.** — Растение и свет. 95 стр. Ц. 30 к.

**Порецкий, С. А.** — Друзья растений. 139 стр. Ц. 45 к.

**Роско, Е.** — Химия. 120 стр. Ц. 15 к.

**Синицын, Д.** — Лекции по биологии. Часть I. Законы жизни. 248 стр. Ц. 1 р.

**Smith, A.** — Введение в химию. Перевод с немецк. П. Лебедева. 178 стр. Ц. 50 к.

**Тимирязев, К. А.** — Значение науки. (Луи Пастёр). 54 стр. Ц. 15 к.

**Тимирязев, А. К.** — Философия науки. Естественно-научные основы материализма Часть I — Физика. Вып. I. 178 стр. Ц. 70 к.

**Фламмарион, К.** — Общедоступная астрономия. 245 стр. Ц. 80 к.

**Чижов, Е.** — Звездные вечера. 152 стр. Ц. 25 к.

**Эккардт, В.** — Климат и жизнь. (Биоклиматология). Перевод с немецкого В. И. Розанова. 102 стр. Ц. 50 к.

ТОРГОВЫЙ СЕКТОР ГОСУДАРСТВЕННОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА.

**Москва, Ильинка, Биржевая пл., Богоявленский, 4.** | **Петроград, Просп. 25 Октября, 28.**

**ОТДЕЛЕНИЯ:**

ВОЛОГДА, Площадь Свободы; ВОРОНЕЖ, Проспект Революции, 1-й дом Совета; КАЗАНЬ, Гостинодворская, Гостиный Двор; КИЕВ, Крещатик, 34; КОСТРОМА, Советская, 11; КРАСНОДАР, Красная, 33; НИЖНИЙ-НОВГОРОД, Б. Покровка, 12; ОДЕССА, ул. Лассаля, 12; ПЕНЗА, Интернациональная, 39/43; РОСТОВ-НА-ДОНУ, ул. Фридриха Энгельса, 106; САРАТОВ, зд. Совета; ТАМБОВ, Коммунальная ул., 14; ТИФЛИС, Проспект Руставели, 16; ХАРЬКОВ, Московская, 20.

**Магазины в Москве:**

1) Советская площадь (под гост. „Дрезден"); 2) Моховая, 17 (под гост. „Националь"); 3) Больш. Никитская, 13 (здание консерватории); 4) Никольская ул., 3; 5) Серпуховская площ., 1/43; 6) Кузнецкий мост, 12.

**Магазины в Петрограде:**

1) Проспект 25 Октября (Невский), 28; 2) Проспект 25 Октября, 13; 3) Проспект Володарского (б. Литейный), 53.

Петроблит № 7585.