

К. Тимирязев

**Космическая роль
растения**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 57
ББК 28
К11

К11 **К. Тимирязев**
Космическая роль растения / К. Тимирязев – М.: Книга по Требованию, 2016. –
48 с.

ISBN 978-5-458-59257-4

ISBN 978-5-458-59257-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2016

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2016

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

луча. Максимумъ энергіи лежитъ, какъ извѣстно, въ инфра-красной части призматическаго спектра, а замѣчательные опыты Кальете (почему-то почти всегда опускаемые въ многочисленныхъ историческихъ очеркахъ нашего вопроса) несомнѣнно доказали, что темные тепловые лучи, профильтрованные черезъ извѣстный Тиндалевскій растворъ іода въ сѣроуглеродѣ, не могутъ вызывать разложенія угольнаго ангидрида въ зеленомъ листѣ.

Нужно было привлечь къ объясненію явленія какой-нибудь новый физическій принципъ, который одновременно давалъ бы объясненіе и для распредѣленія явленія въ видимомъ спектрѣ, и для его отсутствія за краснымъ предѣломъ спектра.

Принципъ, къ которому обратились, былъ такъ называемый законъ сэра Джона Гершеля, гласившій, что фотохимическое дѣйствіе можетъ быть вызвано только лучами, поглощаемыми измѣняющимся тѣломъ и потому, какъ общее правило, представляющими комплементарный ему цвѣтъ ¹⁾. Предполагалось, что въ примѣненіи къ настоящему случаю законъ Гершеля значилъ, что разложеніе угольнаго ангидрида должно происходить на счетъ тѣхъ лучей спектра, которые поглощаются зеленымъ веществомъ листа, что эти лучи должны соответствовать абсорбціоннымъ полосамъ въ спектрѣ хлорофила.

Обыкновенно приписываютъ Ломмелю мысль, что разложеніе угольнаго ангидрида должно быть рассматриваемо какъ функція относительной энергіи даннаго луча и степени его поглощенія хлорофиломъ. Но это мнѣніе, несмотря на его распространенность, вполнѣ ложно. Ломмель самъ признаетъ, что первая половина предложенія, касающаяся зависимости разложенія отъ энергіи, была высказана мною: «Тимирязевъ высказалъ половину истины». Я могу прибавить: не только «высказалъ», но и доказалъ экспериментально. А если я не могъ высказать второй половины, т.-е. касательно зависимости отъ поглощенія, то по той простой причинѣ, что она уже была высказана до меня, а слѣдовательно, тѣмъ болѣе до Ломмеля—Жаменомъ и Едмондомъ Бекерелемъ, и можно только удивляться, что Ломмель—физикъ, не былъ знакомъ съ извѣстнымъ учебникомъ физики Жамена и не менѣе извѣстной книгой Бекереля «*La Lumière, ses causes et ses effets*».

Но, конечно, главное дѣло не въ томъ, чтобы высказать мысль, хотя бы и вполнѣ вѣрную, а въ томъ, чтобы подтвердить ее на опытъ. *Nullius in verba* ²⁾ теперь, какъ и столѣтія тому назадъ,

¹⁾ Законъ этотъ еще ранѣе былъ высказанъ Гротгусомъ, въ Мятавѣ.

²⁾ Девизъ королевскаго общества.

должно быть руководящимъ правиломъ всякаго изслѣдователя. Другими словами, нужно было повторить знаменитый опытъ Дрепера, избѣжавъ его ошибки, а въ этомъ и заключалось главное затрудненіе. Обыкновенно принято также считать, что это было осуществлено въ первый разъ моимъ старымъ другомъ, профессоромъ Н. К. Мюллеромъ. Но, къ сожалѣнію, и на этотъ разъ я не могу подтвердить ходячаго мнѣнія. Дѣло въ томъ, что Мюллеръ не доставилъ этого прямого доказательства о связи между поглощеніемъ свѣта листомъ и совершающимся въ немъ химическимъ процессомъ, да и не могъ сдѣлать этого, такъ какъ не располагалъ единственнымъ средствомъ избѣжать ошибки Дрепера. Въ своей первой работѣ, появившейся ранѣе моей, онъ экспериментировалъ въ довольно чистомъ спектрѣ, но тогда напряженіе свѣта не было достаточно велико и онъ *не получилъ разложенія угольнаго ангидрида*, а заключалъ о немъ лишь на основаніи различія въ интенсивности обратнаго процесса дыханія (т. - е. *образованія углекислоты*). Во второй работѣ, появившейся уже послѣ моего изслѣдованія, онъ могъ прямо констатировать разложеніе углекислоты, но только цѣною чистоты своего спектра—ширина его щели была почти та же, что у Дрепера, и результатъ былъ почти тотъ-же, т.-е. главный максимумъ разложенія оказался въ желтыхъ лучахъ.

Если я позволяю себѣ останавливаться подробнѣе на этомъ вопросѣ, то не изъ тщеславнаго желанія установить свой приоритетъ, но на основаніи твердаго убѣжденія, что избранный мною путь остается и теперь, какъ былъ тогда, единственнымъ средствомъ избѣжать ошибки Дрепера. Мюллеръ не придумалъ никакого средства избѣжать, а слѣдовательно, и не могъ избѣгнуть этой ошибки. Дилемма, такъ ясно обнаруживаемая двойной неудачей Мюллера, заключалась въ слѣдующемъ: если спектръ чистъ, напряженіе свѣта недостаточно для обнаруженія разложенія угольнаго ангидрида; если, наоборотъ, мы широко раскроемъ щель и увеличимъ напряженіе свѣта въ спектрѣ, мы можемъ быть впередъ увѣрены, что получимъ максимальное дѣйствіе въ срединѣ спектра, въ его желто-зеленой части. Существовало только одно средство избѣжать обоихъ роговъ этой дилеммы—увеличить интенсивность чистаго спектра, уменьшивъ его размѣры, но тогда и листовыя поверхности, выставлемыя въ спектрѣ, были бы соотвѣтственно уменьшены, а слѣдовательно, и количества газовъ, съ которыми пришлось бы оперировать, были бы слишкомъ малы для ихъ измѣренія при помощи тѣхъ газометрическихъ приѣмовъ, которые химія того времени могла предложить къ услугамъ ботаника.

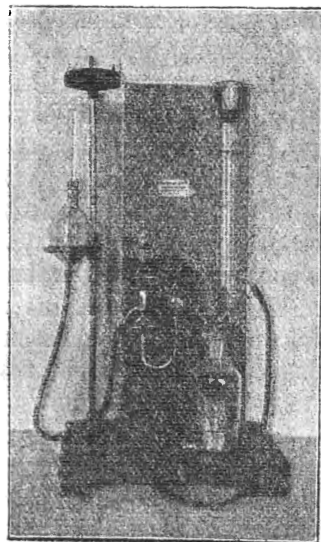
Главная задача, слѣдовательно, сводилась къ тому, чтобы, такъ

сказать, измѣнить масштабъ газометрическихъ измѣреній, не поступившись точностью методы и удобствами операций. Хотя я съ той поры не разъ мѣнялъ подробности устройства приборовъ, основаніе придуманной мною методы газоваго анализа осталось то же самое. Листья вводятся въ цилиндрическія трубки потребнаго діаметра, а еще лучше—въ плоскія трубки ¹⁾ (чѣмъ достигается увеличеніе поверхности листа), а газы измѣряются и анализируются въ трубкахъ наименьшаго возможнаго діаметра.

Всѣ необходимыя манипуляціи—переливаніе газовъ и ихъ обработка реактивами—достигаются при помощи предложенной мною въ 1871 году газовой пипеты, которую я до сихъ поръ считаю наиболѣе удобной (фиг. 2). Она представляетъ прочное сочетаніе пипеты и ртутной вапны, благодаря чему восходящему концу сифонапипеты можно сообщить такой малый наружный (не выше $1\frac{1}{2}$ миллиметра) діаметръ, что онъ можетъ проникать въ измѣрительныя трубки въ 2 миллиметра внутренняго діаметра. Достоинства этого пріема заключается и въ томъ, что газы не встрѣчаютъ на пути ни крапа, ни каучуковой трубки.

Всѣ необходимыя операціи сводятся вкратцѣ къ слѣдующему: благодаря видоизмѣненной мною формѣ Бунзеновскаго газометра, приготовляемая въ немъ смѣсь воздуха и углекислоты, проходя чрезъ еще особую пипетку, такъ сказать, рѣжется на ломти потребнаго объема и распределяется по плоскимъ трубкамъ съ листьями. Послѣ достаточной экспозиціи въ спектрѣ газы отбираются при помощи выше описанной пипеты и приводятся для анализа въ упомянутыя измѣрительныя трубки, позволяющія измѣреніе съ точностью до $\frac{1}{1000}$ кубическаго сантиметра.

Благодаря этимъ приспособленіямъ задача полученія *достоверныхъ аналитическихъ* данныхъ съ зелеными поверхностями, подвергнутыми дѣйствію *чистаго* спектра, была въ первый разъ разрѣшена, и я считаю до сихъ поръ этотъ методъ единственнымъ заслуживающимъ полнаго довѣрія.



Фиг. 2.

¹⁾ Я ихъ употребляю съ 1870 года.

Дѣйствительно, два другіе пріема, которые примѣнялись для разрѣшенія этой задачи, несравненно менѣе точны. Счетъ пузырьковъ газа выдѣляемыхъ при этихъ условіяхъ водяными растеніями (что можно очень красиво демонстрировать въ проложеніи при помощи волшебнаго фонаря)¹⁾, хотя бы измѣряли ихъ діаметръ, какъ это дѣлалъ въ послѣднее время Коль не можетъ быть предложенъ какъ сколько-нибудь точный способъ. Правда, мы можемъ получить значительно болѣе надежные результаты, воспользовавшись моимъ *микровѣдометромъ* — маленькимъ аппаратомъ, позволяющимъ въ нѣсколько минутъ собрать и подвергнуть анализу пузырьки газа не болѣе булавочной головки, но и въ этомъ случаѣ источники погрѣшности, проистекающіе отъ водяной среды, въ которой производится опытъ, хотя и сведенные на *minimum*, все же не могутъ быть вполне устранены.

Что касается до третьяго пріема, до пресловутаго опредѣленія кислорода при помощи бактерій, предложеннаго Энгельманомъ, то я продолжаю придерживаться того мнѣнія, что этотъ пріемъ слишкомъ окольного свойства, и остаюсь при убѣжденіи, что химическіе вопросы должны разрѣшаться химическими методами. Къ тому же мы вскорѣ будемъ имѣть случай наглядно убѣдиться, какъ мало можно полагаться на этотъ пріемъ изслѣдованія.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что только выработка газометрическаго метода, позволяющаго измѣреніе и анализъ очень малыхъ количествъ газа, дала возможность изучить процессъ разложенія углекислоты въ чистомъ спектрѣ.

Но было еще два предварительныхъ вопроса, которые необходимо было разрѣшить, прежде чѣмъ приступить къ изученію этого основного вопроса о связи между фотохимическимъ процессомъ и поглощеніемъ свѣта въ зеленомъ листѣ. Нужно было изучить спектры поглощенія хлорофила и его ближайшихъ составныхъ началъ точнѣе, чѣмъ это было сдѣлано до тѣхъ поръ. Не стану приводить здѣсь результатовъ моего, напечатаннаго въ 1871 году, на русскомъ языкѣ изслѣдованія, въ которомъ я пытался въ первый разъ классифицировать эти тѣла на основаніи ихъ спектроскопическихъ признаковъ, — скажу только, что позднѣйшія изслѣдованія, въ особенности Гартлея, Шунка и Морхлевскаго, ихъ подтвердили въ основныхъ чертахъ. Остановлюсь только на способѣ изображенія спектровъ, который я тогда въ первый разъ ввелъ и старался усовершенствовать до самаго послѣдняго времени. До тѣхъ поръ абсорп-

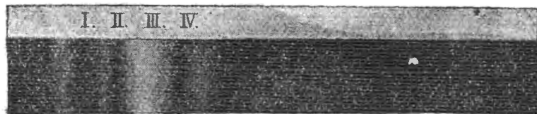
¹⁾ Этотъ пріемъ демонстрація, описанный мною лѣтъ двадцать тому назадъ, года два тому назадъ Пфефферъ приписалъ себѣ.

ционные 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 характеризующия вещество (фиг. 6). Для этих наблюдений я предложил в различное время несколько аппаратов. Позднѣе я отказался от этого хлопотливаго послѣдовательнаго зарисовыванія спектровъ, все же оставляющаго просторъ для субъективныхъ ошибокъ, и замѣнилъ его непосредственнымъ нагляднымъ наблюдениемъ этихъ спектрограммъ въ *клиновидныхъ* сосудахъ (способъ, если не ошибаюсь, въ первый разъ примененномъ покойнымъ профессоромъ Гладстономъ), и, наконецъ, мнѣ удалось осуществить самый удобный и вполне объективный приемъ изслѣдованія спектровъ въ формѣ этихъ *фотоспектрограммъ*.

Первыя фотографіи хлорофилловаго спектра я получилъ еще въ 1892 году на обыкновенныхъ Ильфтордовскихъ пластинкахъ (фиг. 3)¹⁾, при продолжительной экспозиціи (въ нѣсколько минутъ), съ желтымъ светофильтромъ, но теперь предпочитаю замѣчательныя по своей ортохроматичности и отсутствію полосъ поглощенія пластинки Кадета—*Spectrum*. Наиболее удобная форма клиновиднаго прибора, которую я окончательно выработалъ,—та, которая изображена здѣсь (фиг.—45). Кубическій сосудъ, раздѣленный диагональной перегородкой на два призматическія отдѣленія, наполняется съ одной стороны растворомъ, съ другой—растворителемъ. Щель можетъ вращаться такъ, что по желанію можно фотографировать или спектръ любой концентраціи, или полную спектрограмму. Въ послѣднемъ случаѣ удобнѣе давать щели *горизонтальное* положеніе, такъ какъ при этомъ условіи легко приготовить растворъ желаемой концен-



Спектръ хлорофиза нормальнаго.

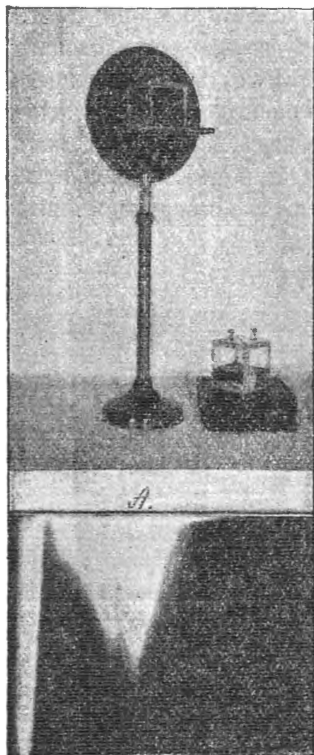


Фиг. 3. Спектръ хлорофиза измѣненнаго.

¹⁾ И превосходныхъ пластинкахъ, изготовлявшихся въ то время нашимъ известнымъ фотографомъ А. Эйхенвальдомъ.

трации и можно воспользоваться подвижной спанкой (swing back) камеры для наведения всѣхъ частей спектра на фокусъ. Въ этихъ фотоспектрограммахъ мы, конечно, имѣемъ наилучшее средство изображенія спектровъ, но, какъ мы увидимъ далѣе, въ нѣкоторыхъ слу-

Фиг. 4.



В

Фиг. 5.

чаяхъ мнѣ приходилось прибѣгать къ еще другому приему — *спектрофотометрическому*.

Возвращаясь къ нашей основной задачѣ, мы видимъ, какъ существенно важно было знать дѣйствительную форму абсорпціонной кривой. Такъ какъ всѣ до той поры изображаемые спектры были прерывчатые (т.-е. состояли изъ темныхъ и свѣтлыхъ полосъ), то трудно было себѣ объяснить, почему (какъ въ опытахъ Дрепера), химическое дѣйствіе распределялось въ спектрѣ непрерывно ¹⁾.

Только вооружившись этими газометрическими и спектроскопическими приемами, я могъ, наконецъ, повторить классическій опытъ Дрепера, не опасаясь впасть въ его ошибку. Въ результатѣ моего изслѣдованія явилось полное подтвержденіе примѣнимости закона Гершеля къ нашему случаю. Не только оба максимума вполне совпадаютъ, но и кривая разложенія вполне воспроизводитъ кривую поглощенія свѣта, по крайней мѣрѣ въ наименѣе преломляющейся части спектра (фиг. 6 верхъ). Можно замѣтить, что вторичныя абсорпціонныя максимума, повидимому, не отражаются на химическомъ процессѣ, но еще подле-

жить сомнѣнію (особенно послѣ послѣднихъ изслѣдованій Шунка и Морхлевскаго), принадлежать ли эти линіи главному составному началу хлорофила или какому-нибудь изъ его продуктовъ разложенія.

Тотъ же самый результатъ, какъ въ только что изложенномъ опытѣ, я получилъ позднѣе и при помощи совершенно иного ме-

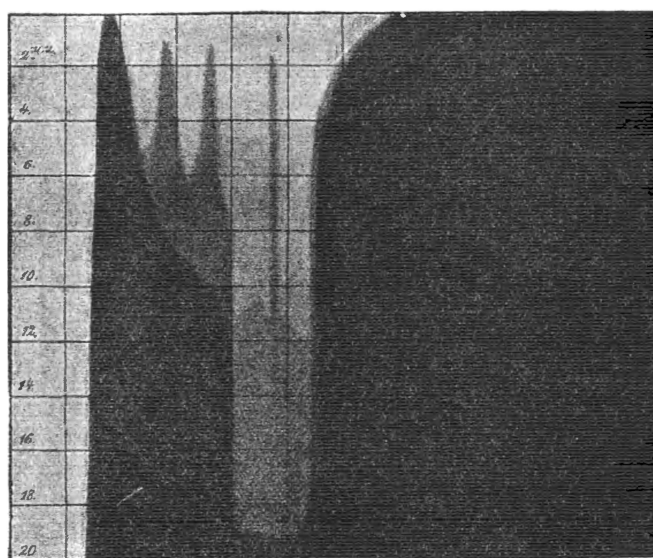
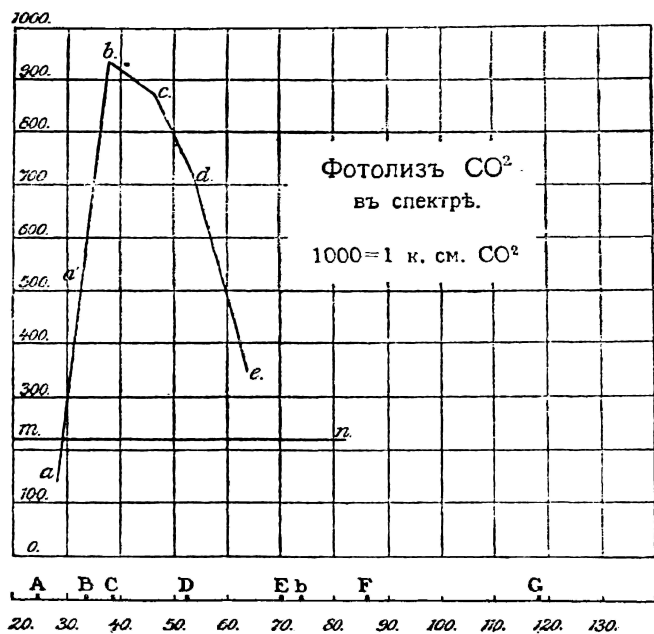
¹⁾ Ломмель на основаніи такого недостаточнаго знакомства со спектромъ, и высказывалъ мнѣніе, что химическое дѣйствіе въ спектрѣ должно быть прерывчатое.

тогда. Разложение угольного ангидрида, изображенное на чертежѣ (фиг. 6 верхъ) *фотолизъ*, какъ правильнѣе всего называть этотъ процессъ, представляетъ начальную и конечно самую важную часть этого процесса, такъ какъ именно онъ зависитъ отъ дѣйствія внѣшняго источника энергіи. За ней весьма быстро слѣдуетъ процессъ *фотосинтеза*, т.-е. образованія органическаго вещества. Хотя благодаря блестящимъ изслѣдованіямъ Брауна и Мориса, мы теперь знаемъ, что крахмалъ не представляется не только исключительнымъ, но, можетъ быть, даже и главнымъ *ближайшимъ* продуктомъ этого синтеза, тѣмъ не менѣе это — продуктъ появляющійся уже черезъ нѣсколько минутъ послѣ перваго проявленія разложенія углекислоты, а главное — это продуктъ, присутствіе котораго можетъ быть легко обнаружено при помощи реакціи съ іодомъ.

Если разложение угольного ангидрида должно быть разсматриваемо какъ функція тѣхъ свѣтовыхъ волнъ, которыя соотвѣтствуютъ полосамъ поглощенія хлорофила, а съ другой стороны, образованіе крахмала — какъ слѣдующая стадія того же фотохимическаго процесса, то естественно предположить, что образованіе крахмала въ спектрѣ будетъ строго локализовано, будетъ также ограничиваться мѣстами, соотвѣтствующими абсорбціоннымъ полосамъ хлорофила. Другими словами, должно ожидать, что если спектръ достаточной интенсивности будетъ отброшенъ на живой листъ, предварительно лишенный крахмала, то онъ отпечатаетъ въ этомъ листѣ невидимое изображение — спектръ хлорофила, образованный микроскопическими зернами крахмала. Это скрытое изображение можетъ быть затѣмъ проявлено при помощи реакціи съ іодомъ.

Это мое предположеніе было вполне подтверждено слѣдующимъ опытомъ. Здоровые и находящіеся въ связи съ растеніемъ листья Гортензіи, предварительно лишенные крахмала, послѣ 5—6-часовой экспозиціи въ очень интенсивномъ и чистомъ спектрѣ были подвергнуты извѣстной іодной пробѣ на крахмалъ. Они представили вполне отчетливый спектръ хлорофила съ рѣзко обозначенной главной полосой поглощенія между Фраунгоферовыми линиями *B* и *C* и постепенно ступевающимся дѣйствіемъ въ сторону синей части спектра (фиг. 7). Второстепенныхъ полосъ, какъ и при изученіи разложенія углекислоты, нельзя было обнаружить.

Синіе и фіолетовые лучи не оказали почти никакого дѣйствія. Этотъ послѣдній результатъ, вѣроятно, слѣдуетъ приписать тому обстоятельству, что появленіе крахмала является только результатомъ двухъ противоположныхъ процессовъ — образованія крахмала и его растворенія, такъ что, начиная съ извѣстнаго напряженія свѣта, когда ассимиляція углерода недостаточно энергична, первый

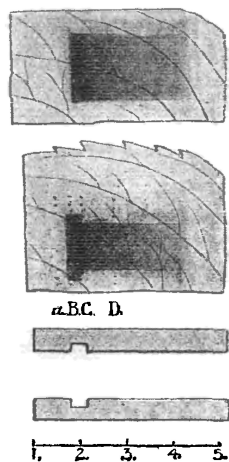


Фиг. 6. Поглощеніе свѣта Хлорофиломъ.

процессъ уравнивается вторымъ, и въ листѣ не отлагается избыточнаго крахмала.

Эти факты естественно приводятъ насъ къ разсмотрѣнію вопроса объ относительномъ вліяніи на разсматриваемый нами процессъ лучей наиболѣе преломляющейся части спектра. Можно было замѣтить (фиг. 6), что до этой поры мои изслѣдованія ограничивались его наименѣе преломляющейся половиной.

Относительно второй половины спектра господствовало убѣжденіе, что входящіе въ ея составъ лучи играютъ сравнительно ничтожную роль въ нашемъ фотохимическомъ процессѣ. Мнѣніе это основывалось на томъ же классическомъ опытѣ Дрепера и на многочисленныхъ опытахъ съ желтыми и синими свѣтофильтрами. Но всѣ опыты этой второй категоріи заслуживаютъ мало довѣрія, такъ какъ точныя фотометрическія измѣренія доказываютъ, что лучи, *пропускаемые* этими цвѣтными средами, ослаблены въ весьма различной мѣрѣ и что, слѣдовательно, получаемые химическіе результаты не могутъ быть непосредственно между собою сравниваемы¹⁾. Результаты эти также не сравнимы между собою и при производствѣ опытовъ въ спектрѣ, такъ какъ дисперсія въ болѣе преломляющейся части спектра значительно сильнѣе, чѣмъ въ части, менѣе преломляющейся; по этой причинѣ въ первыхъ своихъ опытахъ я и удовольствовался менѣе преломляющеюся частью и не распространилъ ихъ на синюю и фіолетовую часть. Здѣсь кстати можно показать, какъ капризны и ненадежны результаты, получаемые при помощи Энгельмановскаго бактеріальнаго метода. Для этого достаточно сопоставить результаты, полученные самимъ Энгельманомъ и однимъ изъ горячихъ защитниковъ его метода Пфеферомъ. Между тѣмъ какъ Энгельманъ обнаружилъ ясный второй максимумъ въ синей части, Пфеферъ, экспериментируя по тому же методу, никакого второго максимума не получилъ. Этотъ приѣмъ, слѣдовательно, не только не годенъ для количественнаго измѣренія, но даже ненадеженъ для простаго обнаруженія явленія.

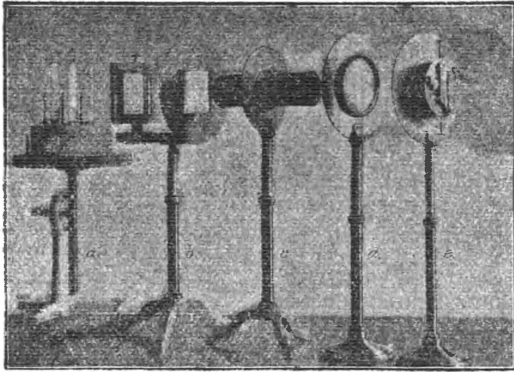


Фиг. 7. Фотосинтезъ крахмала въ спектрѣ.

¹⁾ На это обстоятельство я указывалъ еще въ 1868 г. Хотя ботаники до сихъ поръ приписываютъ разъясненіе его Волкову, но всякій понимающій дѣло безъ труда пойметъ, что вся статья Волкова обнаруживала только его незнакомство съ строгой физической постановкой вопроса.

Казалось бы, что недостатокъ, присущій призматическому спектру, можно было бы всего проще устранить простымъ вычисленіемъ, допустивъ, что дѣйствіе свѣта пропорціонально его напряженію. Но такъ какъ законъ, опредѣляющій связь между процессомъ и напряженіемъ свѣта, не былъ извѣстенъ, то это предположеніе было бы голословно, и въ дѣйствительности, какъ мы увидимъ далѣе, законъ этотъ гораздо сложнѣе.

Казалось бы также, что задачу эту еще проще разрѣшать экспериментальнымъ путемъ,—стоитъ только произвести опытъ не въ призматическомъ, а въ диффракціонномъ спектрѣ. Но рядъ опытовъ, сдѣланныхъ мною при помощи превосходной Роуландовской рѣ-



Фиг. 8.

шетки, далъ только отрицательные результаты. Какъ въ опытахъ Мюллера, напряжение свѣта не было достаточно для обнаруженія разложенія углекислоты. Пришлось вернуться къ спектру призматическому. Позволю себѣ сослаться на слова Ланглея, который, несмотря на почти баснословную чувствительность своего болометра, говоритъ въ од-

ной изъ своихъ позднѣйшихъ работъ: «Въ концѣ концовъ призма гораздо удобнѣе рѣшетки».

Работать съ призмой, желая избѣжать ошибки, проистекающей отъ различной дисперсіи въ различныхъ частяхъ спектра, въ этомъ случаѣ, значило просто воспользоваться извѣстнымъ способомъ для сложения лучей, разложенныхъ призмой. При такихъ условіяхъ мы соединяемъ интенсивность призматическаго спектра съ удобствомъ диффракціоннаго. Я вначалѣ пользовался приборомъ Ж. Дюбюека для полученія комплементарныхъ цвѣтовъ. Онъ состоитъ изъ цилиндрической линзы и призмы очень малаго угла, наклеенной на стеклянную пластинку. Въмѣсто спектра мы получаемъ двѣ полосы комплементарнаго цвѣта.

Позднѣе я придумалъ видоизмѣненіе этого аппарата (искусно выполненное Ф. Пелленомъ), состоящее изъ двухъ такихъ стеклянныхъ пластинокъ съ ихъ соотвѣтствующими призмами. При помощи