

1837

НОВЫЕ ИДЕИ В

ЛИТЕРАТУРЕ

IV

535
M-7684

ВНИМАНИЮ Г. г. ЧИТАТЕЛЕЙ!

1) Библиотека Общества взаимопомощи Торговых Агентств и Торговцевъ евреевъ г. Одессы обращается къ Г. г. абонатамъ съ убедительной просьбой относиться къ получаемымъ для чтенія книгамъ бережно.

2) За всякаго рода пятна, помарки, пометки на книгѣ, вырванные изъ нея листы съ Г. г. абонатовъ Библиотека будетъ взыскивать въ размѣрѣ оцѣнки порчи.

3) Г. г. абонаты отвѣчаютъ также, какъ за совершенную утрату книги, такъ и за потерянные листы въ размѣрѣ полной стоимости книги.

4) Равнымъ образомъ вовсе не разрѣшается взятую въ библиотекѣ книгу давать другимъ лицамъ

5) Новые Обще-литературные журналы и новыя книги выдаются, срокомъ на 6 дней, книги и старыя журналы на 15 дней.

Примѣчаніе. Журналы считаются новыми въ теченіе 6 мѣсяцевъ по выходѣ въ свѣтъ.

§ 1) Лица, невозвратившія журналовъ и книгъ своевременно платятъ штрафъ; за новый журналъ и новую книгу по 3 коп., за старыя журналы и старую книгу по 1 коп. за каждый просроченный день.

§ 2) Плата за абонементъ должна быть внесена за 2 мѣсяца **ВПЕРЕДЪ**

Ииб. 8620.

0

Зобнаты, не заявивше
при вѣтті книги о порчѣ ея,
вслучаѣ обнаруженіи таковой
при возвращеніи книги упла-
чиваютъ стоимость поврежде-
нія по оцѣнкѣ библиотекаря.

53
H 72

НОВЫЯ ИДЕИ ВЪ ФИЗИКЪ.

53⁵ - 206.535
H

ЦЕНТРАЛЬНАЯ
Библиотека

Непериодическое издание, выходящее под редакцией
заслуженного профессора И. И. Боргмана

Библиотека
у. ~~7/30~~

~~535~~
~~H-768, 8368~~
~~18024~~

СБОРНИКЪ ЧЕТВЕРТЫЙ.

1837

ДЪЙСТВИЕ СВЪТА.

Учб. 8620

НБ ПНУС
1837

БИБЛИОТЕКА
Торговельно-Агентськыи Т. 1, 2, 3
Б. 223, 201, 202
Екатерининстан 108

КНИЖНИИ МАГАЗИНЪ
"ТРУДЪ"
ЦЕНТРАЛЬНЫИ
ТЕЛ. 1928

Handwritten scribbles

1/10/20

О. Д. В.
Изд-ство „ОБРАЗОВАНИЕ“
ПЕРЕИНВЕНТАРИЗАЦИЯ 1912.
1937 г.
№ 87019

Абонент О.С.Д.Б.
№ 21960

ИЗЪ КНИГЪ



АРИСТОТЕЛЪ

КНИГОИЗДАСТВО
· ОБРАЗОВАНИЕ ·
С · П · Б

ИЗДАТЕЛЬСТВО
О. Г. С. Д. С.

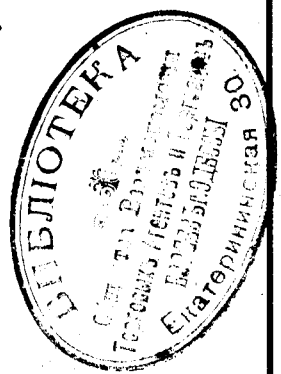
8368

Посвящается

памяти

Петра Николаевича

Лебедева.

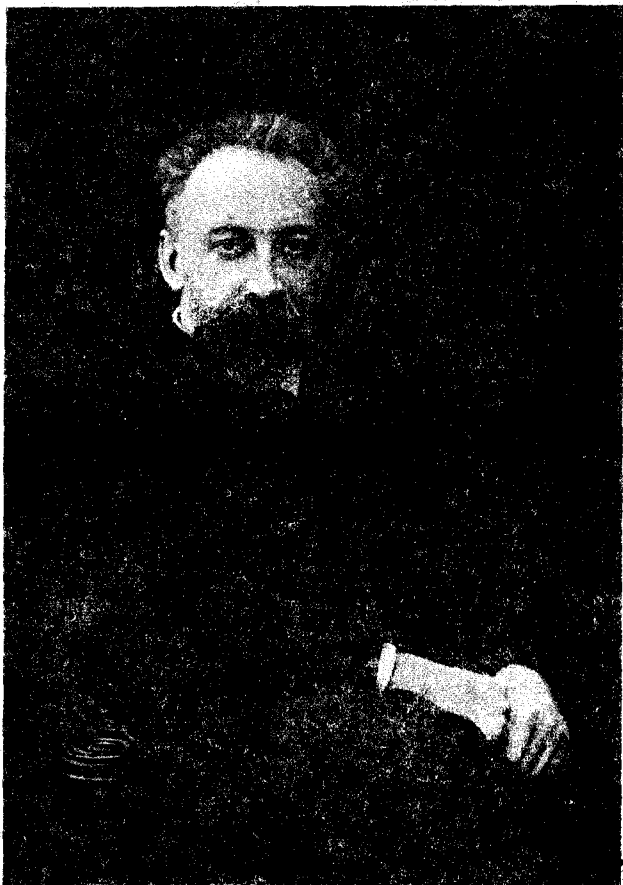


2368
18024

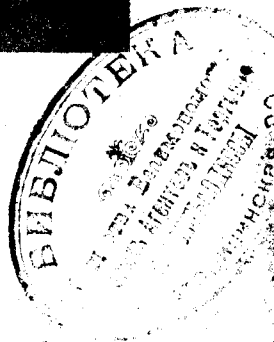
ОГЛАВЛЕНІЕ.

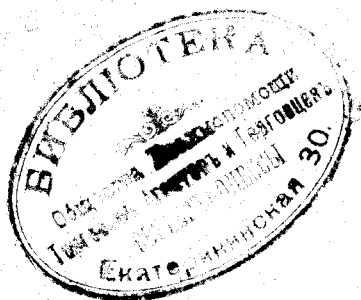
	СТР.
<i>И. И. Борманъ.</i> Петръ Николаевичъ Лебедевъ	1
<i>П. Н. Лебедевъ.</i> Давленіе свѣта	9
<i>П. Н. Лазаревъ.</i> О связи оптическихъ свойствъ вещества и фото-химическаго эффекта	45
<i>Б. С. Швецовъ.</i> Фотолуминесценція	63
<i>А. Ф. Иоффе.</i> Фотоэлектрическій эффектъ	95





Вестник





Петръ Николаевичъ Лебедевъ

(24 февраля 1866—1 марта 1912 г.).

Для настоящаго сборника, по моей просьбѣ, П. Н. Лебедевъ изъявилъ согласіе написать статью о свѣтовомъ давленіи. Статья была почти что окончена, когда болѣзнь уложила Петра Николаевича въ постель, а затѣмъ и навсегда отняла его у насъ.

Петръ Николаевичъ скончался 1-го марта 1912 г.

Теперь настоящій сборникъ посвящается памяти Петра Николаевича.

Невыразимо тяжело писать о кончинѣ Лебедева, красы русской науки, сошедшаго въ могилу всего только 46 лѣтъ отъ роду. Петръ Николаевичъ умеръ въ полномъ расцвѣтѣ своего таланта, занимаясь интереснѣйшимъ изслѣдованіемъ и помогая своимъ ученикамъ въ ихъ работахъ въ только что созданной имъ первой частной физической лабораторіи.

Лебедевъ обогатилъ науку замѣчательными открытіями. Но сколько еще новаго и важнаго можно было бы получить отъ него!

Природа, какъ будто ревниво храня свои тайны, слишкомъ рано перенесла изъ жизни въ другой міръ трехъ славныхъ изслѣдователей, открывшихъ наукѣ огромную область неизвѣстныхъ раньше явленій. Джемсъ Клеркъ Максвелль, Генрихъ Рудольфъ Гертцъ, Петръ Николаевичъ Лебедевъ, своими работами тѣсно связанные другъ съ другомъ, похищены смертью въ такихъ годахъ, въ какихъ ученая дѣятельность очень часто

развивается наиболѣе полно. Максвелль скончался 48 лѣтъ, Гертцъ—36 лѣтъ, Лебедевъ—46 лѣтъ.

Имена этихъ трехъ ученыхъ останутся въ наукѣ навсегда вмѣстѣ. Максвелль теоретически предсказалъ единство свѣтовыхъ и электромагнитныхъ явленій, предсказалъ и необходимость возникновенія давленія свѣта на все то, на что падаютъ свѣтовые лучи. Гертцъ впервые на опытѣ доказалъ реальность электрическихъ лучей и ихъ подобіе лучамъ свѣта. Лебедевъ распространилъ это подобіе еще дальше и окончательно установилъ путемъ наблюдений, что оптика представляетъ собою лишь главу ученія объ электромагнетизмѣ. Онъ обнаружилъ и измѣрилъ свѣтовое давленіе, указанное Максвелломъ.

П. Н. Лебедевъ родился въ Москвѣ 24-го февраля 1866 года. Первоначальное образованіе онъ получилъ въ Московской Петропавловской школѣ, по окончаніи которой, послѣ пребыванія втеченіе нѣкотораго времени въ реальномъ училищѣ Хайновскаго, поступилъ въ Техническое училище. Въ Техническомъ училищѣ Петръ Николаевичъ пробылъ всего 3 года, съ осени 1884 до весны 1887 г. Прикладная наука не удовлетворила его. Его привлекала къ себѣ чистая наука, физика. Пребываніе въ Техническомъ училищѣ было однако очень полезно для дальнѣйшей ученой дѣятельности Лебедева. Здѣсь онъ въ совершенствѣ изучилъ токарное и слесарное ремесла и выработалъ изъ себя превосходнаго мастера. Впослѣдствіи очень многое для своихъ опытовъ Петръ Николаевичъ дѣлалъ самъ лично, да иначе и нельзя было, такъ какъ то, что требовалось для этихъ опытовъ, врядъ-ли могъ выполнить обыкновенный механикъ или ювелиръ. Въ Техническомъ Училищѣ Петръ Николаевичъ приобрѣлъ навыкъ и къ проектированію сложныхъ приборовъ, что также оказалось весьма важнымъ въ дальнѣйшей дѣятельности его.

Выйдя изъ Техническаго Училища, не имѣя возможности поступить въ Россіи въ университетъ, Петръ Николаевичъ отправился за границу въ Страсбургъ, гдѣ тогда былъ лучший въ Европѣ Физическій Институтъ, директоромъ котораго былъ замѣчательный физикъ А. Кундтъ. Петръ Николаевичъ работалъ у Кундта съ 1887 г. по 1889 г. въ Страсбургѣ, затѣмъ въ теченіе года въ Берлинѣ, куда перешелъ Кундтъ. Работы въ лабораторіи Кундта не дали Петру Николаевичу положительныхъ результатовъ. Поэтому, желая поскорѣе получить степень доктора, Петръ Николаевичъ весною 1890 г. оставилъ Берлинъ и снова переселился въ Страсбургъ, гдѣ въ то время директоромъ Физическаго Института сдѣлался уже Ф. Кольраушъ. Въ лабораторіи Кольрауша была выполнена Петромъ Николаевичемъ экспериментальная работа по измѣренію діэлектрическихъ постоянныхъ нѣкоторыхъ паровъ. Эта работа подъ названіемъ „Ueber Messungen der Dielectricitätsconstanten der Dämpfe und über die Mossotti-Clausiussche Theorie der Dielectrica“ была представлена какъ докторская диссертация. За эту диссертацию Петръ Николаевичъ былъ удостоенъ въ 1891 г. Страсбургскимъ университетомъ степени доктора философіи.

Осенью 1891 г. Петръ Николаевичъ вернулся въ Москву и здѣсь, благодаря профессору А. Г. Столѣтову, угадавшему талантъ Лебедева, онъ получилъ мѣсто лаборанта въ физической лабораторіи университета.

Всѣ обратившія на себя вниманіе и затѣмъ прославившія Лебедева изслѣдованія были произведены Петромъ Николаевичемъ въ Россіи въ лабораторіи Московскаго университета. Петръ Николаевичъ былъ въ полномъ смыслѣ русскій ученый!

Первыя работы его были посвящены изученію механическихъ дѣйствій различныхъ по своему характеру волнъ.

Онъ получилъ на основаніи опытовъ чрезвычайно интересные результаты относительно тѣхъ вліяній, какія оказываютъ на соотвѣтствующіе „резонаторы“ электромагнитныя, звуковыя и гидродинамическія волны. Все это было обслѣдовано Лебедевымъ съ цѣлью выяснитъ сущность силъ, дѣйствующихъ между молекулами какого-либо тѣла. Самые резонаторы, съ которыми имѣлъ дѣло Петръ Николаевичъ, представлялись для него схематическими молекулами.

Въ то время, когда Петръ Николаевичъ производилъ эти изслѣдованія, онъ предпринялъ и другую работу. Онъ поставилъ себѣ задачею воспроизвести насколько возможно болѣе короткія электромагнитныя волны Гертца, чтобы при помощи этихъ короткихъ волнъ быть въ состояніи изучитъ такія свойства электрическихъ лучей, какія невозможно было изслѣдовать въ лучахъ, длина волнъ которыхъ измѣряется нѣсколькими сантиметрами. Благодаря своимъ экспериментаторскимъ способностямъ и большому умѣнью обращаться съ механическими инструментами, Петръ Николаевичъ достигъ полученія электромагнитныхъ волнъ, длина которыхъ равнялась всего только 6 мм. Наиболее короткія волны у Гертца были около 66 см., позже у Риги—въ 7,5 см. Лебедевъ получилъ волны въ $12\frac{1}{2}$ разъ короче, чѣмъ волны Риги. При такихъ малыхъ волнахъ Петръ Николаевичъ могъ употреблять для своихъ опытовъ приборы по размѣрамъ не больше тѣхъ, какіе примѣняются при наблюденіяхъ надъ явленіями свѣта. Петръ Николаевичъ показалъ, что электрическіе лучи не только претерпѣваютъ отраженіе, преломленіе, интерференцію, обнаруживаютъ поляризацию, но и подвергаются двойному преломленію въ кристаллахъ. Онъ опредѣлилъ показатели преломленія сѣры для обыкновенныхъ и необыкновенныхъ электрическихъ лучей. Онъ приготовилъ „Николеву“

призму для этихъ лучей, а также „пластинку въ $\frac{1}{4}$ волны“ и при помощи послѣдней могъ сообщить электрическимъ лучамъ круговую поляризацию.

Работа съ электрическими колебаніями и изслѣдованія пондеромоторныхъ дѣйствій различныхъ волнъ были оцѣнены Физико-математическимъ факультетомъ Московскаго Университета, и Петръ Николаевичъ былъ допущенъ къ соисканію степени доктора физики безъ магистерскаго экзамена и безъ представленія предварительно диссертации для полученія степени магистра. Удостоенный степени доктора, Лебедевъ въ февралѣ 1900 г. былъ назначенъ профессоромъ Московскаго Университета.

Въ концѣ девяностыхъ годовъ Петръ Николаевичъ приступилъ къ своему знаменитому изслѣдованію свѣтового давленія. Первое, предварительное, сообщеніе о полученномъ имъ положительномъ результатѣ этихъ опытовъ было сдѣлано въ августѣ 1900 г. на Международномъ Конгрессѣ Физиковъ въ Парижѣ. Болѣе подробный докладъ объ этомъ былъ прочитанъ въ засѣданіи Физическаго Общества въ Петербургѣ 30 октября 1901 года. Эта работа Лебедева была удостоена Академіею Наукъ преміи.

Не удовольствовавшись доказательствомъ существованія давленія свѣта на поверхности твердыхъ тѣлъ, освѣщаемыхъ свѣтовыми лучами, Петръ Николаевичъ предпринялъ еще болѣе трудное изслѣдованіе давленія свѣта на газы. Экспериментаторскій талантъ Лебедева поборолъ всѣ трудности. Послѣ трехъ лѣтъ упорныхъ трудовъ онъ получилъ блестящій результатъ. Онъ доказалъ давленіе свѣта на газы и тѣмъ окончательно рѣшилъ задачу, поставленную 300 лѣтъ тому назадъ Кепплеромъ. Лебедевъ выяснилъ причину образованія кометныхъ хвостовъ. Причина этого—давленіе солнечныхъ лучей на газы, изъ которыхъ состоятъ кометы.

Работы Петра Николаевича по свѣтовому давленію вызвали всеобщее признаніе, и онъ былъ удостоенъ высокой чести, былъ избранъ почетнымъ членомъ Лондонскаго Королевскаго Института, членомъ котораго состоялъ и великій Масквелль.

Кромѣ упомянутыхъ здѣсь работъ, Петръ Николаевичъ отпечаталъ еще нѣсколько статей, въ которыхъ описаны имъ новые устроенные имъ приборы для изученія звуковыхъ волнъ, а также весьма остроумно сконструированный спектрографъ, дающій возможность при помощи микрорадіометра непрерывно изслѣдовать энергію по всей длинѣ спектра. Нельзя не отмѣтить еще весьма цѣннаго открытія, что помѣщеніе термоэлемента въ разрѣженное пространство весьма значительно увеличиваетъ чувствительность этого термоэлемента.

Послѣдняя работа Лебедева, только что начатая и пока не давшая положительныхъ результатовъ, касается чрезвычайно важнаго вопроса. Петръ Николаевичъ рѣшилъ заняться выясненіемъ причины земного магнетизма. Ему казалось, что причину земного магнетизма можетъ быть вращеніе земного шара. При вращеніи тѣла съ очень большою скоростью возможно, что внутри атомовъ тѣла произойдетъ раздѣленіе положительныхъ и отрицательныхъ электричествъ, а слѣдовательно возникнутъ круговые конвекціонныя токи, которые и возбудятъ два прямо противоположныхъ по направленію магнитныхъ поля, неодинаковой интенсивности. Такимъ образомъ при вращеніи тѣла можетъ возникнуть магнитное поле, являющееся разностью этихъ двухъ полей. Опыты, продѣланные Лебедевымъ, не дали указаній на появленіе такого поля. Смерть Петра Николаевича воспрепятствовала довести до конца начатое изслѣдованіе. Останься живъ Петръ Николаевичъ, — мы вѣроятно получили бы отъ него

окончательный, вполне опредѣленный отвѣтъ на поставленный имъ вопросъ о причинѣ магнетизма земли.

Не мало и еще было задумано изслѣдованій у Петра Николаевича. Безвременная кончина этого славнаго экспериментатора лишила науку многихъ пріобрѣтеній.

Но не въ однихъ только собственныхъ изысканіяхъ проявилась сила Лебедева. Петръ Николаевичъ обладалъ и замѣчательнымъ талантомъ профессора. Онъ былъ въ истинномъ смыслѣ профессоръ университета. Онъ умѣлъ привлекать къ себѣ способныхъ учениковъ, умѣлъ вселять въ нихъ безавѣтную преданность наукѣ, умѣлъ поддерживать въ нихъ энергію и давать имъ возможность самимъ являться достойными изслѣдователями природы. Наука и университетъ вотъ что было самое важное для Петра Николаевича. Только интересы чистой науки имѣлъ онъ всегда въ виду.

Печальныя событія, происшедшія въ началѣ 1911 года въ Московскомъ Университетѣ, вынудили Петра Николаевича покинуть дорогой ему университетъ, оставить на произволь судьбы свое любимое дѣтище, лабораторію. И разомъ прекратилась кипучая дѣятельность этой лабораторіи, ея планомѣрная разработка весьма важныхъ въ научномъ отношеніи вопросовъ. Какъ ни велики были нравственныя потрясенія, энергія, однако, не ослабла у Лебедева. При помощи Народнаго университета Шанявскаго и отзывчиваго Московскаго общества, Петру Николаевичу удалось въ самомъ скоромъ времени организовать новую, первую въ Россіи частную, физическую лабораторію въ наемномъ помѣщеніи, въ обыкновенномъ домѣ въ Мертвомъ переулкѣ (Пречистенка), № 20. И въ этой лабораторіи снова закипѣла работа преданныхъ учениковъ Лебедева. Второй Менделѣевскій съѣздъ показалъ, сколько цѣннаго уже успѣла дать эта лабораторія.

Лично Петръ Николаевичъ не могъ принять участіе въ этомъ съѣздѣ. Какъ разъ передъ началомъ съѣзда онъ заболѣлъ. Эта болѣзнь продолжалась не долго, и около половины января онъ снова принялся за обычную свою работу, но на короткое время. Давно уже больное сердце, сильно пострадавшее отъ перенесенныхъ имъ въ теченіе послѣдняго года огорченій, окончательно ослабло. Петръ Николаевичъ долженъ былъ снова слечь и 1-го марта скончался.

Петра Николаевича Лебедева не стало. Россія потеряла въ немъ одного изъ лучшихъ своихъ представителей. Память объ этомъ выдающемся ученомъ на всегда сохранится. На всегда должна сохраниться и Лебедевская физическая лабораторія. Такая лабораторія, поддерживаемая на средства общества, свободная отъ всевозможныхъ внѣшнихъ вліяній, представитъ изъ себя наилучшій памятникъ безвременно почившему ученому, много потрудившемуся во славу русской науки.

И. Борманъ.

21 Апрѣля 1912 г.

Давленіе свѣта.

П. Н. Лебедева ¹⁾).

Ученіе о свѣтовомъ давленіи до Максвелла.

Предположеніе, что лучи свѣта производятъ давленіе на тѣ тѣла, на которыя они падаютъ и стремятся двигать эти тѣла въ направленіи распространенія свѣта, — это предположеніе было впервые высказано Кепплеромъ ²⁾ какъ такая гипотеза, которая просто объясняетъ характерныя свойства кометныхъ хвостовъ.

Представленіе Кепплера о происхожденіи кометныхъ хвостовъ и его гипотеза о существованіи свѣто-

1) Настоящая статья П. Н. Лебедева, является его послѣдней статьей, которую онъ началъ писать еще лѣтомъ прошлаго года и которая осталась частью въ видѣ уже совершенно готовыхъ къ печати главъ, частью въ видѣ только набросковъ и общихъ указаній. Тѣ мѣста статьи, которыя П. Н. считалъ болѣе или менѣе законченными и которыя находились въ видѣ готовой рукописи, помѣщены цѣликомъ въ этой его работѣ, мѣста имъ пропущенныя (ученіе Бартоли, ученіе о свѣтовомъ давленіи на твердыя тѣла и на газы и нѣсколько мелкихъ дополненій) дописаны и вставлены П. П. Лазаревымъ, и въ статьѣ отмѣчены звѣздочками. Нужно замѣтить, что этой работой П. Н. занимался до своей послѣдней болѣзни и только за 3 недѣли до смерти онъ вынужденъ былъ бросить работу. (П. Лазаревъ).

2) J. o. n. K. e. p. l. e. r. i. „De Cometis“ Libellus secundus Augustae vinelicorum 1619. Opera omnia. Edit. Frisch Vol. 7. p. 110. Frankforti a/M. 1867.

вого давленія скоро стала всеобщимъ достояніемъ: въ астрономическихъ трактатахъ XVII вѣка—какъ, напр., въ „Датской Астрономіи“ Лангомонта нуса—они считаются въ числѣ элементовъ науки.

Что падающіе лучи свѣта должны производить давленіе вытекало непосредственно и изъ „эмиссионной теоріи свѣта“. Еще задолго до Кепплера въ тогдашней наукѣ установился взглядъ, что свѣтовое излученіе представляетъ собою испусканіе „свѣтовыхъ частичекъ“, которыя прямолинейно несутся отъ свѣтящагося тѣла въ разныя стороны и нетрудно было допустить, что эти частицы падая на тѣла производятъ на нихъ давленіе; такимъ образомъ гипотеза Кеплера о давленіи свѣта получала теоретическое обоснованіе въ тѣхъ представленіяхъ о природѣ свѣта, которыя не только въ то время, но и долгое время спустя—до начала XIX в. считались основами физики.

Относительно абсолютныхъ величинъ давленія, которое производятъ, напр., лучи солнца, предположенія расходились очень далеко. Въ своей интересной книгѣ „О Сѣверныхъ Сіяніяхъ“ Де-Мейранъ¹⁾ между прочимъ приводитъ, что нѣкій Гартзокеръ (въ 1696 г.) указываетъ, что: „путешественники утверждаютъ, что теченіе водъ Дуная значительно медленнѣе, когда лучи солнца противодѣйствуютъ его движенію (утромъ) и дѣлается болѣе быстрымъ послѣ полудня, когда лучи солнца помогаютъ его теченію“. Но еще долгое время послѣ того, какъ Кеплеръ высказалъ предположеніе о существованіи свѣтового давленія, никто не пытался провѣрить это предположеніе непосредственнымъ опытомъ и только въ XVIII вѣкѣ были сдѣланы попытки въ этомъ направленіи, между которыми попытку Фон-

¹⁾ De-Mairan „Traité physique et historique de l'Aurore Boréale“ II Ed. Paris, 1754 (p. 368).

тенеля ¹⁾ можетъ быть слѣдуетъ признать первымъ опытнымъ изслѣдованіемъ свѣтового давленія: Фонтенель при помощи зажигательнаго стекла собиралъ лучи солнца на маленькомъ листочкѣ асбеста, ожидая, что „свѣтовыя частички“ выбросятъ асбестъ изъ фокуса чечевицы, но этого явленія, конечно, не увидалъ.

Въ теченіе восемнадцатаго вѣка интересъ къ опытнымъ изслѣдованіямъ и искусство экспериментированія сдѣлали огромные успѣхи—вопросъ объ экспериментальномъ изслѣдованіи свѣтового давленія естественно привлекъ къ себѣ вниманіе. Вотъ какъ описываетъ Де-Мейранъ ²⁾ тѣ опыты, которые онъ дѣлалъ вмѣстѣ со знаменитымъ физикомъ Дю-Фейемъ: „Горизонтальное желѣзное колесико приблизительно трехъ дюймовъ въ діаметрѣ имѣетъ шесть спицъ, на концахъ которыхъ прикрѣплены легкія вертикальныя крылышки; ось колесика желѣзная и своимъ верхнимъ заостреннымъ концомъ прилипаетъ къ концу намагниченной желѣзной полосы. Все колесико вмѣстѣ съ осью вѣситъ 30 грановъ (2 grm). Оно въ высшей степени подвижно и вмѣстѣ съ тѣмъ оно позволяетъ увѣренно дѣлать наблюденія надъ предполагаемымъ давленіемъ свѣтовыхъ лучей. Весь приборъ вращается въ ту или въ другую сторону въ зависимости отъ того, какъ сдвигаютъ фокусъ линзы относительно отдѣльныхъ крылышекъ. Отсюда можно было-бы заключить, что свѣтовые лучи притягиваютъ и отталкиваютъ въ разныхъ точкахъ свѣтового конуса, образуемаго линзою, но расширение воздуха сразу и притомъ неравномѣрно нагрѣтаго, какъ мнѣ кажется, представляетъ собою причину вполне достаточную для объясненія наблюдаемыхъ движеній“.

Если имѣтъ въ виду, что еще за пятьдесятъ лѣтъ

1) Fontenelle. Histoire de l'Acad. des Sciences de Paris. p. 21. 1708.

2) См. de Mairan p. 371.

до опытовъ Де-Мейрана приходилось для доказательства существованія свѣтового давленія ссылаться на свидѣтельство путешественниковъ по берегамъ Дуная, то эти опыты Де-Мейрана и Дю-Фея заслуживаютъ нашего особеннаго удивленія и по изяществу того приѣма, которымъ экспериментаторы воспользовались для полученія очень подвижной системы (магнитный подвѣсъ) и по тому отсутствію предвзятой мысли, съ которой Де-Мейранъ разбираетъ отрицательный результатъ этихъ опытовъ, хотя самъ онъ и впослѣдствіи продолжаетъ вѣрить, что свѣтовое давленіе должно существовать, какъ того требовали и наблюденія кривизны кометныхъ хвостовъ и эмиссіонная теорія свѣта.

Въ то время, когда Де-Мейранъ и Дю-Фей пытались непосредственно обнаружить свѣтовое давленіе, Эйлеръ ¹⁾ подошелъ къ этому вопросу теоретически: какъ убѣжденный противникъ ньютоновской эмиссіонной теоріи свѣта Эйлеръ видѣлъ, что то простое механическое обоснованіе свѣтовому давленію, которое дается эмиссіонною теоріею — по существу — не допустимо, а съ другой стороны, явленія отталкиванія кометныхъ хвостовъ солнцемъ требовало какого-нибудь объясненія; Эйлеръ, становясь на точку зрѣнія Гюйгенса и рассматривая движенія въ свѣтовомъ лучѣ, какъ продольныя колебанія, по характеру сходныя со звуковыми, говоритъ: „частицы, колебанія которыхъ обусловливаютъ явленіе свѣта, на удаляются замѣтно отъ положенія своего равновѣсія, хотя и существуетъ весьма малое пространство, въ которомъ онѣ колеблются; и эти колебанія достаточны, чтобы немного сдвигать тѣ тѣла, которыя онѣ толкаютъ; такъ какъ эти сдвига-

¹⁾ L. Euler. Histoire de l'Academie Royale de Berlin Vol. 2. p. 117. 1746.

нія повторяются непрерывно, то въ результатѣ получается, что толкаемая частица на чинится замѣтнымъ образомъ“.

Въ началѣ XIX вѣка вопросъ о существованіи свѣтового давленія, какъ задача подлежащая непосредственному опытному изслѣдованію, была еще разъ выдвинута Френелемъ¹⁾: на легкія крылышки, прикрѣпленныя къ концамъ подвижной магнитной стрѣлки, онъ направлялъ пучки солнечнаго свѣта, но такъ же какъ и Де-Мейранъ могъ констатировать только движенія, вызываемыя конвенціею неравномерно нагрѣтаго воздуха. Описывая эти опыты, недавшіе положительные результатовъ, Френель какихъ-либо соображеній относительно существованія или невозможности свѣтового давленія—не высказалъ.

Послѣ указанныхъ опытовъ Френеля, вопросъ объ изслѣдованіи свѣтового давленія постепенно исчезъ изъ числа насущныхъ научныхъ задачъ: для объясненія искривленія хвостовъ Ольберсъ предложилъ электрическую теорію, которая на долгіе годы стала господствующей въ астрофизикѣ и постепенно заставила забыть теорію Кеплера, а во всѣхъ тѣхъ безконечно разнообразныхъ оптическихъ изслѣдованіяхъ, которыя были вызваны работами Френеля и болѣе полустолѣтія сосредоточивали на себѣ вниманіе физиковъ, свѣтовое давленіе по существу никакой роли не играло—поэтому и вопросъ о его существованіи постепенно былъ забытъ. Послѣ перерыва въ пятьдесятъ лѣтъ, вопросъ о свѣтовомъ давленіи снова привлекъ на себя вниманіе, когда Круксъ (1870) опубликовалъ рядъ своихъ изумительныхъ радиометрическихъ опытовъ: сложность и неожиданность многихъ явленій и трудность подсчета ихъ, заставили искать объясненія

1) A. Fresnel. Ann. de chim. et de phys. (2) 29 p. 57 и 107 (1825).

въ разныхъ причинахъ: и въ тепловыхъ эффектахъ луча, и въ непосредственномъ дѣйствіи свѣта на тѣла и т. д.

Что непосредственное дѣйствіе свѣта на тѣла должно существовать ясно и опредѣленно было высказано Максвелломъ (1873): онъ показалъ, что его электромагнитная теорія свѣта приводитъ къ необходимости существованія свѣтового давленія, причемъ онъ впервые указалъ, какъ можно опредѣлить абсолютную величину этого давленія, зная яркость луча и попутно указалъ, что по сравненію съ радиометрическими силами въ опытахъ Крукса, непосредственное пондеромоторное дѣйствіе свѣта исчезающе мало по своей величинѣ. Независимо отъ Максвелла и совершенно инымъ, термодинамическимъ путемъ, Бартоли (1876), самъ занимавшійся опытными изслѣдованіями по радиометриі, выяснилъ вопросъ о давленіи свѣта.

Теоретическія соображенія Максвелла и Бартоли дали новый толчокъ къ изученію явленій, связанныхъ со свѣтовымъ давленіемъ.

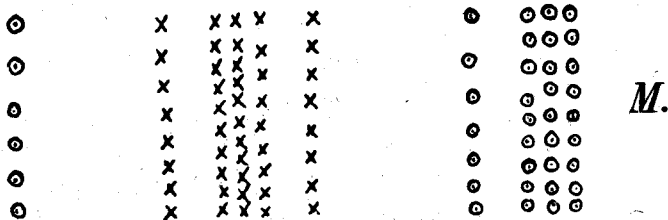
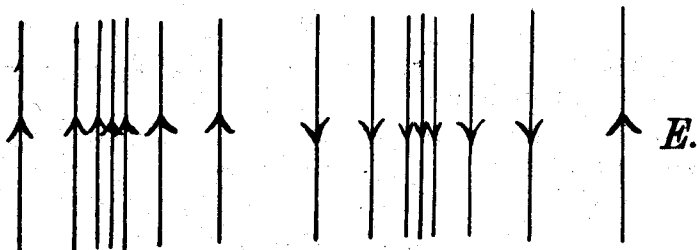
Теоретическое обоснованіе свѣтового давленія.

Обоснованіе Максвелла.

Въ своемъ трактатѣ Максвеллъ, излагая основы электромагнитной теоріи свѣта, впервые указалъ, что прямымъ слѣдствіемъ этой теоріи является утвержденіе, что лучи свѣта производятъ давленіе въ направленіи ихъ распространенія и онъ указалъ, что между яркостью луча и его давленіемъ существуетъ опредѣленное количественное соотношеніе.

Для простѣйшаго случая линейно поляризованнаго, монохроматическаго пучка плоско параллельныхъ лучей въ чистомъ эфирѣ, разсужденія Максвелла сводятся къ слѣдующимъ положеніямъ:

Если плоскость поляризаціи электрической слагающей свѣтового луча совпадаетъ съ опредѣленной плоскостью (плоскостью чертежа), то въ опредѣленный элементъ электрическая поляризація E распределяется въ пространствѣ такъ, какъ это показано на чертежѣ 1: здѣсь направление электрической поляризаціи указано стрѣлками, а величина этой поляризаціи числомъ



Черт. 1.

„электрическихъ силовыхъ линий Фарадея“, которымъ пронизывается каждый элементъ объема ээира. Распределение этой электрической поляризаціи не неподвижно въ ээирѣ, а двигается въ направленіи распространения луча со скоростью свѣта.

Линіи силъ магнитной поляризаціи M въ изображенномъ свѣтовомъ пучкѣ перпендикулярны плоскости чертежа и изображены крестиками и кружечками, чтобы такимъ образомъ отмѣтить разницу въ ихъ направ-

влениі. Какъ видно изъ чертежа максимумы электрической и магнитной поляризаціи смѣщены другъ относительно друга на одну четверть длины волны и для даннаго элементарнаго объема ээира смѣны электрической l и магнитной m поляризаціи во времени мы можемъ выразить такъ

$$l = E \cos at$$

$$m = M \sin at,$$

гдѣ E максимальная электрическая, а M максимальная магнитная поляризація.

Запасъ механической энергіи \mathcal{E} въ данномъ элементарномъ объемѣ τ ээира пропорціоналенъ квадрату электрической и квадрату магнитной поляризаціи его

$$\mathcal{E} = (E^2 \cos^2 at + M^2 \sin^2 at) \tau$$

и какъ то слѣдуетъ изъ основныхъ уравненій электромагнитныхъ колебаній, энергія луча наполовину состоитъ изъ энергіи электрической поляризаціи и наполовину изъ энергіи магнитной поляризаціи ээира

$$E^2 = M^2 = p.$$

Чтобы объяснить какъ возникаетъ свѣтовое давленіе, Максвеллъ пользуется основнымъ свойствомъ силовыхъ линій Фарадея; это свойство заключается въ томъ, что въ направленіи дѣйствія этихъ силъ поляризованная среда испытываетъ натяженіе, а въ плоскости, перпендикулярной къ этому направленію, линіи силъ, отталкиваясь другъ отъ друга и стремясь распространиться въ средѣ, производятъ механическое давленіе другъ на друга и на поверхности, ограничивающія среду.

Въ § 792 своего „Трактата объ электричествѣ и магнетизмѣ“ Максвеллъ говоритъ слѣдующее:

„Величина p представляетъ собою числовое значеніе половины всей энергіи въ единицѣ объема ~~этого~~“

находится въ немъ и какъ энергія электрической поляризации и какъ энергія магнитной поляризации среды

„Вслѣдствіе существованія магнитной энергіи (какъ то указано въ § 643 „Трактата“) въ направленіи магнитныхъ силъ возникаетъ натяженіе, величина котораго равна p , а въ направленіи перпендикулярномъ къ нимъ давленіе, имѣющее ту-же величину p .

„Совмѣстное дѣйствіе электрической и магнитной поляризации выражается въ формѣ давленія, дѣйствующаго въ направленіи распространенія волны; величина его равна $2p$.

„Въ свою очередь $2p$ представляетъ собою полную энергію луча въ единицѣ объема, а поэтому въ средѣ, въ которой распространяются волны ¹⁾ въ направленіи ихъ распространенія возникаютъ силы давленія, которыя въ каждой точкѣ пространства численно равны величинѣ энергіи въ каждой единицѣ объема“.

Результатъ, указанный Максвелломъ для пучка параллельныхъ лучей, можно написать и въ такой формѣ: обозначимъ черезъ E количество энергіи, падающей нормально на плоское зеркало въ 1 секунду въ формѣ пучка параллельныхъ лучей, черезъ V скорость свѣта въ средѣ, окружающей пластинку, черезъ ρ коэффициентъ отраженія поверхности, — тогда величина свѣтового давленія p будетъ

$$p = \frac{E}{V}(1 + \rho).$$

Отсюда слѣдуетъ, что свѣтъ давить на зеркальную поверхность вполне отражающую свѣтъ ($\rho = 1$) съ си-

1) Максвеллъ обобщаетъ выводъ, сдѣланный имъ выше для случая поляризованнаго пучка монохроматическаго свѣта на общій случай естественнаго свѣта, такъ какъ силы давленія пропорциональны квадратамъ величинъ электрической и магнитной поляризации и при естественномъ свѣтѣ эти величины — величины давленій суммируются.

люю въ два раза большею, чѣмъ на черную поверхность, вполнѣ поглощающую свѣтовые лучи.

Максвеллъ воспользовался найденнымъ имъ соотношеніемъ между энергіею луча и величиною производимаго имъ давленія, чтобы опредѣлить величину давленія солнечнаго свѣта на черную поверхность.

Въ § 793 своего „Трактата“ онъ говоритъ:

„Если положить, что въ ясную погоду солнечный свѣтъ, поглощаемый однимъ квадратнымъ метромъ даетъ 124,1 килограмметра энергіи въ секунду, то на эту поверхность онъ давитъ въ направленіи своего паденія съ силою въ 0,41 миллиграмма.

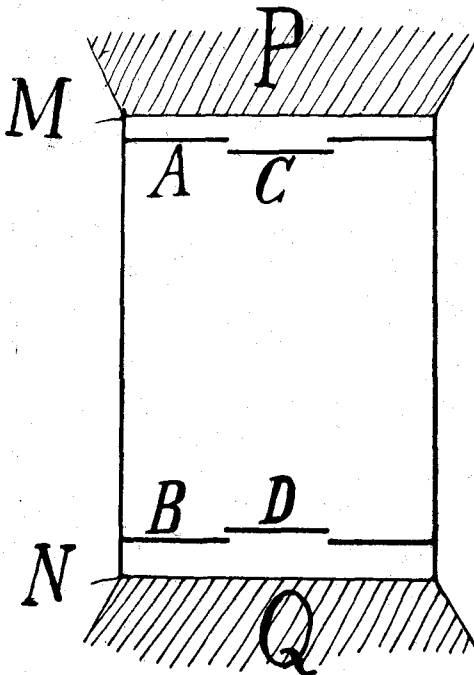
Доказательство Бартоли.

Совершенно не касаясь механизма свѣтовыхъ колебаній, Бартоли показалъ, что и разсужденія, которыя сводятся ко второму принципу термодинамики, приводятъ къ альтернативѣ: или признать существованіе свѣтового давленія, или отказаться отъ второго принципа термодинамики.

* Разсужденія Бартоли были слѣдующія:

Представимъ себѣ цилиндръ изъ вполнѣ отражающаго вещества съ двумя поршнями, изъ такого же вещества, *A* и *B*. Эти поршни имѣютъ заслонки *C* и *D*, которыя могутъ открываться и такимъ образомъ сообщать между собою пространства между поршнями. Основанія цилиндра *M* и *N* вполнѣ проницаемыя для тепла находятся въ соприкосновеніи съ двумя источниками тепла *P* и *Q*, причеиъ температура *P* пусть будетъ больше *Q*. Цилиндръ внутри совершенно не содержитъ вещества. Если мы отодвинемъ поршни *A* и *B* на нѣкоторое разстояніе отъ *P* и *Q*, то въ пустое пространство подъ поршнемъ будетъ переходить радіація отъ тѣлъ *P* и *Q* до тѣхъ поръ, пока плотность энергіи не достигнетъ такой величины, когда радіація и излу-

чающее тѣло будутъ находиться въ равновѣсіи между собой. Плотность энергии, понятно, будетъ больше въ томъ пространствѣ, которое соприкасается съ тѣломъ болѣе высокой температуры.



Черт. 2.

* Сдѣлаемъ теперь такой воображаемый опытъ съ нашимъ приборомъ: откроемъ заслонку D и пустимъ радиацию болѣе холоднаго тѣла Q въ пространство AB . Это пространство черезъ нѣкоторое время наполнится радиацией, имѣющей плотность соответствующую температурѣ тѣла Q . Если послѣ этого мы, закрывъ заслонку D , начнемъ двигать поршень B , то лучистая энергія въ пространствѣ AB , заключенная въ вполнѣ

отражающія стѣнки, будетъ все время оставаться въ этой камерѣ въ неизмѣнномъ количествѣ и такъ какъ объемъ пространства уменьшается, то плотность энергіи при такомъ сжатіи будетъ возрастать. Мы можемъ сжатіе сдѣлать настолько большимъ, что плотность энергіи въ пространствѣ AB будетъ больше, чѣмъ плотность энергіи подь поршнемъ A . Если мы достигнемъ этого момента, то открывъ заслонку C , можно заставить переходить сжатую радіацію изъ объема AB подь поршень A въ тѣло P , которое при этомъ будетъ нагрѣваться.

* Въ результатѣ опыта, который произведенъ въ пустотѣ, получается такимъ образомъ переходъ тепла отъ холоднаго тѣла къ теплomu P , что представляется невозможнымъ безъ затраты работы, а слѣдовательно, при такомъ сжатіи радіаціи эта послѣдняя должна давить на поршень, и это давленіе вызываетъ при перемѣщеніи B затрату той работы, за счетъ которой происходитъ переносъ тепла.

* Далѣе теоретическое истолкованіе давленія свѣта было сдѣлано въ высшей степени изящной формѣ Ларморомъ, причемъ его формулы для давленія, выведенныя изъ чисто механическихъ соотношеній, приводятъ къ тѣмъ же соотношеніямъ, какъ и изслѣдованія Максвелла.

Опытныя изслѣдованія давленія свѣта на твердыя тѣла.

Послѣ тѣхъ первыхъ попытокъ непосредственно измѣрить давленіе свѣта, которыя были предприняты Фонтенелемъ (1708), Де-Мейраномъ (1754) и Френелемъ (1823), когда порядокъ величины ожидаемаго давленія и, встрѣчающихся въ опытѣ пертурбирующихъ причинъ были еще совершенно неизвѣстны, задача экспериментальнаго изслѣдованія свѣтового давленія,

послѣ обнаруженія работъ Максвелла и Бартоли, была поставлена въ гораздо болѣе благоприятныя условія: во-первыхъ, какъ электромагнитная теорія свѣта, такъ и термодинамическія соображенія давали возможность впередъ вычислить абсолютную величину того давленія, которое при данномъ источникѣ свѣта экспериментаторъ могъ ожидать въ своихъ опытахъ—что позволяло ему строить измѣрительные приборы необходимой и достаточной чувствительности; во-вторыхъ работы Крукса предостерегали отъ тѣхъ опасностей, которыя были сопряжены съ радиометрическими эффектами и, наконецъ, въ-третьихъ, экспериментальныя средства даже въ скромно-обставленныхъ лабораторіяхъ—электрической фонарь и ртутный насосъ—давали возможность приступить къ изслѣдованію свѣтового давленія.

Какъ указывалось выше, Максвеллъ самъ впервые вычислилъ абсолютную величину свѣтового давленія.

Такъ какъ давленіе дѣйствуетъ только на ту поверхность тѣла, которая обращена къ источнику свѣта, то самое тѣло должно какъ бы отталкиваться лучами въ направленіи ихъ распространенія.

Исходя изъ своихъ термодинамическихъ соображеній, Бартоли ¹⁾, независимо отъ Максвелла, и, очевидно, не зная полученныхъ имъ результатовъ, вычислилъ, что „давленіе солнечныхъ лучей нормально, падающихъ на плоскую зеркальную поверхность, составляетъ 0,84 миллиграмма на каждый квадратный метръ поверхности“.

Вычисления Максвелла, сдѣланныя имъ для вполнѣ поглощающей поверхности, дали-бы, для случая нормальнаго паденія солнечныхъ лучей на зеркало, давленіе въ $2 \times 0,41 = 0,82$ миллиграмм., т. е. величину совпадающую съ вычислениями Бартоли.

¹⁾ A. Bartoli. Exners Rep. der Phys. 21. p. 203 (1885).

Если для изслѣдованія свѣтового давленія брать небольшіе источники свѣта (вольтову дугу) и пользоваться небольшими крылышками, то надо имѣть ввиду, что абсолютныя величины ожидаемыхъ давленій будутъ въ десятки тысячъ разъ меньше тѣхъ, которыя Максвеллъ и Бартоли вычислили для одного квадратнаго метра. Но всякій, кто работаль съ крутильными вѣсами, знаетъ, что еще гораздо меньшія силы можно измѣрять при ихъ помощи, и что, слѣдовательно, построить приборъ достаточно чувствительный для измѣренія вычисленнаго свѣтового давленія не представляло какихъ либо затрудненій.

Затрудненія въ изслѣдованіи свѣтового давленія возникаютъ не со стороны чувствительности приборовъ, а со стороны тѣхъ добавочныхъ „радіометрическихъ“ силъ Крукса, которыя, налагаясь на эффекты свѣтового давленія, могутъ препятствовать его измѣренію. На то, какъ велики могутъ быть эти пертурбирующія силы, указаль впервые Цельнеръ ¹⁾, который, какъ астрофизикъ, интересовался экспериментальнымъ обоснованіемъ свѣтового давленія; подсчитывая то свѣтовое давленіе, которое въ одномъ изъ опытовъ Крукса лучи лампы производили на подвижное крылышко радіометра, Цельнеръ указаль на то, „что величина давленія, вычисляемая по Максвеллу, въ этомъ случаѣ была въ 100.000 разъ меньше того радіометрическаго эффекта, который наблюдалъ Круксъ“.

Экспериментальная задача, которую приходилось разрѣшить, состояла въ томъ, чтобы найти такія условія опыта, при которыхъ радіометрическіе эффекты были-бы настолько малы, чтобы они не превосходили небольшой доли свѣтового давленія и тогда дѣлать опыты съ двумя крылышками, у которыхъ радіометри-

¹⁾ F. Zöllner. Pogg. Ann. 160 p. 155 (1877).

ческіе эффекты имѣютъ завѣдомо различныя величины и находятся въ заранѣе извѣстномъ отношеніи: тогда изъ такихъ двухъ наблюденій можно опредѣлить величину пертурбирующаго эффекта и величину свѣтового давленія.

Когда я рѣшился приступить къ опытному изслѣдованію свѣтового давленія ¹⁾, то вопросъ, возможно-ли вообще обойти пертурбирующее дѣйствіе радіометрическихъ силъ, представлялся вопросомъ открытымъ: если радіометрическія силы при извѣстныхъ условіяхъ были въ тысячу разъ больше силъ свѣтового давленія, то надо было найти такія условія, въ которыхъ эти радіометрическія силы были бы въ десятки тысячъ разъ меньше, чѣмъ въ опытахъ Крукса, и тогда только приступать къ изслѣдованію свѣтового давленія съ расчетомъ на успѣхъ.

Прежде нежели найти окончательную форму измѣреній, я въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ подготавлиалъ ихъ изучая лабораторными опытами сложный комплексъ явленій, который носитъ общее названіе „радіометрическихъ“ (кинетической теоріи этихъ явленій нѣтъ и до настоящаго времени). Теперь, спустя много лѣтъ послѣ того, какъ прямой путь изслѣдованія уже найденъ, вся эта длинная, кропотливая, предварительная работа кажется лишней, но я думаю, что безъ основательнаго знанія тѣхъ, не всегда легко объяснимыхъ радіометрическихъ явленій, съ которыми пришлось познакомиться, я не пошелъ бы по тому прямому пути, по которому шелъ въ окончательныхъ опытахъ. Этотъ путь былъ указанъ самимъ Максвелломъ, который въ своемъ „Трактатѣ объ электричествѣ и магнетизмѣ“ въ § 793 говоритъ:

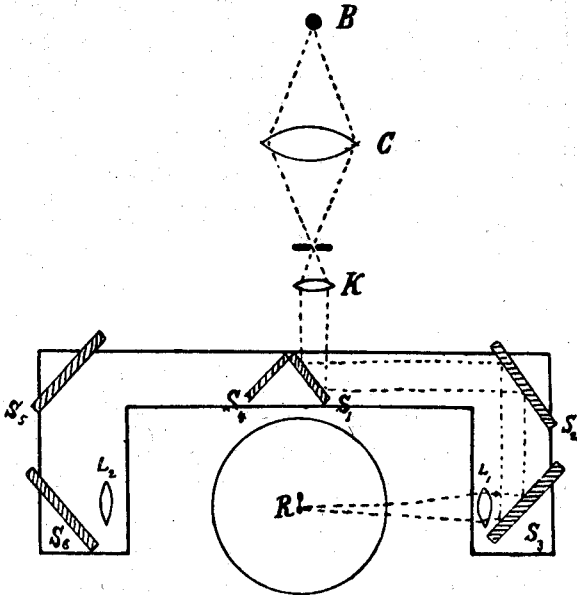
¹⁾ П. Лебедевъ. Ж. Р. Ф. Х. О. подробнѣе въ: *Annal. der Phys.* (n) 6 p. 433. 1901. Тамъ же указана и вся литература.

„Концентрированный электрический свѣтъ вѣроятно будетъ производить большее давленіе, чѣмъ свѣтъ солнца и не представляется невозможнымъ, что лучи такого свѣта, если ихъ направить на тонкій металлическій легкоподвижный листочекъ, подвѣшенный въ пустотѣ, будетъ производить на него замѣтный механический эффектъ“.

* Классическая работа П. Н. Лебедева надъ механическимъ дѣйствіемъ свѣтовыхъ волнъ, доложенная имъ на парижскомъ конгрессѣ 1900 года и напечатанная затѣмъ въ *Annalen der Physik* 1901 г., является осуществленіемъ выше приведенной мысли Максвелла. Въ опытахъ П. Н. Лебедева свѣтовой лучъ отъ вольтовой дуги падалъ на заключенное въ сосудѣ легкое крылышко и, закручивая нить, на которой было прикрѣплено это послѣднее, давалъ возможность измѣрять механическое дѣйствіе давленія свѣта. Съ другой стороны, зная падающую на крылышко энергію изъ калориметрическихъ наблюденій и отражательную способность крылышка, можно было тоже давленіе вычислить по формулѣ Максвелла. Опыты дали прекрасно совпадающій съ теоріей результатъ и показали впервые, что свѣтъ дѣйствительно давитъ на тѣла. Главнѣйшими затрудненіями въ опытахъ П. Н. Лебедева, были понятно, тѣ же радіометрическія силы, которыя помѣшали Круксу обнаружить давленіе свѣта, и которыя П. Н. Лебедевъ въ высшей степени изящнымъ и остроумнымъ способомъ сумѣлъ исключить.

* Лучи свѣта отъ дуговой лампы *B*, рядомъ линзъ *C*, *K* обращались въ параллельный пучекъ лучей, который могъ отражаться отъ зеркала S_1 , или S_4 , и такимъ образомъ зеркалами S_2 и S_3 или S_4 , S_5 и S_6 и линзами L_1 и L_2 направляться на противоположныя стороны легкаго крылышка *R*, помѣщеннаго въ центрѣ большого (до 20 см. діаметромъ) баллона, изъ котораго воз-

духъ былъ выкаченъ. Баллонъ былъ взятъ возможно большаго діаметра для того, чтобы нагреваніе стѣнокъ, отъ котораго, между прочимъ, зависели радіометрическія силы, было меньше. Само крылышко имѣло форму изображенную на чер. 4 и было подвѣшено на той тонкой стеклянной нити,



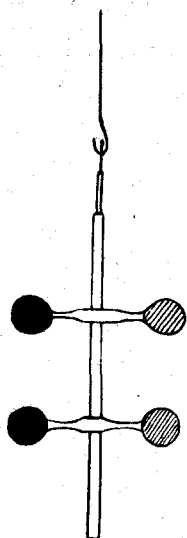
Черт. 3.

закручиваніе которой и давало возможность измѣрить силу давленія свѣта.

* Толщина пластинокъ выбиралась такой, чтобы температуры обѣихъ поверхностей были бы по возможности одинаковы и чтобы эта разница не создавала радіометрическихъ силъ. Откачавъ воздухъ до крайнихъ возможныхъ предѣловъ и освѣщая приборъ то съ одной, то съ другой стороны, можно было, какъ это показали

П. Н. Лебедевъ, совершенно исключить радиометрическія силы и измѣрить только давленіе свѣтового пучка.

Вскорѣ послѣ того какъ я опубликовалъ приведенныя выше изслѣдованія по свѣтовому давленію, появи-



Черт. 4.

лась работа двухъ американскихъ физиковъ Никольса и Гулля ¹⁾, которые подошли къ измѣреніямъ свѣтового давленія нѣсколько инымъ и, какъ мнѣ кажется, не достаточно убѣдительнымъ путемъ. Никольсъ и Гулля ограничили свои изслѣдованія изученіемъ механическаго дѣйствія свѣта на стеклянныя крылышки, посеребренныя съ одной стороны, и заставляли падать свѣтъ то непосредственно на металлическій слой серебра, то на тотъ же слой со стороны стекла. Радиометрическій эффектъ, даваемый такимъ крылышкомъ былъ очень значителенъ, такъ какъ то тепло, которое поглощалось въ серебрянной пленкѣ, отдавалось съ одной стороны,

непосредственно окружающему газу, а съ другой, черезъ значительную толщю стекла, которое плохо проводитъ тепло; такое крылышко даже при предѣльно большихъ разряженіяхъ даетъ рѣзко-выраженныя радиометрическія явленія и для изслѣдованія свѣтового явленія непригодно. Никольсъ и Гулля въ своихъ опытахъ стремились избавиться отъ радиометрическихъ эффектовъ, воспользовавшись указаніемъ Крукса,

¹⁾ E. F. Nichols and G. F. Hull. *Annal. der Phys.* (U) 12. p. 225. 1903.

что для каждаго радиометра, въ зависимости отъ индивидуальных особенностей его конструкции, можно найти такое давленіе окружающаго воздуха, при которомъ радиометрической эффектъ, мѣняя свой знакъ, переходитъ черезъ нуль; для того прибора, которымъ пользовались Никольсъ и Гулль, они эмпирически нашли это давленіе, (оно оказалось около $p=12$ mm. ртути) и при этомъ давленіи, пользуясь кратковременнымъ освѣщеніемъ крылышка, изслѣдовали механическое дѣйствіе свѣта на крылышко. Чтобы отъ измѣреній направляющей силы подвѣса, плеча крылышка, его отклоненія и энергіи падающаго пучка лучей перейти къ вычисленію свѣтового давленія, Никольсъ и Гулль должны основываться на гипотезѣ, что и при тѣхъ кратковременныхъ освѣщеніяхъ, которыми они пользовались, имѣетъ мѣсто тоже равновѣсіе радиометрическихъ эффектовъ, которое наблюдается при стационарномъ освѣщеніи.

Пользуясь этой гипотезой, Никольсъ и Гулль вычисляютъ изъ своихъ наблюденій величины свѣтового давленія, которыя въ предѣлахъ одного процента совпадаютъ съ Максвелловскими.

Такимъ образомъ изслѣдованіе Никольса и Гулля, произведенное при наивыгоднѣйшемъ давленіи въ 12 mm., можно разсматривать, какъ опытное доказательство существованія свѣтового давленія, т. е. того непосредственнаго дѣйствія свѣтовыхъ волнъ на твердыя тѣла, которое не требуетъ присутствія газа, только допуская вмѣстѣ съ ними указанную выше гипотезу, которую надо принять на вѣру, такъ какъ нѣтъ ни экспериментальныхъ, ни теоретическихъ ея обоснованій.

Мнѣ кажется, что было бы правильнѣе воспользо-ваться работой Никольса и Гулля для обратнаго заключенія, а именно, допуская существованіе свѣтового давленія, утверждать, что открытый Круксомъ

любопытный переходъ радиометрическихъ явленій черезъ нуль при опредѣленныхъ давленіяхъ, не зависитъ отъ продолжительности освѣщенія.

Рядъ интересныхъ опытовъ по давленію свѣта сдѣлалъ Пойнтингъ, изслѣдуя силы, возникающія при наклонномъ паденіи свѣта на поглощающія поверхности, при полномъ внутреннемъ отраженіи и при преломленіи пучка въ прозрачныхъ средахъ и, наконецъ, Пойнтингъ попытался измѣрить тѣ реакціонныя силы, которыя дѣйствуютъ на излучающее тѣло. Самую главную экспериментальную трудность этихъ изслѣдованій, а именно возникновеніе добавочныхъ радиометрическихъ силъ, Пойнтингъ остроумно обходитъ въ первомъ случаѣ—располагая опытъ такъ, чтобы радиометрическія силы проходили черезъ ось вращенія прибора и не могли его поворачивать, во второмъ—радиометрическихъ силъ нѣтъ, а въ третьемъ—Пойнтингъ пользуется очень высокимъ разряженіемъ.

Опытное изслѣдованіе давленія волнуемой жидкости и звуковыхъ волнъ на твердыя тѣла.

Аналогія, которая существуетъ между свѣтовыми, звуковыми и гидродинамическими колебаніями не ограничивается только кинематической стороною явленія, а идетъ гораздо глубже и захватываетъ ихъ динамическія свойства. Вотъ почему уже Престонъ высказалъ предположеніе, а Лордъ Релей его обосновалъ теоретически, что всякое волнообразное движеніе, распространяющееся въ средѣ съ конечной скоростью, производитъ давленіе на препятствія, поставленныя на пути.

Опытная провѣрка этого предположенія была произведена въ Физической Лабораторіи Московскаго Университета ¹⁾ для случая волнующейя жидкой поверхности и для звуковыхъ волнъ.

Давленіе волнующейя жидкости на препятствія, задерживающія распространеніе волнъ, легко наблюдать, если во время купанья (въ ваннѣ, или въ пруду) ритмическимъ движеніемъ руки возбуждать волны и заставлятъ ихъ отражаться отъ плавающего тѣла (бруска дерева): какъ только волны дойдутъ до бруска и начнутъ отъ него отражаться, такъ тотчасъ-же брусокъ начинаетъ двигаться съ замѣтною скоростью въ направленіи распространенія волнъ.

Если на поверхности воды плаваютъ мелкіе предметы (напр., опилки); которые волнъ не задерживаютъ, то легко видѣть, что волны двигаютъ ихъ вверхъ и внизъ, но не увлекаютъ съ собою и что, слѣдовательно, движеніе плавающего тѣла обусловлено только силами падающихъ на него волнъ, а не движеніемъ самой жидкости.

Для количественной провѣрки зависимости давленія волнъ отъ энергіи и скорости распространенія волнъ Капцовъ воспользовался приспособленіемъ, [„которое позволяло мѣрить механически силу давленія водяныхъ волнъ и одновременно измѣряя ихъ высоту и энергію падающей волны. Эти опыты точно такъ же, какъ и опыты Альтберга надъ давленіемъ звуковыхъ волнъ, произведенные по методу, представляющему полную аналогію съ методомъ П. Н. Лебедева для изслѣдованія давленія свѣта, показали полную приложимость теоріи Релея для всѣхъ случаевъ

¹⁾ Въ лабораторіи и по предложенію П. Н. Лебедева.

(П. Лазаревъ).

волнообразнаго движенія и такимъ образомъ завершили тѣ блестящія работы, которыя были начаты П. Н. Лебедевымъ“] ¹⁾.

Давленіе свѣта на газы. *

Окончивъ свою замѣчательную работу, касающуюся давленія свѣта на твердыя тѣла, П. Н. Лебедевъ перешелъ къ изслѣдованію давленія свѣта на газы.

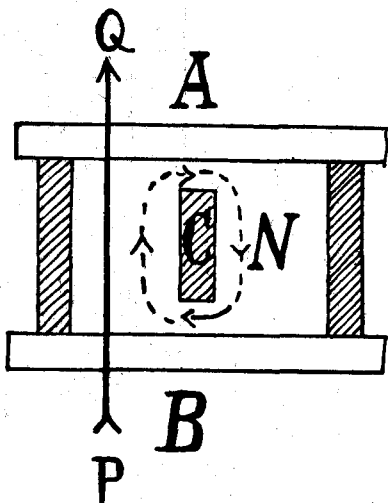
Если первый вопросъ представлялся труднымъ для экспериментальной провѣрки, то второй вопросъ являлся почти безнадежнымъ и нужно было имѣть экспериментальный талантъ П. Н. Лебедева, чтобы рѣшиться взяться за этотъ вопросъ.

Вооруженный своими предшествовавшими опытами надъ механическими силами въ колеблющихся резонаторахъ, П. Н. Лебедевъ представлялъ себѣ, что и молекулы какъ резонаторы, должны подъ вліяніемъ падающей волны испытывать отталкиваніе и это отталкиваніе является по Лебедеву причиной кометныхъ хвостовъ.

Методъ, которымъ работалъ П. Н. Лебедевъ, состоялъ въ томъ, что свѣтъ PQ , проходя черезъ газъ, заключенный въ коробкѣ AB , и разгороженный стѣнкой C на два отдѣленія, приводился въ круговоротъ въ направленіи указанной на черт. 5 стрѣлки. Если исключить тѣ движенія газа, которыя зависятъ отъ неравномѣрности нагрѣванія различныхъ слоевъ, то весь эффектъ будетъ зависѣть только отъ свѣтового давленія и это давленіе можно смѣрить, помѣстивъ въ темномъ пространствѣ N небольшой поршень, не прилегающій къ стѣнкамъ, на который газъ будетъ давить при своемъ движеніи. Слѣдовательно, чрезвычайно важнымъ обстоя-

¹⁾ Скобками очерчена вставка П. П. Лазарева.

тельствомъ, которое несомнѣнно могло обезпечить результатъ опыта, было устраненіе тепловыхъ движеній газа, зависящихъ отъ неравномѣрности нагрѣванія и это обстоятельство разрѣшается П. Н. Лебедевымъ очень простымъ и изящнымъ способомъ. Газъ вообще плохой проводникъ тепла, и только водородъ проводитъ тепло очень хорошо, поэтому, подмѣшавъ ко всѣмъ изслѣдуемымъ газамъ въ небольшомъ количествѣ водородъ, можно настолько хорошо выровнять температуру въ различныхъ слояхъ, что конвекція, зависящая отъ нагрѣванія, не будетъ давать сколько-нибудь замѣтнаго эффекта. Освѣщая слой, то съ одной, то съ другой стороны, и одновременно замѣчая отклоненіе поршня можно смѣрять величину давленія свѣтовыхъ лучей на газъ.

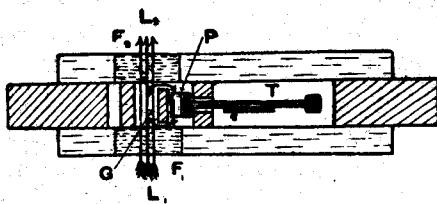
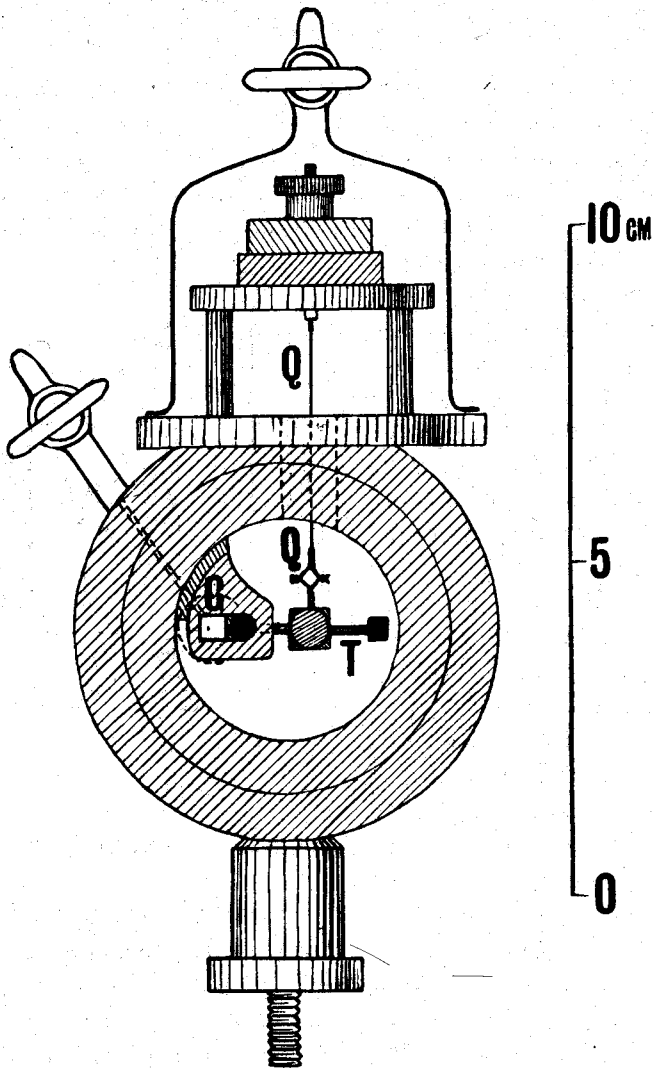


Черт. 5.

Весь приборъ въ деталяхъ представленъ на чертежѣ 6, причемъ G есть коробка, въ которой производится весь опытъ. $Q T$ есть давилный аппаратъ (Свѣтъ идетъ либо спереди назадъ, либо сзади напередъ).

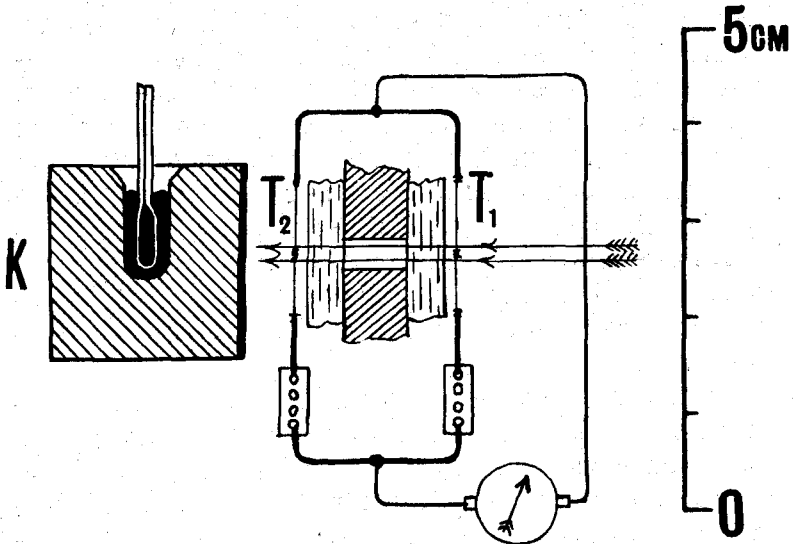
Поглощеніе свѣта въ газѣ измѣрялось термоэлементами $T_1 T_2$, а энергія пучка свѣта маленькимъ калориметромъ K , помѣщеннымъ на пути лучей. См. черт. 7.

Насколько сложны и трудны были опыты видно изъ того, что однихъ окончательныхъ приборовъ было построено до 20, а самые опыты съ перерывами заняли время въ цѣлыя 8 лѣтъ. Часто казалось, что опыта



Черт. 6.

нельзя довести до конца, что само явление таково, что изъ-за побочныхъ причинъ его невозможно наблюдать, однако, П. Н. Лебедеву удалось всегда устранить затрудненіе и въ 1907 году, на I Менделѣевскомъ Съездѣ было доложено предварительное сообщеніе объ этой за-



Черт. 7.

мѣчательной работѣ, которая наконецъ, въ 1910 году появилась въ окончательномъ видѣ въ печати.

* Работы П. Н. Лебедева являются примѣрами классической ясности и простоты замысла и той необыкновенной экспериментаторской ловкости и выдержки, которая является только у единичныхъ лицъ, лицъ, съ именами которыхъ навѣки остаются связанными цѣлые отдѣлы науки.

Роль свѣтового давленія въ космическихъ явленіяхъ.

Тѣ силы, съ которыми дѣйствуетъ яркій солнечный свѣтъ, или концентрированный свѣтъ вольтовой дуги на твердыя и газообразныя тѣла, насъ окружающія, такъ малы по сравненію съ силами тяготѣнія, что только особыми приѣмами ихъ удастся обнаружить въ нашихъ лабораторіяхъ. Но въ межзвѣздномъ пространствѣ силы свѣтового давленія, дѣйствуя на тѣла съ малыми массами не только становятся соизмѣримыми съ силами тяготѣнія этихъ массъ, но могутъ и во много разъ превосходить ихъ по величинѣ. Наиболѣе яркое проявленіе свѣтового давленія мы наблюдаемъ на образованіяхъ кометныхъ хвостовъ и именно объясненіе особенностей формы этихъ хвостовъ повело къ выясненію роли свѣтового давленія въ космическихъ явленіяхъ.

Фактъ, что кометные хвосты идутъ отъ головы кометы въ направленіи противоположномъ солнцу былъ извѣстенъ уже очень давно, такъ уже Сенека ¹⁾ говоритъ „*comae radios solis effugunt*“,—но только Кепплеръ въ своемъ трактатѣ „*De Cometis*“ *Libellus secundus „Cometarum physiologia“* (Augustae Vindelicorum—Anno 1619) далъ намъ то представленіе о кометахъ, которое въ послѣдующія триста лѣтъ было дополнено только въ деталяхъ.

Вотъ что говоритъ Кепплеръ о кометахъ:

„О происхожденіи и натурѣ кометъ такъ понимать должно: какъ воды, преимущественно соленныя, рыбами, такъ и эфиръ кометами изобилуетъ; и какъ рыбы въ волнахъ, такъ и кометы въ эфирѣ носятся“.

„Что кометы главнымъ образомъ сверхъ Луны ²⁾, въ

¹⁾ Seneca. Ad Lucilium Naturalium Quaestionum. Lib. VII. 20.

²⁾ До Кепплера астрономы полагали, что кометы носятся въ воздушной атмосферѣ земли.

самой глубинѣ ээира находятся, достаточно наблюденіями Тихона Браге доказано и примѣрами недавнихъ кометь подтверждается“.

„Не менѣе, полагаю, ээиръ кометами изобилуетъ, какъ океанъ рыбами. Тому же что рѣдко намъ являются причиною служить огромная обширность ээира. Часто онѣ даже прежде перестаютъ быть видимыми, чѣмъ существовать“.

„По натурѣ всѣхъ вещей, полагаю, что когда матерія въ пространство вселенной извержена бываетъ и сей пропускающій свѣтъ шаръ (голова кометы) прямыми лучами солнца ударяется и пронизывается, то изъ внутренней матеріи кометы нѣчто имъ слѣдуетъ и тою же дорогою исходить, которой солнечные лучи пробиваютъ и тѣло кометы освѣщаютъ, истощаютъ и, наконецъ, уничтожаютъ; какъ шелкопрядъ, соткавъ конкъ, такъ и комета, испустивъ хвостъ, истощается и, наконецъ, умираетъ“.

„Указаніе на причину что изъ матеріи кометнаго тѣла нѣчто непрерывно изгоняется солнечными лучами, силою оныхъ, подалъ мнѣ хвостъ кометы, о коемъ извѣстно, что онъ всегда удаляется въ сторону противоположную Солнцу и лучами Солнца формируется. И кромѣ сего невозможно, чтобъ въ чистомъ веществѣ ээира, за кометой находящимся, были бы видны лучи солнца, если бы за кометой не распространялась нѣкая матерія. Ибо у насъ видѣть солнечные лучи невозможно кромѣ какъ въ матеріи, оныя воспринимающей“.

„Изъ сего явствуетъ почему хвосты кометь искривляются. Лучи солнца въ чистомъ веществѣ ээира искривляться не могутъ. Ибо въ оптикѣ поучаемся, что лучи свѣтиль суть не дуги, но прямыя линіи. Итакъ, если, не взирая на то, извѣстно, что кометный хвостъ получаетъ свой образъ отъ солнечныхъ лучей,

то должно принять, что въ хвостахъ или волосахъ кометы своя же матерія существуетъ, исторженная изъ тѣла кометы солнечными лучами“.

„Дабы изъяснить сіе примѣромъ предположимъ, что дуетъ вѣтеръ, хотя въ небѣ вѣтры и не бываютъ. Сіе представленіе дѣлается весьма близкимъ истинѣ, если разсматривать появленіе кометы въ созвѣздіи Вѣсовъ въ декабрѣ 1618 г., ибо въ какую сторону отклонялся хвостъ отъ противостоянію солнцу, въ ту же и сама фигура хвоста уклонялась своимъ концомъ и какъ-бы боковой вѣтеръ, подметая, собиралъ кучу зерна въ линію и переносилъ за нее. Или-же вообрази себѣ, что скорость движенія головы кометы такъ велика, что хвостъ, который все снова и снова извергается по направленію противоположному солнцу, отстаеетъ отъ головы меньше вблизи головы, больше въ концѣ. Замѣчается во многихъ кометахъ, что онѣ имѣли хотя и не кривые, а прямые хвосты, какъ комета 1607 г. ¹⁾, но всѣ хвосты нѣсколько отклонены отъ противостоянія съ солнцемъ, что ясно было видно и на кометѣ 1618 г. Сверхъ того въ кометахъ наблюдали хвосты раздѣленные, каковыя видимы были у кометы 1577 года. Отсюда слѣдуетъ, что поверхность шара (головы) кометы весьма неодинакова была, а поэтому каждый лучъ хвоста истекалъ изъ опредѣленной и отдѣльной части этой поверхности“.

„Итакъ, не мало не сомнѣвайся, читатель, что хвосты кометъ образуются солнцемъ, изъ матеріи, изъ головы изгнанной и что свѣченіе ихъ есть освѣщеніе солнцемъ, а не огонь какой либо“.

Прошло болѣе двухсотъ лѣтъ послѣ того, какъ Кеплеръ далъ основныя представленія объ образованіи ко-

¹⁾ Комета 1607 года, которую наблюдалъ Кеплеръ, была періодическая комета Галлея.

метныхъ хвостовъ прежде нежели Бессель ¹⁾ (1836) развилъ строгую механическую теорію ихъ формъ.

Бессель принималъ въ своихъ разсужденіяхъ, что отталкивательная сила солнца убываетъ съ квадратомъ разстоянія ²⁾, т. е. по тому же закону, какъ и силы гравитаціонныя, какъ убываетъ и яркость свѣта и что, слѣдовательно, частица хвоста, отрываясь отъ головы кометы начинаетъ двигаться по траекторіи, соответствующей отталкивательной силѣ солнца—т. е. по гиперболѣ, въ одномъ изъ фокусовъ которой находится Солнце; голова кометы, двигаясь по параболѣ, непрерывно выдѣляетъ частицы, которыя двигаются по вѣтвямъ гиперболы въ направленіи противоположномъ солнцу; если по истеченіи опредѣленнаго интервала времени, въ теченіе котораго голова кометы проходитъ часть своего пути, опредѣлить геометрическое мѣсто частицъ, выдѣленныхъ ею на этомъ пути, то мы получимъ ихъ изодинаму или „хвостъ“ кометы. Искривленіе этого хвоста, а также его наклоненіе къ траекторіи кометы будетъ зависѣть отъ величины отталкивательной силы Солнца и Бессель указалъ какъ обратно изъ измѣреній положенія и кривизны хвоста можно опредѣлить

¹⁾ Bessel. *Astronom. Nachrichten* 13. p. 185. 1836.

²⁾ Относительно физической причины отталкивательной силы солнца Бессель склонялся къ гипотезѣ Олъберса, что это явленіе обусловлено тѣми электрическими зарядами, которые несутъ солнце и частицы кометнаго хвоста. Самъ Олъберсъ (*W. Olbers Leben und Werke* 1. p. 331. Berlin 1894) очень осторожно высказалъ свою гипотезу, указывая лишь, что „при разборѣ этихъ явленій трудно удержаться чтобы не подумать, что здѣсь имѣется нѣчто аналогичное нашимъ электрическимъ притяженіямъ и отталкиваніямъ. Бессель воспользовался гипотезой Олъберса, потому что она сразу давала законъ взаимодѣйствія (законъ Кулона) и не остановился на трудности физической интерпретаціи процесса заряженія частичекъ, выдѣляемыхъ головою кометы. Замѣна электрическихъ силъ гипотезы Олъберса свѣтовымъ давленіемъ никакихъ измѣненій въ теоріи Бесселя не требуетъ.

числовую величину отношенія между отталкивательной силой Солнца и его притяженіемъ.

Особенно многимъ обязана теорія кометныхъ хвостовъ многочисленнымъ изслѣдованіямъ *Ө. А. Бредихина* ¹⁾, начало которыхъ онъ положилъ въ своей диссертациі „О хвостахъ кометъ“ (Москва 1862).

Изслѣдуя хвосты 50 кометъ *Бредихинъ* нашель, что по величинѣ отношенія тѣхъ силъ, съ которыми вещества, входящія въ ихъ составъ отталкиваются солнцемъ къ силамъ его притяженія, всѣ изслѣдованные хвосты можно раздѣлить на три типа:

I типъ—отталкивающая сила	18
II „ „ „	„ 2,2 до 0,5
III „ „ „	„ 0,3 „ 0

Новѣйшія наблюденія ²⁾ показали, что напр., для хвоста кометы 1903 IV величина отталкивательной силы доходить до 89.

Спектроскопическія изслѣдованія показали, что въ хвостахъ кометъ находятся, какъ мелкія твердыя частички, отражающія падающій на нихъ свѣтъ солнца въ видѣ слабого непрерывнаго спектра, такъ и матерія въ газообразномъ состояніи, флуоресцирующая подъ вліяніемъ солнечныхъ лучей и дающая ярко выраженные спектры углеродовъ, натрія и т. д.

Въ приложеніи теоріи свѣтового давленія къ объясненію формъ кометныхъ хвостовъ задача сводится такимъ образомъ къ опредѣленію отношенія величины свѣтового давленія, которое производятъ лучи солнца на малыя тѣла и отдѣльныя газовыя молекулы къ вели-

¹⁾ Th. Bredichin's. Mechanische Untersuchungen über Kometenformen (in systematischer Darstellung von R. Jaegermann) St. Petersburg 1903. (Изданіе Академіи Наукъ).

²⁾ См. A Kopff. Astronom. Nachrichten 179. p. 216. 1908.

чинѣ той гравитаціонной силы, съ которою солнце притягиваетъ ихъ.

Первая попытка не только объяснить отъталкивательныя силы солнца свѣтовымъ давленіемъ, но и количественно подсчитать ихъ была, сдѣлана Фитцджеральдомъ ¹⁾.

Вотъ какъ излагаетъ Фитцджеральдъ ходъ своихъ разсужденій:

„Въ послѣднемъ изданіи своего Трактата объ электричествѣ и магнетизмѣ Клеркъ Максвеллъ на страницѣ 402 въ § 793 вычисляетъ, что изъ электромагнитной теоріи свѣта слѣдуетъ, что солнечный свѣтъ давить на тѣло, которое его вполне поглощаетъ съ силою

$$P = 4.22 \times 10^{-5} \text{ динь на квадр. сантим.}$$

на разстояніи Земли отъ Солнца сила съ которою Солнце притягиваетъ массу m равна

$$f = 0.59. \times m. \text{ динь.}$$

эта сила будетъ уравновѣшиваться, если поглощающая поверхность достаточно велика по отношенію къ массѣ, и если обозначимъ черезъ S эту поверхность, то

$$S. \times 4.22. 10^{-5} = 0.59. \times m.$$

или $m = S \times 7. 10^{-5}.$

Если это имѣетъ мѣсто для одного какого-либо разстоянія отъ солнца, то это остается вѣрнымъ и для всѣхъ другихъ разстояній, такъ какъ и сила притяженія и сила свѣта измѣняются обратно пропорціонально квадрату разстоянія отъ солнца.

Для опредѣленія числовыхъ величинъ необходимо сдѣлать нѣкоторыя допущенія и я предполагаю, что молекула шаровидна и какъ таковая имѣетъ наимень-

¹⁾ G. F. Fitzgerald. Proc. of the Roy. Dublin Soc. 3 p. 344. 1883.

шую поверхность, предположу еще, что это молекула водорода. Обозначая через r радиус молекулы мы имѣемъ

$$S = r^2 = 3,1 \times r^2 = 1,4 \cdot 10^{-17} \times \Delta r^2 = 4,4 \cdot 10^{-18} \times \Delta,$$

гдѣ Δ есть плотность вещества.

Въ случаѣ водорода имѣемъ

$$\Delta = 8,8 \times 10^{-5}$$

$$r^2 = 38,72 \times 10^{-23}$$

$$r = 2 \times 10^{-11} \text{ (приблизительно),}$$

что составляетъ лишь одну десятитысячную долю величины обычно приписываемой линейнымъ размѣрамъ молекулъ“.

Газы поглощаютъ не весь свѣтъ, который на нихъ падаетъ, но на основаніи вышеприведенныхъ расчетовъ становится возможнымъ предположить, что легкій газъ, молекулы котораго велики, каковы нѣкоторые сложные углеводороды, которые поглощаютъ значительную долю падающихъ на нихъ лучей, не только могутъ находиться въ равновѣсіи подѣ влияніемъ притягательной силы солнца и отталкиванія его лучами, но также могутъ и отбрасываться солнцемъ со значительной силой. Было указано, что необходимо допустить отталкивательную силу солнца для кометныхъ хвостовъ. Эта сила, однако, не должна какъ сила тяготѣнія быть пропорціональной массѣ тѣла, такъ какъ нѣкоторые кометы имѣли болѣе одного хвоста, а это указываетъ на дѣйствіе разныхъ ускореній на отдѣльныя части кометной матеріи. Это находится въ полномъ согласіи съ гипотезой, которую я высказалъ выше. Отталкиваніе солнца зависитъ отъ поверхности молекулъ и ихъ способности поглощать лучистую энергію и эти свойства не пропорціональны ихъ массамъ.

Пользуясь цифровыми данными, которыя приводитъ Фитцджеральдъ, легко вычислить, что „для поглощающаго падающій на него черный свѣтъ“ шара, ра-

діусь котораго r сантим., а плотность δ , гравитаціонная постоянная солнца должна быть поправлена на свѣтовое отталкиваніе и мы получаемъ множитель F ¹⁾.

$$F = 1 - \frac{1}{20.000 r. \delta.}$$

Отсюда видно, что метеориты, діаметры которыхъ измѣряются нѣсколькими сантиметрами (плотность ихъ $\delta > 5$), двигаются вокругъ солнца почти такъ же, какъ планеты и только на траекторіи очень маленькихъ метеорныхъ массъ (метеорной пыли) отталкивательное дѣйствіе солнечныхъ лучей оказываетъ замѣтное вліяніе: если голова кометы состоитъ изъ агломерата мелкихъ метеоритовъ, то при прохожденіи мимо солнца она будетъ деформироваться, нѣсколько вытягиваясь въ направленіи своего движенія.

Особенно интересны тѣ случаи, когда тѣла двигающіяся около солнца настолько малы, что отталкиваніе подъ вліяніемъ свѣтового давленія начинаетъ играть преобладающую роль. Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что приведенныя выше разсужденія Фитцджеральда вполне вѣрныя для тѣлъ, размѣры которыхъ велики по сравненію съ длинами волнъ, падающихъ на нихъ свѣтовыхъ лучей — становятся принципиально недопустимы для малыхъ тѣлъ, соизмѣримыхъ съ длинами этихъ волнъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ приходится считаться съ диффракціонными явленіями; для отдѣльныхъ молекулъ подсчетъ давленія еще болѣе удаляется отъ соотношенія, указаннаго Максвелломъ, такъ какъ здѣсь мы имѣемъ дѣло съ явленіемъ резонанса.

¹⁾ См. P. Lebedew. Wied. Ann. 45 p. 292. 1892, а также рефератъ объ отступленіяхъ отъ закона Ньютона въ Vierteljahrschr. d. Astron. Gesellschaft 37. p. 220. 1903. Согласно новѣйшимъ измѣреніямъ яркость солнечныхъ лучей почти вдвое больше той величины, которую принимали Максвеллъ и Фитцджеральдъ, а потому числовой факторъ 20.000 долженъ быть замѣненъ 10.000.

Вычисленіе величины того давленія, которое свѣтъ производитъ на маленькій шаръ, соизмѣримый съ длиною волны, падающихъ на него лучей, представляеть собою аналитически очень сложную задачу, которую для шара, вполне отражающаго свѣтъ, впервые рѣшилъ Шварцшильдъ ¹⁾. Впослѣдствіи эту задачу въ общемъ случаѣ для шаровъ отражающихъ, поглощающихъ и преломляющихъ свѣтъ, удалось рѣшить Дебаю ²⁾. Для выясненія роли свѣтового давленія въ движеніи метеорной пыли около солнца мы можемъ не входить въ разсмотрѣніе всѣхъ результатовъ, полученныхъ въ вышеупомянутыхъ изслѣдованіяхъ, такъ какъ мы не знаемъ ни оптическихъ свойствъ, ни формъ отдѣльныхъ зеренъ метеорной пыли и уже поэтому должны ограничиться опредѣленіемъ порядка величины свѣтового давленія на малыя тѣла. Вотъ что по этому поводу говоритъ Шварцшильдъ. (I. с. р. 333):

„Если мы обозначили отношеніе U величины свѣтового давленія производимаго монохроматическими лучами на очень большой шаръ къ количеству лучистой энергіи, падающей на него черезъ единицу, то это отношеніе медленно возрастаетъ при уменьшеніи діаметра шара. Когда діаметръ шара уменьшится до двухъ третей длины волны, падающихъ на него лучей, то это отношеніе быстро начинаетъ расти и при діаметрѣ равномъ одной трети волны свѣта достигаетъ максимальной величины $U = 2,5$. При дальнѣйшемъ уменьшеніи діаметра шара это отношеніе падаетъ еще быстрѣе, чѣмъ оно наростало раньше. Для діаметра шара въ одну пятую волны свѣта это отношеніе становится меньше единицы и при дальнѣйшемъ уменьшеніи діаметра быстро приближается къ нулю“.

1) K. Schwarzschild. Ber. d. Münch. Akad. d. Wiss. 31 p. 352. 1903.

2) P. Debye. Ann. d. Phys. (4) 30. p. 57. 1909.

Чтобы опредѣлить ту максимальную величину, съ которой солнце можетъ отталкивать зерна метеорной пыли Шварцшильдъ (l. c. p. 334) вычислилъ эту величину для пылинокъ, плотность которыхъ равна единицѣ, а діаметръ меньше одной тысячной доли миллиметра, полагая, что все излученіе солнца монохроматическое и имѣетъ длину волны $\lambda = 0,6\mu$ (оранжевый свѣтъ). Результаты вычисленій показываютъ, что отношеніе отталкивательной силы солнца къ его гравитаціонной силѣ съ уменьшеніемъ діаметра пылинки постепенно растетъ и для пылинокъ въ двѣ десятичныхъ доли миллиметра достигаетъ максимальной величины, равной 20.

Но если мы примемъ во вниманіе что, во-первыхъ, излученіе солнца не монохроматично и что, слѣдовательно, такого рѣзко выраженнаго максимума отталкиванія не будетъ, а во-вторыхъ, что плотность зеренъ метеорной пыли надо полагать больше единицы, то мы должны предположить, что отталкивательныя силы солнца, дѣйствующія на метеорную пыль врядъ-ли вдвое превосходятъ силы притяженія солнца. Этихъ силъ однако вполне достаточно, чтобы объяснить образованіе хвостовъ третьяго типа Бредихина. Отталкивательныя силы, во много разъ превосходящія притяженіе, проявляются при дѣйствіи свѣта на отдѣльныя молекулы, а рѣзкія очертанія кометныхъ хвостовъ, соответствующихъ этимъ силамъ, показываютъ, что частицы ихъ однородны.

Изслѣдуя пондеромоторное дѣйствіе волнъ на резонаторы, я указывалъ ¹⁾, что давленіе свѣта на газы кометныхъ хвостовъ слѣдуетъ разсматривать, какъ давленіе электромагнитной волны на резонаторъ и что это давленіе связано съ избирательнымъ поглощеніемъ молекулы.

¹⁾ См. P. Lebedew.

Дебай (l. c. p. 101) сдѣлалъ первую попытку вычислить величину давленія солнечныхъ лучей на схематическую молекулу—резонаторъ и нашелъ, что эта величина можетъ быть огромна. Но опредѣлить числовую величину этого давленія для молекулъ газовъ, составляющихъ кометные хвосты, мы не можемъ, такъ какъ до настоящаго времени экспериментально еще неопредѣлены коэффициенты поглощенія свѣта отдѣльными молекулами, лабораторныя изслѣдованія въ этомъ направленіи, помимо ихъ приложенія къ теоріи кометныхъ хвостовъ, представляютъ собою и самостоятельный интересъ для оптики.

Изъ приведеннаго вполне видно, что задача объяснить формы кометныхъ хвостовъ свѣтовымъ давленіемъ, которую триста лѣтъ тому назадъ поставилъ себѣ Кепплеръ въ настоящее время для метеорной пыли уже рѣшена, а для газовъ близка къ своему окончательному рѣшенію, такъ какъ тѣ теоретическія и экспериментальныя изслѣдованія, которыя были сдѣланы до сихъ поръ, даютъ достаточную увѣренность, что путь къ рѣшенію ея найденъ.

О связи оптических свойств вещества и фото-химического эффекта.

П. Лазарева.

Въ тотъ періодъ, когда наука движется быстро впередъ, когда научныя открытія слѣдуютъ одно за другимъ, бываетъ полезно оглянуться назадъ на пройденный путь посмотрѣть, что было приобретено на этомъ пути. Особенно важно это обстоятельство въ тѣхъ областяхъ знанія, гдѣ еще нѣтъ точной систематизаціи научныхъ фактовъ, гдѣ основные законы только намѣчаются и теоретическая связь ихъ остается непонятною. Такіе обзоры полученныхъ результатовъ помогаютъ подвести итоги за извѣстный промежутокъ времени и позволяютъ поставить новыя задачи изслѣдованій. Чѣмъ меньше развита научная дисциплина, тѣмъ нужнѣе такія сводки матеріала и тѣмъ чаще онъ долженъ дѣлаться и въ этомъ отношеніи фотохимія среди другихъ физико-химическихъ дисциплинъ стоитъ въ совершенно особенномъ положеніи. Въ то время какъ термохимія и электрохимія имѣютъ довольно хорошо разработанную теорію и факты науки развиваются въ стройной послѣдовательности, фотохимія несмотря на колоссальный опытный матеріалъ только за послѣдніе годы начинаетъ понемногу приобретать то положеніе, котораго она заслуживаетъ. Между тѣмъ уже и въ настоящемъ мало развитомъ положеніи значеніе фотохиміи, какъ орудія

изслѣдованія, огромно. Не говоря уже о чисто практическихъ приложеніяхъ въ фотографіи и технику, фотохимія приобрѣтаетъ съ каждымъ годомъ все большее научное значеніе и число изслѣдователей, а вмѣстѣ съ тѣмъ и число работъ посвященныхъ химическому дѣйствию свѣта непрерывно возрастаетъ. Особенно многочисленныя работы относятся къ періоду послѣднихъ 10-ти лѣтъ и въ нижеслѣдующемъ обзорѣ сдѣлана попытка установить общіе количественные законы связывающіе фотохимическіе процессы съ оптическими свойствами вещества.

Первыя попытки теоретическаго истолкованія и количественнаго опредѣленія связи между свѣтовой энергіей и химическимъ процессомъ относятся къ концу тысячи семисотыхъ и началу тысячи восьмисотыхъ годовъ, когда Сенебье ¹⁾, а затѣмъ Гротгусъ ²⁾ впервые въ неясной формѣ указали на тѣ общіе законы, которымъ подчиняется фотохимическій процессъ. Оба названные изслѣдователя обратили при этомъ вниманіе на 2 стороны явленія, происходящаго при фотохимическомъ процессѣ и показали во-первыхъ, что для различныхъ яркостей падающаго свѣта фотохимическій эффектъ различенъ и возрастаетъ съ яркостью луча (Сенебье), а затѣмъ что только поглощенные лучи могутъ вызывать химическое дѣйствіе (Гротгусъ). Величина эффекта не измѣрялась на опытѣ и законъ, связывающій химическій эффектъ и силу падающаго

¹⁾ J. Senebier. Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois régnes de la nature. 3 vol. 1782.

J. Senebier. Experiences sur l'action de la lumière solaire dans la végétation. Genève 1788.

²⁾ Theodor v. Grotthuss. Jahresverhand. der kurländischen Gesellschaft für Literatur und Kunst. I. Bd p. 119—189 1819.

Перепечатано въ Ostwald's Klassiker № 152. p. 94.

свѣта, былъ выставленъ въ видѣ гипотезы. При этомъ Сенебье не дѣлалъ даже различія въ характерѣ колебанія луча и свой законъ относилъ къ облому свѣта.

Любопытно, что несмотря на совершенно правильныя основанія, положенныя въ основу представленій Сенебье и Гротгуса, ихъ идеи мало были извѣстны современникамъ и оказали лишь несущественное вліяніе на общій ходъ развитія фотохиміи. Особенно слѣдуетъ отмѣтить, что помимо общей совершенно правильной мысли о вліяніи поглощенія на процессъ Гротгусу принадлежатъ замѣчательныя въ теоретическомъ отношеніи сопоставленія дѣйствія электрическаго тока и свѣта, сопоставленія, заставляющія признавать въ немъ одного изъ первыхъ провозвѣстниковъ электромагнитной теоріи свѣта. Его сочиненія, читаемыя въ настоящее время, поражаютъ глубиной и обдуманностью плана и деталей и заставляютъ его считать однимъ изъ остроумнѣйшихъ изслѣдователей того времени.

Періодъ слѣдующій за этими первыми работами далъ основнымъ законамъ, выставленнымъ Сенебье и Гротгусомъ, болѣе прочный фактическій фундаментъ и въ этомъ отношеніи особенно замѣчательны работы Бунзена и Роско ¹⁾, установившихъ впервые строго количественныя соотношенія, которыя въ видѣ предположеній высказалъ Сенебье. Съ другой стороны работы Эдмонда Беккереля ²⁾, Жамена ³⁾ и Тимирязева ⁴⁾ расширили представленія объ основныхъ законахъ химическаго дѣйствія свѣта и распространили ихъ на спектральные

1) R. Bunsen und H. E. Roscoe. Pogg. Ann. 96 p. 376, 100 p. 43, 100 p. 481, 101 p. 235, 108 p, 193 и Ostwald's Klassiker №№ 34 и 38. Pogg. Ann. 117 p. 536—1862.

2) Edmond Becquerel. La lumière, ses causes et ses effets. Paris T. II p. 277 1868.

3) J. Jamin. Cours de physique. Optique.

4) K. Timirjaseff. Botanische Zeitung Jahrg. 27 p. 170 1868.

лучи и поставили такимъ образомъ для изслѣдователя впервые вопросъ о вліяніи цвѣтности луча на фотохимическій процессъ. Этотъ вопросъ, которому были посвящены изслѣдованія Тимирязева, выяснился за 25 лѣтъ, благодаря главнымъ образомъ его работамъ, настолько, что въ 1900 году Темирязевъ могъ объединить все, что было сдѣлано въ области фотохиміи, въ слѣдующіе 3 закона 1):

I) Всѣ свѣтovyя волны, независимо отъ ихъ длины, могутъ оказывать химическое дѣйствіе. Это заключеніе, выведенное Тимирязевымъ на основаніи опытовъ Абнея, съ инфракрасными лучами должно быть въ настоящее время, благодаря работамъ Колли и Розенталя, распространено на всѣ электромагнитныя волны.

II) Дѣйствуютъ тѣ свѣтovyя волны, которыя поглощаются измѣняющимися тѣлами. Здѣсь особенно необходимо отмѣтить, что Тимирязевъ обобщаетъ этотъ законъ на случай оптическаго сенсibiliзирования и такимъ образомъ вноситъ новый факторъ въ ту простую формулировку, которую далъ первоначально Гротгусъ.

III) Химическое дѣйствіе свѣтovyхъ волнъ зависитъ отъ ихъ энергіи.

Такимъ образомъ качественная сторона явленія этими законами совершенно исчерпывалась и нужно прибавить, что позднѣйшія работы въ этомъ отношеніи дали блестящія подтвержденія указаннымъ выше законамъ и не внесли въ качественномъ отношеніи ничего новаго.

Оставалось теперь связать факторы указанные выше количественно и здѣсь на первомъ мѣстѣ слѣдуетъ указать на работы Нернста 2), который исходя изъ допу-

1) К. Тимирязевъ. Труды отдѣленія физич. наукъ О. Л. Е. А. и Э. Т. 5 вып. 2 стр. 1 1903.

2) См. W. Nernst. Theoretische Chemie, глава о Photochemie.

пненія, что механизмъ химической реакціи не измѣняется отъ освѣщенія, даль общее уравненіе хода фотохимическаго процесса.

Его уравненіе, представлявшее обобщеніе уравненій химической динамики Вантъ-Гоффа не было имъ провѣрено экспериментально и было предложено только какъ гипотеза и провѣрку этой гипотезы впервые взяли на себя Лютеръ и Вейгерть ¹⁾ которые блестящими изслѣдованіями доказали ограниченную приложимость этого закона. Во-первыхъ обнаружилось, что законъ этотъ вѣренъ только для малыхъ концентрацій, и при большихъ перестаетъ быть вѣрнымъ, а затѣмъ было найдено что для всѣхъ реакцій на свѣту при весьма малой концентраціи реагирующихъ веществъ механизмъ реакціи долженъ быть совершенно одинаковъ и скорость реакціи должна измѣняться пропорціоально концентраціи. Это обстоятельство вмѣстѣ съ тѣми отступленіями, которые при указанныхъ изслѣдованіяхъ были обнаружены, Лютеръ и Вейгерть пытались объяснить, исходя изъ идеи Вантъ-Гоффа, по которой всякая фотохимическая реакція при полномъ поглощеніи свѣта должна идти со скоростью пропорціоальной количеству поглощенной энергіи. Но чтобы это объясненіе было вполне удовлетворительно, имъ пришлось допустить существованіе особыхъ промежуточныхъ продуктовъ, сильно поглощающихъ свѣтъ. Эти изслѣдованія были сдѣланы съ бѣлымъ свѣтомъ и кромѣ того, благодаря недостаточно близкому совпаденію вычисленныхъ и наблюденныхъ результатовъ, представлялось необходимымъ изслѣдовать фото-химическій процессъ въ спектральныхъ лучахъ и первая попытка въ этомъ направленіи принадлежитъ Лазареву ²⁾, который примѣнилъ

¹⁾ R. Luther u. Fr. Weigert Berl. Ber. p. 828, 1904. Zeitschr. für physik. Chemie 53, p. 385, 1905 54 p. 384, 1905.

²⁾ P. Lasareff. Ann. d. Phys. 24 p. 661. 1907.

для этой цѣли процессъ выцвѣтанія красокъ. Измѣряя термоэлектрически количество поглощенной энергіи и опредѣляя одновременно количество разложившейся краски, было показано, что скорость фото-химической реакціи въ краскахъ пропорціональна поглощенной энергіи и не зависитъ отъ длины волнъ падающихъ лучей. Скорость реакціи, постоянная внутри одной абсорпціонной полосы, можетъ мѣняться, переходя отъ одной къ другой, и поэтому въ налагающихся полосахъ возможны кажущіяся отступленія отъ простаго закона, который останется вѣрнымъ и въ сложныхъ полосахъ, если для 2 полагающихся полосъ скорость реакціи разложения при поглощеніи одного и того же количества энергіи одинакова. Всѣ отступленія, наблюденныя въ этомъ случаѣ, могутъ быть объяснены¹⁾ если допустить, что скорость реакціи въ двухъ полосахъ различна и въ полосѣ ближе лежащей къ фіолетовому концу спектра больше, чѣмъ для полосы, лежащей ближе къ красной части спектра.

Основной законъ фото-химическихъ дѣйствій, установленный вышеуказанными изслѣдованіями, былъ далѣе подтвержденъ въ 1898 году Гольдманомъ²⁾, который, изслѣдуя фото-электрическія явленія въ краскахъ, показалъ, что выдѣленіе электроновъ изъ краски, а слѣдовательно, количество распадающагося вещества пропорціонально поглощенной энергіи. Позднѣе въ 1910 году Брунеръ доказалъ справедливость того же соотношенія при бромированіи толуола³⁾.

Должно думать, что этотъ законъ не будетъ ограни-

1) П. Лазаревъ. Выцвѣтанія красокъ и пигментовъ въ видимомъ спектрѣ. Опытъ изслѣдованія основныхъ законовъ химическаго дѣйствія свѣта. Москва. 1911. Также статья Лазарева въ Ж. Р. Ф. X. O. за 1911 годъ. Также Ann. d. Physik. 1912.

2) A. Goldman. Ann. d. Phys. 27 p. 449. 1908.

3) Bruner. Sitz. Ber. Krak. Akad. p. 555 (1910).

чиваться только видимой частью спектра, но онъ долженъ распространяться и за его предѣлы. До настоящаго времени количественныхъ изслѣдованій здѣсь нѣтъ, но качественныя слѣдствія прекрасно совпадаютъ съ тѣмъ, что даетъ наблюденіе. Здѣсь слѣдуетъ отмѣтить изслѣдованія Колли и Розенталя, показавшія, что при достаточной интенсивности длинныхъ электромагнитныхъ волнъ ихъ химическая активность можетъ сдѣлаться настолько значительной, что обычными приемами можно констатировать превращенія въ веществѣ. Тѣ области спектра, гдѣ такія превращенія наблюдаются, какъ показали Колли и Розенталь, всегда заключаютъ въ себѣ полосы поглощенія вещества, которыя легко найти, если обратить вниманіе на сопутствующие процессы, напр., нагрѣваніе, подѣ влияніемъ поглощенія электромагнитной энергіи. Длина волнъ при опытахъ Колли была около 30 см., а у Розенталя даже около 1000.000 метровъ и все таки вещество реагировало на падающую волну. Такимъ образомъ, повидимому, такого предѣла, гдѣ дѣйствіе волнъ прекращалось бы, не имѣется и поэтому теперь должны представлять особый интересъ тѣ работы, гдѣ „фотохимія“ длинныхъ волнъ была бы изучаема количественно.

Эти изслѣдованія, перекинувшія мостъ черезъ пропасть, раздѣляющую 2 области физической химіи—фотохимію и электрохимію—сводятъ дѣйствія свѣтового луча къ дѣйствію часто переменнаго электромагнитнаго поля и такимъ образомъ позволяютъ ближе и глубже изучить теоретическій вопросъ о химическихъ превращеніяхъ подѣ влияніемъ лучистой энергіи. Въ настоящее время само названіе фотохиміи является совершенно неподходящимъ и правильнѣе было бы просто говорить о дѣйствіи электромагнитныхъ волнъ разнаго періода на вещество. Самый механизмъ

явленія при воздѣйствіи длинныхъ волнъ можетъ отличаться нѣсколько отъ того, что мы имѣемъ въ области видимаго спектра. Возможно что распаденіе будетъ ограничиваться въ молекулѣ отдѣльными группами напр., OH , CH_3 , $COOH$ и т. д., которыя, какъ это показалъ Кобленцъ, могутъ своимъ присутствіемъ обусловить появленіе полосъ въ опредѣленныхъ мѣстахъ спектра и такимъ образомъ продукты распада будутъ совершенно другого рода, чѣмъ это наблюдается въ видимомъ спектрѣ и однако общность причинъ въ обоихъ случаяхъ, именно явленіе резонанса и связанная съ нимъ абсорпція заставляеть насъ ожидать, что въ энергетическомъ отношеніи законы химическаго дѣйствія длинныхъ электромагнитныхъ волнъ и короткихъ ультрафіолетовыхъ будутъ одни и тѣ же.

При дѣйствіи интенсивныхъ электромагнитныхъ полей можно ожидать появленія свободныхъ іоновъ CH_3 , C_2H_5 и т. д., т. е., появленіе заряженныхъ группъ изъ которыхъ слагается молекула сложнаго тѣла, и которыя были открыты Томсономъ въ свободномъ состояніи при разрядахъ въ газахъ.

При распаденіи вещества, вызваннаго фотохимическимъ процессомъ, какъ это понятно изъ сказаннаго, должны такимъ образомъ освободиться или электроны или же отдѣльныя заряженныя группы, которыя и могутъ быть констатированы обычными приѣмами.

Если вещество заряжено отрицательнымъ электричествомъ и если при распадѣ молекулы освобождаются отрицательные электроны, то эти послѣдніе могутъ перейти въ окружающую среду и обусловить іонизацію газа.

Такія явленія были дѣйствительно наблюдаемы на рядѣ фотохимическихъ процессовъ и особенно замѣчательны въ теоретическомъ отношеніи работы Бика и

Борка ¹⁾ подь актиноэлектрическими явлениями, наблюдаемыми при превращеніи антрацена въ діантраценъ. Какъ было показано, названными изслѣдователями обратимое превращеніе антрацена въ діантраценъ всегда ведетъ къ испусканію электроновъ, если только превращенію подвергается твердое вещество.

Такія же испусканія электроновъ были наблюдаемы Вейгертомъ на газовыхъ реакціяхъ ²⁾.

Если свѣточувствительное тѣло находится въ растворѣ и выдѣляющіеся электроны не могутъ перейти въ окружающую среду, будучи поглощены жидкостью, фотохимическій процессъ долженъ вести къ появленію въ средѣ іоновъ и слѣдовательно проводимость раствора должна увеличиваться. Изученіе растворовъ съ точки зрѣнія ихъ электропроводности заставляеть думать, что распаденіе молекулы и появленіе іоновъ наблюдается и при обычной абсорпціи сопровождаемой флуоресценціей. Такимъ образомъ въ настоящее время невозможно провести рѣзкую грань между чистой оптической абсорпціей и такъ называемымъ химическимъ поглощеніемъ. Законъ устанавливающій связь между поглощеніемъ, энергіей и скоростью химического процесса мы будемъ называть первымъ закономъ фотохиміи и онъ былъ выведенъ, какъ указывалось выше, для веществъ непосредственно измѣняющихся на свѣту. Явленія сенсibiliзации, открытой Фогелемъ, показываютъ, что не только поглощеніе самого вещества, но и поглощеніе краски, подмѣшанной къ веществу, бываетъ достаточно, чтобы вызвать явленіе фотохимического распада молекулы. Изслѣдованія Акворта ³⁾ доказали, что величина сенсibiliзирующей способности краски возрастаетъ съ

¹⁾ А. Бук. и Н. Борк Ber. d. deut. physik. Gesellsch. 8. p: 621—1910.

²⁾ F. Weigert. Ann. d. Phys. 24 p. 243—1907.

³⁾ Akwort. Wied. Ann 1890.

количествомъ поглощенной энергіи, такъ что повидимому и этотъ болѣе сложный случай фотохимическаго процесса управляется тѣми же законами, какъ и простая фотохимическая реакція.

Краски, которыя могутъ служить сенсibiliзаторами, представляются, вообще говоря очень нестойкими соединеніями и нужно думать, что первичнымъ актомъ при процессѣ сенсibiliзирования является разложеніе краски, сопровождаемое выдѣленіемъ свободныхъ электроновъ. Такое представленіе подтверждается замѣчательными опытами Вейгерта ¹⁾, который доказалъ, что въ окрашенныхъ газахъ (напр. хлорѣ), способныхъ сенсibiliзировать несвѣточувствительныя реакціи, періодъ активирования всегда сопровождается появленіемъ свободныхъ электроновъ въ средѣ.

Такимъ образомъ въ настоящее время становятся совершенно понятными тѣ вторичныя электронныя явленія, которыя сопровождаютъ основной химическій процессъ.

Весьма интересно, какъ это было указано Гибсономъ, что во время реакціи на свѣту замѣчается не только временное увеличеніе электропроводности, но это явленіе дѣлается стойкимъ и можетъ наблюдаться и послѣ прекращенія освѣщенія.

Дальнѣйшимъ вопросомъ является вопросъ какъ относится свѣтовая реакція къ той реакціи, которая течетъ въ темнотѣ и которая представляется обычной реакціей. Здѣсь слѣдуетъ отмѣтить, что работы въ этомъ направленіи появились только въ самое послѣднее время ²⁾ и показали, что въ рядѣ реакцій свѣтовая реакція и реакція текущая, въ той же системѣ въ темнотѣ, налагаются и такимъ образомъ свойство, система,

¹⁾ F. Weigert. loc. cit.

²⁾ R. Luthr u. Forbes Journ. Am. Chem. Soc. 31 p. 770—1909.
См. J. Plotnikow. Photochemie. p. 71. Halle 1910.

въ которой течеть фотохимическій процессъ, являются аддитивными.

Законъ, управляющій фотохимическими процессами, не ограничивается только мертвой природой, онъ прилагается и къ тѣмъ процессамъ въ животномъ и растительномъ мірѣ, гдѣ само явленіе представляется болѣе сложнымъ и трудно поддающимся количественному изученію, и попытка приложить законы фотохиміи къ біологическимъ процессамъ была сдѣлана Лазаревымъ ¹⁾ въ 1907 г. причеиъ какъ матеріалъ служили наблюденія, которыя были произведены Тренделенбургомъ и Пиперомъ и которыя касались процесса разложенія зрительнаго пурпура, а также тѣ результаты опытовъ надъ ассимиляціей CO_2 растеніями, которыя были получены Тимирязевымъ и Энгельманомъ.

Какъ извѣстно въ глазу человѣка и животныхъ имѣется розоватый весьма легко разлагающійся пигментъ такъ наз. зрительный пурпуръ. Выцвѣтаніе этого пигмента подѣ влияніемъ свѣта представляетъ процессъ обусловливающій т. наз. безцвѣтное периферическое зрѣніе, то есть то зрѣніе, при которомъ цвѣтного воспріятія уже не наблюдается и остается только ощущеніе свѣта. Легко вывести изъ наблюденій Тренделенбурга и это было указано Лазаревымъ, что выцвѣтаніе въ растворахъ пурпура, извлеченнаго изъ глаза животнаго, удовлетворяетъ требованіямъ законовъ фотохиміи, т. е. скорости разложенія пропорціональной количеству поглощенной энергіи и не зависитъ отъ длины волны луча. Здѣсь необходимо отмѣтить, что спектръ абсорпціи зрительнаго пурпура представляетъ только одинъ горбъ и, такимъ обр., теоретически должно было ожидать между скоростью разложенія и количествомъ поглощенной энергіи простой пропорціональности.

¹⁾ П. Лазаревъ. Современныя задачи фотохиміи. Ж. Р. Ф. Х. О. вып. I. 1908.

Изъ опытовъ Пипера надъ токами дѣйствія глаза подъ вліяніемъ освѣщенія лучами разной длины волны можно вывести, что и прижизненное выцвѣтаніе пурпура въ глазу слѣдуетъ законамъ фотохиміи и что слѣдовательно весь сложный актъ воспріятія свѣта съ его физической и химической стороны представляется простымъ явленіемъ выцвѣтанія.

Что касается пигментовъ, которые своимъ выцвѣтаніемъ обуславливаютъ цвѣтное воспріятіе, то уже съ самаго начала нужно ожидать здѣсь большей сложности въ явленіи. Пигментъ долженъ быть сложнымъ, состоящимъ по крайней мѣрѣ изъ трехъ простыхъ составныхъ частей, имѣющихъ три максимума поглощенія соотвѣтственно тремъ основнымъ ощущеніямъ Гельмгольца, изъ которыхъ слагаются остальные цвѣтныя воспріятія. Такъ какъ сложные пигменты выцвѣтаютъ, какъ это указывалось выше, по болѣе сложному закону, причемъ основной законъ прилагается къ каждой отдѣльной простой полосѣ абсорпціи, и притомъ при выцвѣтаніи могутъ образоваться окрашенныя соединенія дополнительнаго цвѣта, поэтому ясно, что явленія разложенія пигментовъ въ глазу при цвѣтномъ зрѣніи могутъ и не слѣдовать простому закону выцвѣтанія. Опыты Кёнига позволяютъ думать, что пигменты, обуславливающіе цвѣтное зрѣніе, лежатъ не въ слоѣ палочекъ и колбочекъ, какъ это наблюдается для зрительнаго пурпура, а глубже, въ пигментномъ слоѣ. Этотъ слой представляется интенсивно-темнокоричневаго или даже чернаго цвѣта и долженъ, повидимому, выцвѣтая, образовать тѣ вещества, которыя раздражаютъ зрительныя клѣтки и обуславливаютъ ощущеніе цвѣтности. Пигменты эти должны быть болѣе стойки чѣмъ зрительный пурпуръ, такъ какъ при яркомъ свѣтѣ, когда наступаютъ ясныя цвѣтотыя ощущенія и когда слѣдовательно наблюдается только начальная стадія

разложенія пигментовъ, зрительный пурпуръ уже совершенно разложенъ и сѣтчатка отъ него свободна. Опыты съ выцвѣтаніемъ пигментовъ въ темномъ пигментномъ слоѣ, дѣйствительно, показали, что только при огромныхъ силахъ свѣта, достигаемыхъ примѣненіемъ вольтовой дуги удается получить замѣтныя измѣненія цвѣта, при чемъ на сѣтчаткѣ при этомъ получается окрашенный же отпечатокъ. Какъ возстановляется пигментъ въ настоящее время — сказать еще трудно, но возможно, что дополнительные лучи свѣта вызываютъ реакцію текущую въ противоположныхъ направленіяхъ. Изслѣдованія Трутца дѣйствительно показали, что такія вещества можно найти въ неорганической природѣ и слѣдовательно не представляетъ ничего незаконнаго съ физикохимической точки зрѣнія допущенія особыхъ ассимилирующихъ и дезассимилирующихъ лучей, какъ этого требуетъ теорія Геринга. Такимъ образомъ въ настоящее время всѣ явленія зрѣнія хорошо согласуются съ тѣми основными физикохимическими законами, которые управляютъ фотохимическими реакціями.

Основной законъ фотохиміи прилагается далѣе безъ всякаго ограниченія также къ тѣмъ явленіямъ, при которыхъ на организмъ животнаго дѣйствуютъ разрушающимъ образомъ лучи свѣта. Дѣятельными въ этомъ отношеніи оказываются главнымъ образомъ ультрафіолетовые лучи и Гертель ¹⁾ показалъ, что для того, чтобы довести животное дѣйствіемъ лучей до одного и того же состоянія нужно, чтобъ количество поглощенной энергіи было одно и то же. Если животное прозрачно для лучей даннаго свѣта и слѣдовательно лучи не вызываютъ внутри него химическихъ превращеній, можно

¹⁾ Hertel. Götting. Nachricht. Math. phys. Klasse 1906 и слѣдующ. годы.

его сенсibiliзировать прижизненной окраской, причемъ фотохимическій процессъ въ этомъ случаѣ наблюдается для тѣхъ лучей, которые, не поглощаясь организмомъ, задерживаются окрашивающей его краской, причемъ дѣйствіе свѣта пропорціонально поглощенію.

Такимъ образомъ не только простыя явленія разложенія вещества, но и явленія сенсibiliзаци имѣютъ мѣсто въ животномъ мірѣ и поэтому особый интересъ представляетъ едва ли не самый важный случай фотохимическаго процесса въ органическомъ мірѣ, это процессъ ассимиляціи углерода въ листѣ. Процессъ этотъ особенно интересенъ и потому, что хлорофиллъ, дѣйствующій какъ сенсibiliзаторъ на процессъ разложенія CO_2 , самъ является тѣломъ твердымъ или жидкимъ и такимъ образомъ здѣсь мы имѣемъ дѣло съ явленіемъ синсibiliзаци, примѣръ для котораго въ неорганической природѣ еще не найденъ.

Какъ показываютъ опыты Тимирязева ¹⁾ между поглощенной хлорофилломъ энергіей и количествомъ разложившагося угольнаго ангидрида существуетъ близкій параллелизмъ. О полной пропорціональности между поглощенной энергіей и скоростью разложенія CO_2 въ этомъ случаѣ говорить невозможно, такъ какъ спектръ хлорофилла представляется крайне сложнымъ, состоящимъ изъ ряда налагающихся полосъ, и нужно поэтому думать, что явленія въ листѣ подъ вліяніемъ свѣта могутъ ити, для разныхъ полосъ съ разной скоростью, такъ что между поглощеніемъ и химическимъ эффектомъ должно существовать только параллелизмъ. Какъ показали далѣе опыты Энгельмана ²⁾ на растеніяхъ, имѣющихъ пигменты бураго, голубого и жел-

¹⁾ К. Тимирязевъ. Усвоеніе свѣта растеніемъ. Спб. 1875.

²⁾ Ср. W. Ostwald. Allgemeine Chemie Leipzig 1911. Photochemie.

Ср. также П. Лазаревъ. Журн. Р. Ф. Х. О. часть физич. 1908 г.

таго цвѣта, поглощеніе энергіи и химическій процессъ, идутъ параллельно такъ, что основной законъ удовлетворяется, по крайней мѣрѣ, съ той степенью точности, съ какой можно выполнить эти въ высшей степени трудные и деликатные опыты. Нужно здѣсь также отмѣтить, что методъ, которымъ Энгельманъ наблюдалъ разложеніе CO_2 былъ не прямой и могъ дать, въ количественномъ отношеніи, только очень грубые результаты.

Изъ всего сказаннаго можно видѣть, что не только въ мертвой природѣ, но въ различнѣйшихъ біологическихъ процессахъ, фотохимическія явленія, обуславливающія крайне важныя для жизни процессы, текутъ подчиняясь одному общему количественному закону, связывающему поглощенную энергію и интенсивность химическаго превращенія.

Если вдуматься въ изложенную краткую исторію основныхъ законовъ фотохиміи и если далѣе пересмотрѣть мысленно всѣ факты, которые за нѣсколько столѣтій дало опытное изслѣдованіе, то легко видѣть, что законъ, связывающій оптическія свойства вещества и химическое превращеніе, выросталъ въ глазахъ изслѣдователей совершенно постепенно. Могло бы показаться, что слишкомъ малый количественный матеріалъ, которымъ располагаетъ теперь фотохимія еще не достаточно для того, чтобы устанавливать „основные“ законы науки, что требуется еще безконечные ряды изслѣдованій, прежде чѣмъ закономѣрности общаго характера могутъ быть прочно установлены, но постепенность развитія, эволюція, можетъ явиться достаточной гарантіей прочности установленныхъ закономѣрностей поэтому законъ, связывающій поглощеніе и химическое разложеніе съ полнымъ правомъ въ настоящее время можетъ назваться однимъ изъ основныхъ законовъ химическаго дѣйствія свѣта. Конечно, дальнѣйшая разра-

ботка потребуетъ еще безконечнаго числа работъ въ этой же области въ настоящее время достаточно уже имѣющихся данныхъ, изъ которыхъ ни одно не противорѣчитъ вышеизложенному правилу, чтобы считать это правило за основной законъ.

Кромѣ уже вышеизложенныхъ данныхъ имѣются въ биологii цѣлые ряды процессовъ также и фотохимическаго характера, процессовъ, гдѣ принимаютъ участіе пигменты, заложенные въ растительныхъ и животныхъ клѣткахъ, но изученіе этихъ процессовъ только что начинается и теперь имѣется въ этой области исключительно грубый качественный матеріалъ. Особенно важными и интересными съ точки зрѣнія экономіи природы представляются процессы приспособленія животныхъ къ цвѣту среды, процессы, которые, какъ показалъ Винеръ¹⁾, съ качественной стороны, прекрасно согласуются съ тѣмъ, что открыто въ области фотохиміи и такимъ образомъ сложный по механизму физиологическій процессъ получаетъ простое физико-химическое истолкованіе. Если мы представимъ себѣ какое-либо животное, имѣющее въ своей кожѣ рядъ пигментовъ, выцвѣтающихъ подъ вліяніемъ лучей спектра, то разложенію будутъ подвергаться лишь тѣ пигменты, которые имѣютъ цвѣтъ дополнительный къ цвѣту среды, и животное, постепенно теряя тѣ пигменты, которые не соотвѣтствуютъ цвѣту среды, пріобрѣтаетъ окраску тѣхъ лучей, которые освѣщаютъ постоянно его. Опыты Винера показали, что въ неорганической природѣ подобные же пигменты встрѣчаются въ видѣ такъ назыв. фотогалоидовъ и что разложеніе въ этомъ послѣднемъ случаѣ въ смыслѣ измѣненія окраски близко подходитъ къ тому, что имѣется въ покровахъ животныхъ. Приспособленіе въ этомъ слу-

1) O. Wiener. Wied. Ann. 55 p. 225. 1895.

чаѣ носить характеръ физико-химическаго процесса и Винеръ съ полнымъ правомъ говоритъ объ механическомъ приспособленіи. Этотъ случай есть, повидимому, пока единственный случай приспособленія животныхъ къ внѣшнимъ условіямъ, гдѣ самые внутренніе процессы являются разъясненными. Безчисленныя приложенія фотохиміи, которыя сдѣланы въ области фотографіи, въ областяхъ ученія о свѣтолѣченіи, заставляютъ съ большими надеждами уже и теперь смотрѣть на эту нарождающуюся область физической химіи, которая получила право полного гражданства въ наукѣ только въ самое послѣднее время. Попытки введенія фотохимическихъ процессовъ въ техническія производства несомнѣнно должны появиться въ самое ближайшее время и уже есть опредѣленные данныя въ этомъ направленіи. Такъ за послѣдніе годы на ряду съ огромнымъ числомъ газовыхъ реакцій, текущихъ подѣ влияніемъ свѣта, Кёну удалось получить превращенія SO_2 въ SO_3 и такимъ образомъ осуществить получение очень цѣннаго техническаго продукта, служащаго исходнымъ пунктомъ для цѣлаго класса веществъ.

Если мы посмотримъ на тѣ результаты, которые уже сейчасъ даетъ фотохимія, то должно признать за ней огромное теоретическое и практическое значеніе. Но несомнѣнно, что главнѣйшіе успѣхи и завоеванія будутъ сдѣланы фотохиміей только въ будущемъ. Чтобы стало болѣе яснымъ то огромное будущее, которое ожидаетъ фотохимію въ жизни человѣчества нужно только вспомнить тѣ процессы, которые позволяютъ намъ въ настоящее время пользоваться энергіей для цѣлей жизни. Несомнѣнно, что тѣ огромные расходы на энергію, которые ежегодно тратятся человѣчествомъ, покрываются изъ того запаса энергіи, который представляетъ собою солнечное тепло, запасенное зелеными листьями растеній и превратившееся путемъ сложныхъ

химическихъ и біологическихъ процессовъ въ уголь, который даетъ намъ своимъ сгораніемъ необходимую для насъ энергію. Если вспомнить, что всѣ залежи угля запасены только благодаря ассимилирующей дѣятельности зеленаго листа и если вспомнить, что на значительной части нашей планеты растительнаго покрова нѣтъ, то станетъ понятнымъ, что полезно используется только малая часть солнечной энергіи, падающей на землю, и что будущая задача должна сводиться главнымъ образомъ къ возможности полученія энергіи непосредственно отъ солнечнаго луча.

ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
О. Г. С. П. С.

Фотолюминесценція.

Б. С. Швецова.

1. Виды люминесценціи. Всякое тѣло испускаетъ, при данной температурѣ, опредѣленный потокъ лучистой энергіи, характеръ котораго обуславливается происходящими внутри тѣла колебаніями. При повышеніи температуры интенсивность и частота этихъ колебаній увеличиваются, и волны, испускаемая тѣломъ, становятся все болѣе и болѣе короткими. Когда испускаемая волны достигнутъ извѣстной длины и амплитуды, онѣ начинаютъ оказывать опредѣленное фیزیологическое дѣйствіе на нашъ глазъ, и тѣло становится свѣтящимся. Такое, чисто температурное излученіе называется нормальнымъ свѣченіемъ и подчиняется закону *Кирхгофа*.

Но, кромѣ температуры, и другіе агенты могутъ вызывать свѣченіе тѣлъ, къ которому законъ *Кирхгофа* будетъ уже непримѣнимъ. Эти случаи аномальнаго свѣченія *Видеманъ* предложилъ назвать люминесценціей. Въ зависимости отъ агента, вызывающаго свѣченіе, различаютъ хемилюминесценцію, триболюминесценцію, электролюминесценцію и т. д. Въ частности, свѣченіе тѣлъ подъ вліяніемъ падающаго на нихъ потока лучистой энергіи получило названіе фотолюминесценціи.

Явленія фотолюминесценціи можно раздѣлить на

2 большія, не вполне рѣзко отграниченныя другъ отъ друга группы: флюоресценцію, если свѣчение продолжается только въ теченіе освѣщенія и прекращается вмѣстѣ съ прекращеніемъ послѣдняго, и фосфоресценцію, если свѣчение сохраняется въ тѣлѣ нѣкоторое время послѣ прекращенія освѣщенія.

А. Флюоресценція.

2. Флюоресцирующія вещества. Первое упоминаніе о флюоресценціи принадлежитъ итальянскому врачу *Никколо Монардесу*, который замѣтилъ еще въ 1570 году, что настойка одного дерева, при освѣщеніи ея дневнымъ свѣтомъ, пріобрѣтала голубой оттѣнокъ.

Затѣмъ былъ найденъ цѣлый рядъ флюоресцирующихъ веществъ, въ изслѣдованіи которыхъ приняли участіе между прочимъ *Гримальди*, *Ньютонъ*, *Бойль*, *Гукъ*, *Мариоттъ*, *Гете*, *Брюстеръ*, *Джонъ Гершель* и др.

Но правильное толкованіе происходящихъ здѣсь явленій было дано только въ 1852 году *Стоксомъ*, который прочно установилъ, что флюоресценція есть самосвѣченіе вещества и далъ ей теперешнее названіе, произведя его отъ минерала флюорита.

Прежніе же изслѣдователи, смѣшивая флюоресценцію съ опалесценціей, думали, что здѣсь происходитъ диффузное разсѣяніе свѣта внутри вещества обусловленное присутствіемъ постороннихъ включеній внутри твердыхъ тѣлъ и взвѣшенныхъ частицъ внутри жидкостей.

Въ самомъ дѣлѣ, оказывается чрезвычайно труднымъ приготовить жидкости, совершенно лишенныя взвѣшенныхъ частицъ или, какъ ихъ называетъ *Тиндаль*, „оптически пустыя“. *Шпрингъ* показалъ, что ни фильтрованіе, ни перегонка для этого недостаточны и ему удалось достигнуть благоприятныхъ результатовъ,

только применяя слѣдующій приемъ: онъ наполнялъ U-образныя трубки водою, въ которой было взвѣшено нѣкоторое количество тонкаго кварцеваго порошка и пропускалъ черезъ нихъ электрическій токъ, причѣмъ всѣ взвѣшенныя частицы собирались на катодѣ, а жидкость около анода становилась совершенно прозрачною. Лучъ свѣта, пропущенный черезъ приготовленную такимъ образомъ жидкость, при разсматриваніи сбоку оставался совершенно невидимымъ, что указывало на полную оптическую однородность среды.

Тѣмъ не менѣе опалесценцію нетрудно отличить отъ флюоресценціи, при помощи николя, такъ какъ свѣтъ опалесценціи, будучи отраженнымъ, всегда оказывается отчасти поляризованнымъ, тогда какъ свѣтъ флюоресценціи обыкновенно поляризованнымъ не бываетъ.

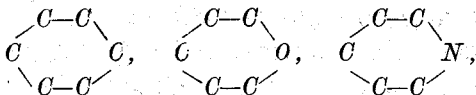
Количество веществъ, флюоресценція которыхъ установлена съ несомнѣнностью, достигаетъ въ настоящее время огромной величины. Изъ твердыхъ тѣлъ особенно эффектною флюоресценціей отличаются урановое стекло и плавиковый шпатель (флюоритъ). Далѣе идутъ платино-синеродистый барій, бѣлая бумага, различные сорта стекла, слоновая кость, рогъ, пробка, древесина различныхъ деревьевъ, многіе минералы и цѣлый рядъ другихъ веществъ.

Среди жидкостей флюоресценція, между прочимъ, обнаружена у керосина, спиртового раствора хлорофилла, раствора сѣрнокислаго хинина въ разбавленной сѣрной кислотѣ, а также у водныхъ растворовъ эскулина, лакмуса и цѣлаго ряда органическихъ красокъ, какъ, на примѣръ, нафталиновой красной, эозина, магдальской розы, флюоресцеина, тетраіодфлюоресцеина и др.

Изъ газовъ, флюоресценція которыхъ была открыта *Ломмелемъ* и особенно подробно изучена *Вудомъ*, флю-

оресцирующими оказались пары іода, ртути, таллія, натрія, калия и цѣлаго ряда органическихъ веществъ, какъ наримѣръ ретена, фенантрена, нафталина, антрацена, хризена, индиго и др.

Любопытно отмѣтить, что у органическихъ соединеній способность флюоресцировать является тѣсно связанной съ внутреннимъ строеніемъ вещества, а именно съ присутвіемъ въ его составѣ особыхъ группировокъ атомовъ, какъ наримѣръ



которыя *Мейеръ* предложилъ назвать флюорофрами, а *Г. Кауфманъ*—люминофрами. Однако присутствіе этихъ группъ является условіемъ необходимымъ, но недостаточнымъ; для того, чтобы флюоресценція дѣйствительно обнаружилась, необходимо еще присутствіе въ молекулѣ многоатомныхъ радикаловъ (по преимуществу ароматическихъ), которые *Кауфманъ* называетъ флюорогенами.

3. Правило Стокса. Изучая явленія флюоресценціи, *Стоксъ* истолковалъ ихъ, какъ преобразование лучистой энергіи, поглощенной тѣломъ, въ лучистую же энергію другого періода. При этомъ онъ замѣтилъ, что лучи, поглощаемые тѣломъ, и, слѣдовательно, возбуждающіе флюоресценцію, всегда обладаютъ большей преломляемостью (меньшей длиной волны) по сравненію съ лучами, испускаемыми флюоресцирующимъ тѣломъ. Эта открытая имъ законность получила названіе правила *Стокса*.

Такимъ образомъ наиболѣе сильными возбудителями флюоресценціи, по *Стоксу*, являются крайніе фіолетовые и ультрафіолетовые лучи, а свѣтъ флюоресценціи лежитъ въ видимой части спектра, являясь болѣе или менѣе смѣщеннымъ по направленію къ красному концу.

На основаніи этихъ соображеній *Стокс* выработалъ особый пріемъ для обнаруженія флюоресценціи, сущность котораго сводится къ слѣдующему. Берутъ двѣ прозрачныхъ пластинки, окрашенныя во взаимно дополнительные цвѣта, изъ которыхъ одна поглощаетъ почти всю видимую часть спектра, пропуская только крайніе фіолетовые и ультрафіолетовые лучи, а другая, наоборотъ, поглощаетъ эти послѣдніе, пропуская всю остальную видимую часть спектра. Въ качествѣ такихъ пластинокъ могутъ быть взяты амміачный растворъ окиси мѣди и окрашенное серебромъ, слабо обожженное желтое стекло. Если между такими пластинками помѣстить не флюоресцирующее тѣло, то, при разсмотрѣніи на свѣтъ, его не будетъ видно, такъ какъ оно отражаетъ только лучи, прошедшіе черезъ первую пластинку и, слѣдовательно, поглощаемые второй. Наоборотъ, флюоресцирующее тѣло, при этихъ условіяхъ, будетъ явственно видно, такъ какъ, подъ вліяніемъ лучей, пропущенныхъ первой пластинкой, оно начнетъ излучать свѣтъ флюоресценціи, для котораго вторая пластинка оказывается прозрачной. При помощи этого пріема *Стоксу* удалось открыть флюоресценцію у огромнаго количества веществъ.

Однако правило *Стокса* скоро вызвало цѣлый рядъ возраженій, такъ какъ нашлись вещества ему не подчиняющіяся. Возникъ оживленный споръ между защитниками и противниками этого правила, который тянулся въ продолженіе нѣсколькихъ десятилѣтій и въ которомъ приняли участіе *Ломмель*, *Гагенбахъ*, *Любарскъ*, *Штенель* и др. Этотъ споръ оказался чрезвычайно плодотворнымъ для изученія рассматриваемой области и былъ рѣшенъ только въ 1904 году, послѣ работъ *Никольса* и *Меррита*, которые окончательно установили непримѣнимость правила *Стокса*.

4. Спектры флюоресценціи и возбуждаю-

щаго свѣта. При рѣшеніи вопроса о примѣнности правила *Стокса* необходимо было сравнить возбуждающій свѣтъ со свѣтомъ флюоресценціи. Для этого нужно было знать спектральный составъ падающаго свѣта, изучить его поглощеніе флюоресцирующимъ веществомъ, выяснитъ какіе изъ поглощенныхъ лучей вызываютъ флюоресценцію, опредѣлитъ спектральный составъ свѣта флюоресценціи и, наконецъ, посмотрѣть не происходитъ ли поглощенія излучаемаго свѣта внутри флюоресцирующаго вещества.

Для сравненія спектрального состава возбуждающаго свѣта и свѣта флюоресценціи уже *Стоксомъ* былъ выработанъ методъ скрещенныхъ призмъ, который заключается въ слѣдующемъ. Полоску флюоресцирующаго вещества помѣщаютъ на бѣлую бумагу, и, при помощи призмы съ вертикально поставленнымъ преломляющимъ ребромъ, отбрасываютъ спектръ возбуждающаго свѣта такимъ образомъ, чтобы часть его падала на изслѣдуемое вещество, а другая часть, для сравненія, попадала на бумагу. При этомъ оказывается, что на флюоресцирующемъ веществѣ 1) спектръ продолжается довольно далеко въ область ультрафіолетовыхъ лучей ¹⁾ и 2) въ нѣкоторыхъ мѣстахъ болѣе преломляемой части спектра цвѣта являются измѣненными, по сравненію съ бумагой, что указываетъ на происходящую здѣсь флюоресценцію.

Если этотъ спектръ разсматривать черезъ вторую призму, преломляющее ребро которой будетъ горизонтально, то получается картина, вродѣ изображенной на рис. 1 ²⁾. Здѣсь *AN* обозначаетъ спектръ возбуждающаго свѣта (солнечнаго, съ ффраунгоферовыми линиями) от-

¹⁾ Этимъ пользуются, между прочимъ, для изученія ффраунгоферовыхъ линий въ ультрафіолетовой части солнечнаго спектра.

²⁾ Рис 1 даетъ спектръ флюоресценціи сѣрнокислаго хинина.

8368/18024

брошенный на флюоресцирующее вещество, *RS* — тот же спектр, отраженный от бѣлой бумаги и отклоненный второй призмой и, наконецъ, *TU* — спектр флюоресценціи, образованный второй призмой. Цвѣта въ этомъ послѣднемъ спектрѣ располагаются въ видѣ горизонтальныхъ полосъ, отъ красной—наверху, до фио-

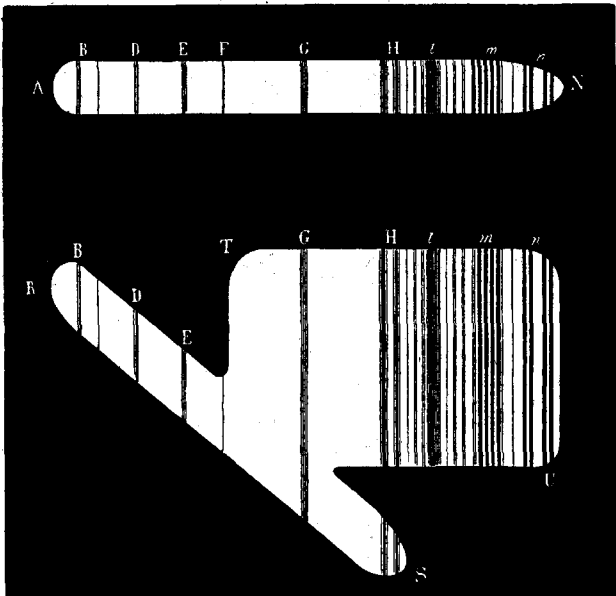


Рис. 1.

летовой—внизу; вертикальные же участки его дают спектры флюоресценціи, вызванной соответствующими лучами возбуждающаго свѣта.

Но, при всемъ своемъ изяществѣ, методъ *Стокса* даетъ только грубую ориентировку въ явленіи. Для болѣе точнаго изслѣдованія оказалось необходимымъ примѣнять, въ качествѣ возбуждителя, или монохроматическій свѣтъ, или же очень узкіе участки сплошного спектра и изучать, какъ поглощеніе ихъ флюо-

ресцирующимъ веществомъ, такъ и возбужденную ими флюоресценцію.

При такомъ изученіи выяснилось, что всякое твердое или жидкое вещество обладаетъ нѣсколькими полосами поглощенія, но не всѣ эти полосы являются активными въ смыслѣ возбужденія флюоресценціи.

Вмѣстѣ съ тѣмъ оказалось, что, въ общемъ случаѣ, число активныхъ полосъ не совпадаетъ съ числомъ полосъ флюоресценціи. Въ этомъ послѣднемъ отношеніи *Гаенбахъ* предложилъ всѣ флюоресцирующія вещества раздѣлить на слѣдующіе три класса:

1) Число активныхъ полосъ больше числа полосъ флюоресценціи. Примѣръ: спиртовой растворъ хлорофилла—4 активныхъ полосы и 1 полоса флюоресценціи.

2) Число активныхъ полосъ равно числу полосъ флюоресценціи. Примѣръ: экстрактъ изъ сосновой сажы—5 активныхъ полосъ и столько же полосъ флюоресценціи.

3) Число активныхъ полосъ меньше числа полосъ (максимумовъ) флюоресценціи. Примѣръ: керосинъ—1 активная полоса и 6 полосъ флюоресценціи.

Особенно интереснымъ оказалось изученіе флюоресценціи паровъ. Такъ *Вудъ*, помѣщая пары натрія въ стальную трубу около 3 дюймовъ въ діаметрѣ и до 30 дюймовъ длиною и пользуясь большимъ трехпризменнымъ спектрографомъ и вогнутой диффракціонной рѣшеткой съ фокуснымъ разстояніемъ въ 12 футовъ, нашелъ, что, какъ спектръ поглощенія, такъ и спектръ флюоресценціи, являются бороздчатыми и содержатъ огромное число линій. *Клинскелсу* удалось сфотографировать до 6000 линій въ видимой части спектра поглощенія паровъ натрія. Затѣмъ *Вудомъ* была подробно изучена и ультрафіолетовая часть этого спектра.

Оказалось, что весь спектр поглощенія паровъ натрія состоитъ изъ 2 частей:

1) Серіи линій, которая получается изъ формулы *Кайзера* и *Рунге*:

$$\lambda^{-1} = A + Bn^{-2} + Cn^{-4},$$

если вмѣсто n , подставить въ нее рядъ послѣдовательныхъ цѣлыхъ чиселъ отъ 3 до 50:

$n =$	3	4	5	. . .	49	50
$\lambda =$	589,616	330,307	285,291	. . .	241,464	241,450
	589,019	330,247				

При $n=2$ и $n=3$ получаются двойныя линіи; дальнѣйшихъ же членовъ серіи раздѣлить не удалось. По мѣрѣ увеличенія n , линіи все тѣснѣе и тѣснѣе сближаются другъ съ другомъ, и послѣдніе 22 члена серіи сосредоточены на пространствѣ, равномъ промежутку между *D*-линіями.

2) Бороздчатого спектра, которымъ сопровождается каждый изъ 6 первыхъ членовъ серіи. Этотъ бороздчатый спектръ оказывается весьма сложнымъ у перваго члена и становится все болѣе и болѣе простымъ, по мѣрѣ увеличенія n .

Возбудителями флюоресценціи, въ рассматриваемомъ случаѣ, и являются бороздчатые спектры при первомъ и второмъ членахъ серіи. Первый изъ нихъ вызываетъ флюоресценцію въ видимой части спектра, а второй—въ ультрафіолетовой, причемъ обѣ эти флюоресценціи совершенно независимы другъ отъ друга.

Что касается до спектра флюоресценціи паровъ натрія, то онъ также оказывается очень сложнымъ и видъ его мѣняется въ зависимости отъ возбуждающаго свѣта. Наболѣе полный спектръ флюоресценціи состоитъ изъ краснооранжевой части, желтыхъ линій *D* и зеленоголубой части.

Краснооранжевая часть состоитъ изъ линій и полосъ, которыя ясно выступаютъ только при густомъ парѣ.

Линіи *D* появляются только при дѣйствіи возбуждающаго свѣта такой же длины волны (явленіе резонанса), хотя имѣется указаніе *Вуда*, что онѣ могутъ быть получены и при возбужденіи голубымъ свѣтомъ. При увеличеніи плотности пара, онѣ сначала расширяются, а затѣмъ происходитъ ихъ обращеніе, и въ спектрѣ флюоресценціи на ихъ мѣстѣ появляются 2 темныхъ тонкихъ линіи.

Зеленоголубая часть является весьма сложной и распадается на 3 области. Въ предѣлахъ отъ 571 до 500 μ . имѣются правильно расположенныя линіи, находящіяся почти на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга; вслѣдствіе правильнаго колебанія яркости онѣ кажутся обрзающими полосы. На промежуткѣ отъ 500 до 477 μ . содержатся неправильно расположенныя линіи, различной толщины и, нерѣдко, съ одной стороны расплывчатая. Наконецъ, отъ 477 до 468 μ . имѣются широкія линіи, расположенныя въ правильныя пары.

Подобныя же явленія наблюдаются и при фосфоресценціи паровъ калия, въ спектрѣ поглощенія котораго *Бивенъ* нашель серію изъ 24 линій (до $n=26$).

Кромѣ натрія, *Вудъ* изслѣдовалъ также флюоресценцію паровъ іода и ртути, причѣмъ у перваго обнаружилась нѣкоторая аналогія съ натріемъ.

Флюоресценція паровъ органическихъ веществъ была изслѣдована *Эмстономъ*; но въ этомъ случаѣ такъ же, какъ и у ртути спектръ флюоресценціи оказался сплошнымъ.

5. Поглощеніе возбуждающаго свѣта флюоресцирующими веществами. Съ количественной стороны, поглощеніе возбуждающаго свѣта флюоресцирующими веществами обнаруживаетъ нѣкоторыя своеобразныя особенности.

Нормальное поглощение свѣта, какъ извѣстно, совершается по показательному закону *Ламберта-Бера*.

$$J = J_0 e^{-kcx}$$

гдѣ J_0 —интенсивность падающаго, а J —интенсивность прошедшаго свѣта черезъ слой вещества, толщиной x ; c —концентрація вещества; k —коэффициентъ поглощенія.

Поглощение же свѣта флюоресцирующими веществами, какъ показали изслѣдованія *Вальтера*, *Кноблауха* и *Уикъ*, не вполне слѣдуетъ этому закону. Такъ, опредѣляя коэффициентъ поглощенія флюоресцирующихъ красокъ при различной толщинѣ слоя и концентраціи, они нашли для k , въ первомъ случаѣ, довольно постоянную величину, въ то время какъ во второмъ — коэффициентъ поглощенія сохранялъ неизмѣнное значеніе только въ очень узкихъ предѣлахъ и, вообще говоря, измѣнялъ свою величину вмѣстѣ съ концентраціей. Это измѣненіе становилось особенно рѣзко замѣтнымъ, какъ только концентрація поднималась выше опредѣленной „критической“ величины. Впрочемъ, подобное же явленіе наблюдается и у многихъ нефлюоресцирующихъ красокъ. Причину замѣчающагося здѣсь уклоненія отъ закона *Ламберта-Бера* *Вальтеръ* видитъ въ томъ обстоятельстве, что, при повышеніи концентраціи, часть молекулъ соединяется въ болѣе сложныя группы, которыя поглощаютъ свѣтъ иначе, чѣмъ не-ассоциированныя молекулы.

Наряду съ обычнымъ поглощеніемъ, въ флюоресцирующихъ веществахъ наблюдается еще особое, своеобразное поглощеніе свѣта, которое получило названіе флюоресценцабсорбціи: *Беркъ* замѣтилъ, что, во время флюоресценціи, пластинка урановаго стекла поглощаетъ свѣтъ другой пластинки сильнѣе, чѣмъ когда не флюоресцируетъ.

Флюоресценцабсорбція была подробно изслѣдована *Уикъ*, а также *Никольсомъ* и *Мерритомъ*, которые изучали ее при помощи спектрофотометра. Они измѣряли яркость свѣта, прошедшаго черезъ нефлюоресцирующее вещество (T), затѣмъ яркость свѣта одной флюоресценціи (F), вызванной пучкомъ лучей, перпендикулярныхъ къ направленію проходящаго свѣта и, наконецъ, яркость проходящаго свѣта и одновременно вызванной флюоресценціи (C) и нашли, что

$$T + F > C.$$

Разность $T + F - C$ и является мѣрой флюоресценцабсорбціи.

Оказалось, что величина флюоресценцабсорбціи, въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій, остается постоянной, не завися отъ яркости преходящаго, а, слѣдовательно, и падающаго свѣта.

При измѣненіи яркости свѣта флюоресценціи или толщины слоя флюоресцирующаго вещества, флюоресценцабсорбція сначала растетъ пропорціонально измѣряемой величинѣ, постепенно доходить до „насыщенія“ и далѣе остается постоянной.

Наконецъ, наблюдая флюоресценцабсорбцію въ различныхъ лучахъ спектра, нашли, что ея кривая имѣетъ ходъ, похожій на ходъ кривой флюоресценціи.

Другіе изслѣдователи, какъ, на примѣръ *Вудъ* и *Кампшель* не могли обнаружить явленія флюоресценцабсорбціи. *Никольсъ* и *Мерритъ* объясняютъ отрицательный результатъ этихъ опытовъ тѣмъ, что при наблюденіяхъ пользовались черезчуръ яркимъ проходящимъ свѣтомъ. Тѣмъ не менѣе, вопросъ о существованіи флюоресценцабсорбціи слѣдуетъ пока считать открытымъ.

6. Поглощеніе свѣта флюоресценціи внутри вещества. Типичные спектры. Кромѣ возбуждающаго свѣта, флюоресцирующее вещество погло-

щаетъ и часть свѣта флюоресценціи, и это послѣднее поглощеніе происходитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе толстый слой флюоресцирующаго вещества приходится проходить свѣтовому лучу внутри до его выхода наружу. Такъ какъ сильнѣе всего поглощаются болѣе преломляемые лучи, то въ спектрѣ флюоресценціи будетъ ослабленъ фіолетовый конецъ, и такой спектръ явится не характернымъ для флюоресцирующаго вещества. Однако, это поглощеніе можно учесть и, введя поправку, получить типичный спектръ флюоресценціи.

Указанная поправка можетъ быть получена, какъ графически, такъ и вычисленіемъ. Въ первомъ случаѣ строятъ кривую прозрачности даннаго вещества, какъ функцію длины волны, и, на основаніи построенной кривой, увеличиваютъ соотвѣтственныя ординаты кривой наблюдаемаго спектра флюоресценціи. Во второмъ случаѣ для вычисленія типичнаго спектра пользуются формулой

$$f = \frac{kF}{1 - e^{-kd}},$$

гдѣ f —интенсивность флюоресценціи, неизмѣнной поглощеніемъ, F —яркость свѣта, испускаемаго флюоресцирующимъ тѣломъ (ослабленнаго поглощеніемъ), k —коэффициентъ поглощенія и d —толщина слоя вещества.

Изученіе типичныхъ спектровъ позволило окончательно рѣшить вопросъ относительно правила *Стокса*, выяснитъ зависимость между яркостью возбуждающаго свѣта и яркостью свѣта флюоресценціи и подмѣтитъ нѣкоторыя интересныя особенности въ свѣтѣ, испускаемомъ флюоресцирующимъ веществомъ.

7. Зависимость между спектрами возбуждающаго свѣта и флюоресценціи. Въ результатѣ изученія спектровъ флюоресценціи и сопоставленія ихъ со спектрами возбуждающаго свѣта выяс-

нилось, что законъ *Стокса* допускаетъ многочисленныя исключенія, и формулировку его пришлось измѣнить слѣдующимъ образомъ: максимумъ флюоресценціи всегда сдвинуть относительно макси-

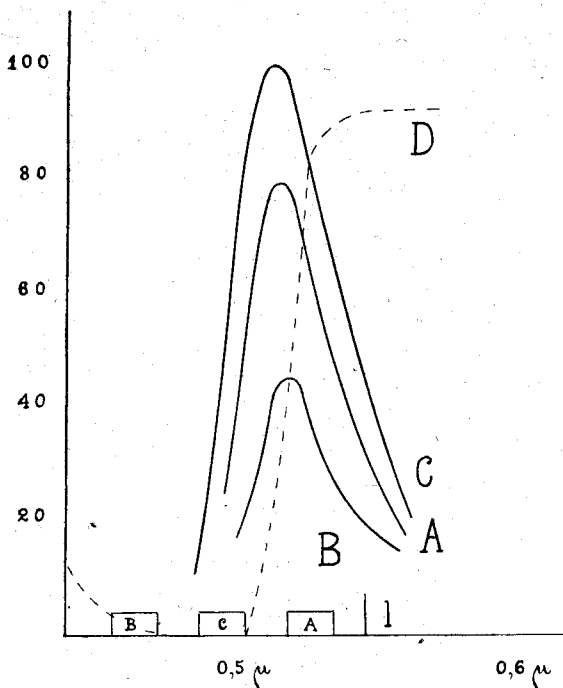


Рис. 2.

муму абсорбціи къ красному концу спектра.

Рис. 2 изображаетъ флюоресценцію воднаго раствора флюоресцеина. Здѣсь по оси абсциссъ отложены длины волнъ въ μ , а по оси ординатъ—интенсивность флюоресценціи въ произвольномъ масштабѣ. А, В и С представляютъ кривыя флюоресценціи, получающіяся при возбужденіи соответствующими участками спектра,

I — самый длинный лучъ, еще способный вызвать флюоресценцію; *D* — кривая прозрачности раствора.

Изъ чертежа видно, что законъ *Стокса* въ прежней формулировкѣ непримѣнимъ къ рассматриваемому случаю, тогда какъ новая формулировка вполне удовлетворяетъ опытнымъ даннымъ.

8. Вліяніе яркости возбуждаемаго свѣта на яркость флюоресценціи. Еще *Стокс* обнаружилъ пропорціональность между яркостью флюоресценціи и яркостью возбуждающаго свѣта, при ослабленіи послѣдняго въ два раза. Въ новѣйшее время этимъ вопросомъ занимались *Кампшель* и, особенно подробно, *Кноблаухъ*. Послѣдній пользовался для своихъ изслѣдованій спектрофотометромъ и нашель, что пропорціональность между яркостями флюоресценціи и возбуждающаго свѣта оправдывается при измѣненіи послѣдней въ отношеніи 1:6400.

9. Особенности свѣта флюоресценціи. Изученіе типичныхъ спектровъ позволило сопоставить вліяніе различныхъ возбудителей на флюоресценцію. Такъ, *Никольсъ* и *Мерритъ*, возбуждая флюоресценцію ультрафіолетовыми, катодными и рентгеновскими лучами, пришли къ заключенію, что, во всѣхъ этихъ случаяхъ, относительное распределеніе интенсивности въ типичномъ спектрѣ флюоресценціи не зависитъ отъ природы возбуждающаго ее агента.

Впрочемъ, изученный, въ этомъ отношеніи, *Никольсомъ* и *Мерритомъ* матеріалъ очень невеликъ, и ихъ выводъ нуждается еще въ дальнѣйшемъ подтвержденіи.

Весьма интересна зависимость спектра флюоресценціи растворовъ отъ концентраціи флюоресцирующаго вещества. По мѣрѣ увеличенія концентраціи яркость

флюоресценціи сначала усиливается, достигаетъ опредѣленнаго максимума, а затѣмъ снова начинаетъ уменьшаться. По теоріи *Вальтера*, при этомъ образуются комплексы молекулъ, которые сами не флюоресцируютъ, а только поглощаютъ свѣтъ флюоресценціи. Вслѣдствіе этого поглощенія, максимумъ яркости въ наблюденномъ спектрѣ флюоресценціи оказывается сдвинутымъ по направленію къ красному концу. Въ типичномъ же спектрѣ флюоресценціи положеніе максимума оказалось независимымъ отъ концентраціи вещества.

Изъ другихъ особенностей свѣта флюоресценціи любопытно отмѣтить его поляризацию и отношеніе къ закону *Ламберта*.

Прежніе изслѣдователи считали свѣтъ флюоресценціи совершенно неполяризованнымъ. Затѣмъ *Зонке*, изслѣдуя флюоресценцію въ веществахъ съ двойнымъ лучепреломленіемъ, показалъ, что въ этомъ случаѣ свѣтъ оказывается поляризованнымъ и притомъ состоящимъ изъ двухъ лучей, плоскости поляризаціи которыхъ взаимно перпендикулярны. Далѣе *Милликанъ* обнаружилъ, что, при большихъ углахъ выхода, свѣтъ флюоресценціи всегда бываетъ отчасти поляризованъ. Особенно интересные случаи поляризаціи наблюдалъ *Вудъ* при флюоресценціи паровъ натрія и калия. Если возбуждать флюоресценцію поляризованнымъ свѣтомъ и направить лучъ зрѣнія перпендикулярно къ плоскости колебаній свѣта возбуждателя, то, при высокой температурѣ, получается до 20%, а при болѣе низкой—до 30% поляризованнаго свѣта флюоресценціи. Если же лучъ зрѣнія лежитъ въ плоскости колебаній свѣта возбуждателя и направленъ перпендикулярно къ направленію послѣдняго, то никакихъ слѣдовъ поляризаціи въ свѣтѣ флюоресценціи не замѣчается. При возбужденіи неполяризованнымъ свѣтомъ, количество поляризован-

наго свѣта флюоресценціи оказывается вдвое меньше по сравнению съ первымъ случаемъ.

Интересно отношеніе флюоресцирующихъ веществъ къ закону *Ламберта*, по которому всякое непрозрачное свѣтящееся тѣло съ матовой поверхностью оказывается одинаково яркимъ, независимо отъ угла наблюденья. Для флюоресцирующихъ веществъ, то же правило не оправдывается, и поверхность ихъ кажется тѣмъ ярче, чѣмъ больше уголъ, подъ которымъ ее разсматриваютъ. Такъ *Вудъ* возбуждалъ флюоресценцію въ поверхностномъ слоѣ катетной грани прямоугольной призмы и разсматривалъ ее непосредственно черезъ другую катетную грань (подъ угломъ около 85°) и черезъ отраженіе въ гипотенузной грани (подъ угломъ въ 0°); въ первомъ случаѣ флюоресценція оказалась въ 30 разъ болѣе яркой, чѣмъ во второмъ.

10. Связь флюоресценціи съ фотоэлектрическими явленіями. При флюоресценціи многихъ веществъ обнаруживаются фотоэлектрическія дѣйствія, какъ это видно изъ прилагаемыхъ примѣровъ:

Названіе вещества.	Спектръ поглощенія въ $\mu\mu$	Спектръ и интенсивность флюоресценціи	Фотоэлектрическій токъ $n \times 10^{-11}$ амп.	
Анилинъ	—	306—430	очень яркая	14,0
Антраценъ	320—380	380—450	"	12,5
Гидрохинонъ	—	303—450	"	4,3
Дифениль	—	286—408	"	7,6
Дуроль	—	280—356	яркая	2,4
Нафталинъ	242—320	304—356	умѣренная	1,2
α -Нафтиламинъ	—	360—512	очень яркая	15,6
β -Нафтиламинъ	—	370—490	"	8,9
Оксигидрохинонъ	—	310—510	умѣренная	18,0
Пирогаллоль	—	350—440	"	12,4
Фенантрень	232—375	298—453	очень яркая	8,2
Феноль	—	280—388	"	2,3

Однако изученіе этихъ явленій началось сравнительно недавно, наблюденія носятъ, по преимуществу, качественный характеръ, а потому говорить объ установленіи какихъ-нибудь законностей пока еще является преждевременнымъ.

11. Зависимость флюоресценціи отъ агрегатнаго состоянія и температуры. Переходъ къ явленіямъ фосфоресценціи.

Какъ агрегатное состояніе, такъ и температура оказываютъ очень сильное явленіе на флюоресценцію.

Зависимость флюоресценціи отъ агрегатнаго состоянія чрезвычайно разнообразна и не поддается точному учету. Одни вещества одинаково хорошо флюоресцируютъ и въ твердомъ видѣ и въ расплавленномъ состояніи или растворѣ (антраценъ, куркума); другія, сильно флюоресцируя въ твердомъ состояніи, или вовсе не флюоресцируютъ въ жидкомъ (платиносинеродистый барій) или же обнаруживаютъ очень слабую флюоресценцію (азотнокислая окись урана); наконецъ, третьи — хорошо флюоресцируютъ въ жидкомъ видѣ, въ то время какъ ихъ способность флюоресцировать въ твердомъ состояніи или вовсе отсутствуетъ (флюоресцеинъ, эозинъ) или же выражена очень слабо (сѣрноокислый хининъ, эскулинъ).

Подобныя же соотношенія обнаруживаются и при сравненіи жидкаго и газообразнаго состояній. Одни вещества одинаково флюоресцируютъ и въ жидкомъ и въ газообразномъ состояніи (напримѣръ, спиртовой растворъ эозина, который не мѣняетъ своей флюоресценціи даже послѣ нагрѣванія выше критической температуры); другія — измѣняютъ при этомъ интенсивность или окраску флюоресценціи; третьи пріобрѣтаютъ способность флюоресцировать вновь или наоборотъ теряютъ ранѣе бывшую способность флюоресцировать.

Наконецъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при застываніи

вещества увеличивается продолжительность флюоресценции, и послѣдняя переходитъ въ фосфоресценцію. Сюда же относится и затвердѣваніе растворовъ, благодаря прибавленію агаръ-агара или желатины.

При пониженіи температуры флюоресценція также нерѣдко переходитъ въ фосфоресценцію, причѣмъ свѣтъ послѣдней, обыкновенно, бываетъ меньшей преломляемости по сравненію со свѣтомъ флюоресценціи. Интересно отмѣтить, что многія вещества, не обнаруживающія флюоресценціи при обыкновенной температурѣ (парафинъ, глюкоза), начинаютъ сильно фосфоресцировать при очень низкихъ температурахъ. Возможно, что и здѣсь невидимая ультрафіолетовая флюоресценція, при пониженіи температуры, переходитъ въ видимую фосфоресценцію.

В. Фосфоресценція.

12. Фосфоресцирующія вещества.

Вскорѣ послѣ открытія фосфора была обнаружена его способность свѣтиться въ темнотѣ, при условіи присутствія кислорода. Отсюда самые разнообразныя случаи самосвѣченія при обыкновенной температурѣ получили названіе фосфоресценціи, а сами свѣтящіяся вещества были названы фосфорами. Впослѣдствіи это названіе было сохранено только за определенной группой явленій фотолюминесценціи, когда свѣченіе продолжается въ теченіе нѣкотораго времени, послѣ прекращенія освѣщенія.

Первымъ искусственнымъ фосфоромъ былъ такъ называемый „болонскій фосфоръ“, полученный около 1602 года прокаливаніемъ тяжелаго шпата ($BaSO_4$), находимаго въ окрестностяхъ Болоньи. Затѣмъ Кантонъ въ 1763 году далъ способъ получать сильно фосфоресцирующее вещество прокаливаніемъ устричныхъ раковинъ съ сѣрой (кантонскій фосфоръ).

Къ серединѣ девятнадцатаго вѣка флюоресценція была установлена уже у очень значительнаго количества веществъ. Особенно плодотворными въ этомъ отношеніи оказались изслѣдованія *Беккереля*, который для обнаруженія флюоресценціи пользовался специально построеннымъ приборомъ — флюороскопомъ, принципъ устройства котораго заключается въ слѣ-

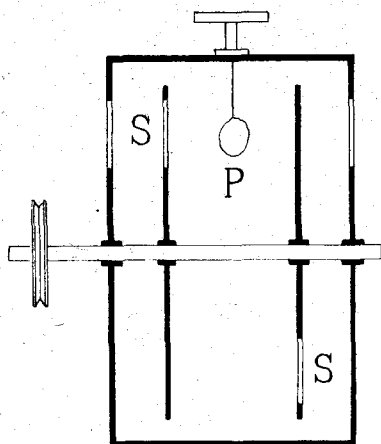


Рис. 3.

дующемъ. Испытуемое вещество *P* (рис. 3) помѣщаются между двумя дисками, насаженными на особую ось и приводимыми въ чрезвычайно быстрое вращательное движеніе. Каждый изъ дисковъ снабженъ прорѣзами *S* въ формѣ секторовъ, причемъ прорѣзы одного диска приходятся противъ промежутковъ между прорѣзами друго-го. Источникъ свѣта и наблюдатель помѣщаются по разныя стороны отъ прибора. Если диски приведены въ движеніе, то испытуемое вещество послѣдовательно открывается то со стороны источника свѣта, то со стороны наблюдателя, и, въ случаѣ флюоресценціи, послѣдній замѣчаетъ свѣченіе, хотя бы оно продолжалось и очень короткое время. Въ флюороскопѣ *Беккереля* это время доходило до 0,0002 сек., а въ флюороскопѣ *Ленара*, построенномъ на другомъ принципѣ, оно было доведено даже до немногихъ милліонныхъ долей секунды. При помощи своего флюороскопа *Беккерель* открылъ флюоресценцію у большого количества веществъ и показалъ, что многія вещества,

которыя раньше считались флюоресцирующими, на самомъ дѣлѣ фосфоресцируютъ.

Въ настоящее время извѣстно огромное количество фосфоресцирующихъ веществъ. Къ нимъ, между прочимъ, принадлежатъ сѣрнистыя соединенія кальція, стронція и барія, цинковая обманка (обманка *Cudo*), нѣкоторые сорта плавиковога шпата (въ особенности зеленая разновидность, называемая хлорофаномъ), алмазь, корундъ, рубинъ, сапфиръ, топазь, кварць, ледъ и цѣлый рядъ другихъ веществъ. Однако интенсивность фосфоресценціи у большинства этихъ веществъ невелика, и для изученія явленія оказываются пригодными только немногія, сильно фосфоресцирующія вещества, къ которымъ относятся сѣрнистыя соединенія щелочноземельныхъ металловъ и цинковая обманка.

Любопытно отмѣтить, что способностью фосфоресцировать обладаютъ только твердыя вещества. Ни у жидкостей, ни у газовъ фосфоресценція не обнаружена.

13. Приготовление и составъ искусственныхъ фосфоровъ. Матеріаломъ для полученія искусственныхъ фосфоровъ почти исключительно служатъ различныя соединенія щелочноземельныхъ металловъ, которыя, путемъ прокаливанія съ разными веществами, переводятся въ сѣрнистыя соединенія. При этомъ сѣрнистыя соединенія одного и того же металла обнаруживаютъ весьма разнообразную фосфоресценцію въ зависимости отъ способа приготовления и состава исходнаго матеріала. Было замѣчено, что чѣмъ чище полученное сѣристое соединеніе, тѣмъ слабѣе оно фосфоресцируетъ, откуда заключили, что фосфоресценція обуславливается присутствіемъ нѣкоторыхъ примѣсей въ составѣ сѣристаго металла. И дѣйствительно *Ленару* и *Клатту* и, позднѣе, *Вентигу* удалось, исходя изъ химически чистыхъ веществъ получить

совершенно чистыя сѣрнистыя соединенія щелочно-земельныхъ металловъ, у которыхъ фосфоресценція или вовсе отсутствовала или же была еле замѣтна, что могло быть объяснено все-таки неполной чистотой матеріала.

Еще *Беккерель* замѣтилъ, что ничтожныя количества марганца и сурьмы сильно повышаютъ яркость фосфоресценціи сѣрнистаго кальція. Далѣе *Лекозъ де-Буа-Бодранъ* обнаружилъ такое же вліяніе небольшихъ примѣсей марганца, висмута, мѣди и желѣза на слабо фосфоресцирующие препараты. Но особенно подробныя изслѣдованія въ этомъ направленіи произвели *Ленаръ* и *Клаттъ*, которые приготовили и изучили около 800 искусственныхъ фосфоровъ. Въ результатѣ ихъ работы выяснилось, что всякое искусственно приготовленное фосфоресцирующее вещество состоитъ изъ слѣдующихъ трехъ составныхъ частей:

1) собственно сѣрнистаго соединенія кальція, стронція или барія;

2) ничтожной прибавки „активнаго“ металла (*Cu, Mn, Fe, Pb, Ag, Zn, Ni, Sb*), количество котораго колеблется между 0,001 и 0,00001 отъ вѣса всего препарата;

и 3) примѣси какой-нибудь легкоплавкой прозрачной соли, самаго разнообразнаго состава, играющей роль растворителя (1—2%, рѣже 5—10% отъ вѣса препарата).

Значеніе этихъ двухъ категорій примѣсей неодинаково. Активный металлъ оказываетъ вліяніе исключительно качественнаго характера, обуславливая тотъ или иной цвѣтъ фосфоресценціи. Вліяніе же легкоплавкихъ примѣсей носить по преимуществу количественный характеръ, опредѣляя интенсивность фосфоресценціи и, лишь въ слабой степени, измѣняя ея оттѣнокъ.

Условія приготовленія искусственныхъ фосфоровъ

были тщательно изучены *Вентигомъ*. Исходя изъ воззрѣнія *Лекокъ де-Буа Бодрана*, раздѣляемаго *Ленаромъ*, что фосфоресцирующія вещества являются твердыми растворами, *Вентигъ* дополнилъ его предположеніемъ, что этотъ растворъ, при обыкновенной температурѣ, оказывается пресыщеннымъ. На этомъ основаніи онъ выработалъ методъ приготовленія очень сильно фосфоресцирующихъ веществъ, комбинируя условія, благоприятствующія получению наиболѣе пересыщенныхъ растворовъ активныхъ металловъ.

Въ соотвѣтствіи со взглядомъ на фосфоры, какъ на пересыщенные растворы, стоитъ и тотъ фактъ, что фосфоресцирующія вещества могутъ быть приготовлены только прокаливаніемъ и никогда не получаютъ осажденіемъ изъ раствора.

14. Зависимость фосфоресценціи отъ возбуждающаго свѣта. Правило Стокса. Изученіе вліянія различныхъ лучей спектра на возбужденіе фосфоресценціи было начато еще *Беккерелемъ*, который освѣщалъ полоску фосфоресцирующаго вещества дневнымъ свѣтомъ и на полученную, такимъ образомъ, свѣтящуюся въ темнотѣ поверхность отбрасывалъ, при помощи призмы, изображеніе солнечнаго спектра. Тогда возбужденная раньше фосфоресценція постепенно всюду затухала, кромѣ тѣхъ мѣстъ препарата, на которыя падали лучи, возбуждающіе фосфоресценцію. При такомъ изученіи было замѣчено, что активнымъ является, главнымъ образомъ, болѣе преломляемый конецъ спектра (ультрафіолетовые и фіолетовые лучи) и что свѣтъ фосфоресценціи, по сравненію съ возбуждающимъ свѣтомъ, оказывается смѣщеннымъ къ красному концу.

Этотъ выводъ былъ позднѣе подтвержденъ на значительномъ матеріалѣ *Видеманомъ* и окончательно установленъ *Ленаромъ* и *Клаттомъ*, которые, примѣняя методъ скрещенныхъ призмъ, изслѣдовали спектроскопи-

чески около 300 фосфоресцирующихъ препаратовъ. Въ результатѣ ихъ работы выяснилось, что максимумъ фосфоресценціи всегда сдвинутъ относительно максимума яркости возбуждающаго свѣта въ сторону болѣе длинныхъ волнъ (правило Стокса):

15. Спектры фосфоресценціи. Спектроскопическія изслѣдованія *Клатта* и *Ленара* показали, что большинство фосфоресцирующихъ веществъ обладаетъ нѣсколькими полосами фосфоресценціи, число и поло-

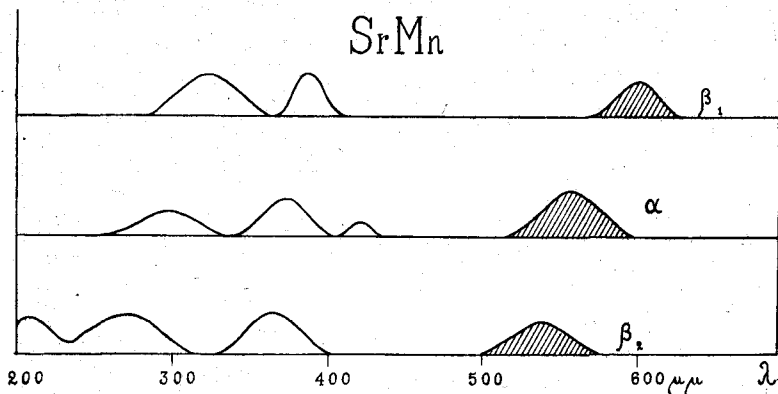


Рис. 4.

женіе которыхъ зависятъ отъ сѣрнистаго соединенія щелочноземельнаго металла и отъ природы активнаго металла. Каждая изъ этихъ полосъ возбуждается своей особой группой волнъ съ опредѣленнымъ спектральнымъ распредѣленіемъ. Такъ напримѣръ, спектръ фосфоресценціи сѣрнистаго стронція съ марганцемъ состоитъ изъ трехъ полосъ α , β_1 и β_2 , изображенныхъ на рис. 4 въ видѣ заштрихованныхъ частей, рядомъ съ которыми показано спектральное распредѣленіе возбуждающаго свѣта (не заштрихованная части). По оси абсциссъ здѣсь отложены длины волнъ, а по оси

ординатъ—относительныя яркости возбуждающаго свѣта и свѣта фосфоресценціи.

Каждая изъ полосъ фосфоресценціи можетъ возбуждаться и затухаетъ независимо отъ остальныхъ. При этомъ однѣ полосы тухнуть тотчасъ же по прекращеніи возбужденія, въ то время какъ свѣченіе другихъ можетъ продолжаться въ теченіе очень большого времени. Первыя *Ленаръ* предложилъ назвать мгновенными (*Momentanbanden*; m-полосы), а вторыя—долго свѣтящимися полосами (*Dauerbanden*; d-полосы). При этомъ мгновенныя полосы требуютъ очень кратковременнаго, а долгосвѣтящіяся—соотвѣтственно болѣе продолжительнаго возбужденія.

Неодинаковая продолжительность затуханія отдѣльныхъ полосъ объясняетъ нерѣдко наблюдающійся фактъ перемѣны окраски въ теченіе фосфоресценціи.

Что касается продолжительности фосфоресценціи, то законъ затуханія былъ найденъ *Вернеромъ*, который для мгновенныхъ полосъ далъ формулу:

$$J = e^{-at^m},$$

а для долгосвѣтящихся—формулу:

$$J = \frac{a}{(c - at)^2},$$

гдѣ J —интенсивность фосфоресценціи, t —время, a , m и c —константы.

Наряду съ возбужденіемъ мгновенныхъ и долгосвѣтящихся полосъ (m и d-процессы) *Ленаръ* наблюдалъ еще особое, очень своеобразное возбужденіе, которое онъ назвалъ u-процессомъ и которое заключается въ слѣдующемъ. Фосфоресценція прежде и ярче всего возникаетъ въ крайней ультрафіолетовой части спектра, около $\lambda=200 \mu\mu$, и отсюда, постепенно ослабѣвая, распространяется въ сторону болѣе длинныхъ волнъ,

доходя до $\lambda = 400 \mu\mu$. Затуханіе происходитъ въ томъ же порядкѣ, въ какомъ совершалось возбужденіе, т.-е. и здѣсь соблюдается общее правило: что быстро вспыхиваетъ, то скоро и затухаетъ.

16. Зависимость флюоресценціи отъ внѣшнихъ условій. Изъ внѣшнихъ условій наиболѣе сильное вліяніе на флюоресценцію оказываетъ температура.

При этомъ нужно различать два случая: флюоресценцію при различныхъ, но постоянныхъ температурахъ и флюоресценцію, въ теченіе которой температура мѣняется. Эти два случая слѣдуетъ разсматривать отдѣльно.

Въ первомъ случаѣ, т. е. когда флюоресценція ведется при неизмѣнной температурѣ, абсолютная величина послѣдней не оказываетъ никакого вліянія на положеніе въ спектрѣ полосы флюоресценціи. Вліяніе температуры здѣсь сводится исключительно къ измѣненію яркости и продолжительности свѣченія, причемъ оба эти измѣненія совершенно независимы другъ отъ друга. Повышеніе температуры можетъ какъ увеличивать, такъ и уменьшать продолжительность затуханія и, въ обоихъ случаяхъ, яркость флюоресценціи можетъ какъ увеличиваться, такъ и уменьшаться. Однако для всякой полосы флюоресценціи существуетъ опредѣленный высшій предѣлъ температуры, при которомъ свѣченіе прекращается. Величина этой предѣльной температуры для различныхъ флюоресцирующихъ веществъ неодинакова: такъ, напримѣръ, сѣрнистый стронцій съ цинкомъ продолжаетъ флюоресцировать почти до температуры начинающагося краснаго каленія въ то время, какъ свѣченіе сѣрнистаго барія съ висмутомъ или свинцомъ прекращается уже около 100°C . Низшаго предѣла температуры для флюоресценціи не найдено.

Детальное изученіе отдѣльныхъ полосъ флюоресцен-

ці показало, що при измѣненіи температуры каждая изъ нихъ проходитъ слѣдующія три стадіи.

Первая стадія наблюдается при очень низкихъ температурахъ (Kältezustand). Въ этой стадіи происходитъ главнымъ образомъ накопленіе энергіи, поглощаемой при инсоляціи, и лишь небольшая часть тратится на свѣченіе; поэтому длительноя фосфоресценціи при этихъ температурахъ не наблюдается.

Вторая стадія (Dauerzustand) наступаетъ при болѣе высокихъ температурахъ, на примѣръ при комнатной, и характеризуется тѣмъ, что оба процесса — накопленіе энергіи при освѣщеніи и расходованіе ея на свѣченіе происходятъ одновременно. Здѣсь могутъ имѣть мѣсто какъ длительная фосфоресценція, такъ и флюоресценція.

Наконецъ при еще болѣе высокихъ температурахъ, близкихъ къ предѣльнымъ (100 — 200°С.) наступаетъ третья стадія (Hitzezustand), въ теченіе которой никакого накопленія энергіи не происходитъ, а вся она тотчасъ-же тратится на свѣченіе. Поэтому здѣсь можетъ наблюдаться только флюоресценція или очень коротковременная фосфоресценція.

Другое вліяніе температуры сказывается на ширинѣ полосъ фосфоресценціи. Какъ общее правило можно указать, что при низкихъ температурахъ эти полосы узки и рѣзко очерчены, а при высокихъ — болѣе широки и размыты.

Во второмъ случаѣ, когда температура въ теченіе фосфоресценціи быстро мѣняется, наблюдаются многія своеобразныя особенности, которыя сводятся къ слѣдующему.

При нагрѣваніи предварительно неосвѣщеннаго препарата никакой фосфоресценціи не обнаруживается. Если же фосфоръ до нагрѣванія былъ подвергнутъ инсоляціи, то фосфоресценція его въ каждый моментъ

времени соотвѣтствуетъ свѣченію при постоянной температурѣ, равной моментальной температурѣ препарата. Такимъ образомъ температура не является самостоятельнымъ возбудителемъ флюоресценціи, и роль ея сводится только къ освобожденію энергіи, накопленной при предварительномъ освѣщеніи.

Если же флюоресцирующій препаратъ былъ освѣщенъ при высокой температурѣ и затѣмъ охлажденъ до такой степени, что свѣченіе его прекратилось, то, при новомъ нагрѣваніи, онъ начнетъ флюоресцировать только послѣ достиженія первоначальной температуры инсоляціи.

Кромѣ температуры, весьма существенное вліяніе на ходъ флюоресценціи оказываетъ освѣщеніе постороннимъ свѣтомъ. Еще *Зебекъ* замѣтилъ, что лучи спектра съ большой длиной волны вызываютъ быстрое затуханіе флюоресценціи, возбужденной предварительнымъ освѣщеніемъ короткими волнами. Затѣмъ *Беккерель* обнаружилъ, что и тѣ лучи, которые являются активными, могутъ одновременно съ этимъ тушить уже ранѣ возбужденную флюоресценцію. Въ послѣднее время этимъ вопросомъ занимались *Дамсъ*, *Айвсъ* и цѣлый рядъ другихъ изслѣдователей. Въ результатѣ ихъ работъ выяснилось, что не существуетъ принципиальной разницы въ тушеніи флюоресценціи различными лучами спектра и что возбуждающіе лучи одновременно вызываютъ и частичное затуханіе уже возбужденной флюоресценціи. Такимъ образомъ между яркостью возбуждающаго свѣта и яркостью флюоресценціи устанавливается опредѣленное равновѣсіе, которое зависитъ только отъ яркости инсоляціи.

Общее количество свѣта, испускаемаго флюоресцирующимъ веществомъ, при этихъ условіяхъ, будетъ различно въ зависимости отъ того, ведется ли затуханіе при освѣщеніи активными или неактивными лучами.

Въ первомъ случаѣ это количество не поддается точному учету, во второмъ же оно остается, повидимому, постояннымъ. При этомъ въ первый моментъ наблюдается очень яркая вспышка флюоресценціи, за которой слѣдуетъ болѣе или менѣе быстрое затуханіе, что находится въ соотвѣтствіи съ закономъ сохраненія энергіи.

Среди остальныхъ вліяній на ходъ флюоресценціи важно отмѣтить значеніе діэлектрической постоянной среды. Было замѣчено, что препараты различныхъ щелочноземельныхъ металловъ, содержащіе примѣсь одного и того же активного металла, возбуждаются одинаковыми группами волнъ и обнаруживаютъ въ спектрѣ флюоресценціи одинаковыя группы полосъ; только положеніе ихъ оказывается нѣсколько смѣщеннымъ другъ относительно друга. При этомъ, чѣмъ больше діэлектрическая постоянная вещества, тѣмъ болѣе смѣщенной къ красному концу спектра является соотвѣтствующая полоса, т. е. тѣмъ большимъ становится періодъ ея колебанія. Если длины волнъ, соотвѣтствующія максимумамъ возбужденія, отнести къ средѣ, діэлектрическая постоянная которой равна 1, т. е. если наблюденныя λ раздѣлить на корень квадратный изъ діэлектрической постоянной вещества, то полученныя такимъ образомъ абсолютныя длины волнъ — λ_0 оказываются, въ предѣлахъ ошибокъ наблюденія, одинаковыми для различныхъ веществъ, какъ это видно изъ прилагаемой таблицы, въ которой для препаратовъ кальція, стронція и барія вычислены λ_0 , соотвѣтствующія максимумамъ возбужденія d_1 и d_2 :

	d_1	d_2	Полоса испусканія*
<i>CaVia</i>	113 μ .	147 μ .	157 μ .
<i>SrVia</i>	111 „	147 „	159 „
<i>BaVia</i>	112 „	144 „	168 „

Для полосъ испусканія, какъ видно изъ той же таблицы, совпаденіе оказывается нѣсколько хуже. Такимъ образомъ вліяніе діэлектрической постоянной вещества на флюоресценцію оказывается сходнымъ съ ея вліяніемъ на колебаніе гертцовскаго вибратора.

Очень своеобразное вліяніе на флюоресцирующія вещества оказываетъ механическое давленіе. При растираніи въ агатовой ступкѣ почти безцвѣтные фосфоры приобрѣтаютъ ясно выраженную окраску (мясо-красную у кальція, красноватую у стронція и голубоватозеленую у барія), причемъ плотность ихъ увеличивается, а интенсивность флюоресценціи сильно понижается. Нагрѣваніе такого растертаго въ порошокъ препарата до высокой температуры снова восстанавливаетъ способность флюоресценціи до прежней величины. Исходя изъ представленія о флюоресцирующихъ веществахъ, какъ о пересыщенныхъ растворахъ, *Вентиль* объясняетъ происходящія здѣсь явленія какъ перемѣщеніе равновѣсія между двумя неустойчивыми фазами подъ вліяніемъ давленія.

Въ заключеніе остается отмѣтить тѣсную связь флюоресценціи съ актиноэлектрическими явленіями.

17. Теоріи флюоресценціи и флюоресценціи. Явленія флюоресценціи и флюоресценціи настолько тѣсно связаны между собою и такъ нечувствительно переходятъ другъ въ друга, что представляется неизбѣжнымъ разсматривать ихъ совмѣстно. Однако, относящіяся сюда явленія оказываются въ высшей степени сложными и, потому, единой теоріи явленій фотолуминесценціи до сихъ поръ не существуетъ.

Въ частности, относительно флюоресценціи былъ предложенъ цѣлый рядъ теорій, которыя могутъ быть сведены къ слѣдующимъ тремъ группамъ:

1) теоріи резонанса—флюоресценція разсматривается, какъ явленіе резонанса (*Ломмель, Видеманнъ и Шмидтъ*);

2) химическія теоріи—флюоресценція толкуется, какъ переходъ вещества изъ одного таутомернаго видоизмѣненія въ другое (*Гьюитъ, Армстронгъ*);

3) электронныя теоріи—флюоресценція разбирается, какъ опредѣленный процессъ электроннаго характера (*Фойтъ, Штаркъ*).

Не входя въ ближайшее разсмотрѣніе этихъ теорій ограничимся замѣчаніемъ, что ни одна изъ нихъ не можетъ объяснить явленій флюоресценціи во всей ихъ полнотѣ; такъ, между прочимъ, ни одна изъ предложенныхъ теорій не даетъ удовлетворительнаго объясненія правила *Стокса*.

Съ фосфоресценціей дѣло обстоитъ значительно лучше, такъ какъ здѣсь имѣется довольно стройная теорія *Ленара*. По представленію *Ленара* какъ поглощеніе возбуждающаго свѣта, такъ и испусканіе свѣта фосфоресценціи обусловлено колебаніями активнаго металла, содержащагося въ препаратѣ, въ пользу чего говоритъ тотъ фактъ, что близкіе въ химическомъ отношеніи металлы испускають аналогичныя полосы фосфоресценціи. При этомъ каждому изъ *m* и *d*-процессовъ соотвѣтствуютъ свои особые центры возбужденія.

Атомы активнаго металла, являющіеся центрами возбужденія, содержатъ два рода электроновъ: фотоэлектроны и лучеиспускающіе электроны. При инсоляціи фосфоресцирующаго препарата, возникаютъ актиноэлектрическія явленія и фотоэлектроны настолько удаляются отъ атома, что электрическія поля, при которыхъ еще не нарушается связь атома съ вылетѣвшимъ изъ него фотоэлектрономъ, лежатъ, главнымъ образомъ, въ окружающей атомъ средѣ. Этимъ объясняется отмѣченное выше вліяніе діэлектрической постоянной среды на смѣщеніе максимумовъ возбужденія.

Возвращеніе удалившагося фотоэлектрона совер-

шается при непрерывномъ его колебаніи, [напримѣръ, при вращеніи вокругъ положительнаго атома. При этомъ амплитуда колеблющагося фотозлектрона постепенно уменьшается, а періодъ его колебанія увеличивается. Когда послѣдній увеличится настолько, что сдѣлается равнымъ собственному періоду колебанія лучеиспускающаго электрона, послѣдній, вслѣдствіе резонанса, приходитъ въ сильное колебаніе, и вещество начинаетъ фосфоресцировать. Колебанія же фотоэлектрона продолжаютъ ослабѣвать и онъ, въ концѣ концовъ, возвращается къ своему прежнему положенію въ атомѣ. Эта картина возбужденія фосфоресценціи даетъ намъ простое и естественное объясненіе правила *Стокса*, такъ какъ лучеиспускающій электронъ можетъ только тогда притти въ колебанія, если собственный его періодъ больше начальнаго періода колебанія фотоэлектрона.

Теорія *Ленара* даетъ намъ только общую картину явленій фосфоресценціи. Многія же детали еще ожидаютъ своего объясненія и дальнѣйшаго углубленія нашихъ представленій о механизмѣ фотолюминесценціи нужно искать съ одной стороны въ дальнѣйшемъ развитіи электронной теоріи, а съ другой—въ сближеніи фотолюминесценціи съ другими видами люминесценціи и, въ особенности, съ хемилюминесценціей и съ фотохимическими явленіями.

Б. С. Швецовъ.

Фотоэлектрический эффектъ.

А. Ф. Иоффе.

Опытныя данныя.

Въ 1887 году Генрихъ Герцъ, изслѣдуя явленіе резонанса двухъ электромагнитныхъ системъ, замѣтилъ, что проскакиваніе искры въ одной цѣпи облегчаетъ появленіе искры въ сосѣдней. Очень скоро Герцъ выяснилъ, что вліяніе это объясняется не прохожденіемъ тока въ цѣпи, а свѣтомъ искры. Первые опыты говорили какъ будто бы противъ такого объясненія, такъ какъ стекло поставленное между двумя искрами, совершенно уничтожало вліяніе одной изъ нихъ на другую. Кварцевая пластинка однако не мѣшала данному эффекту; отсюда можно было уже заключить, что эффектъ вызывается ультрафіолетовыми лучами, для которыхъ кварцъ прозраченъ, стекло же совершенно непрозрачно.

Въ томъ же еще году Гальваксъ, упрощая постепенно условія опыта Герца, установилъ, что всякій отрицательно наэлектризованный проводникъ подъ вліяніемъ ультрафіолетоваго свѣта теряетъ свой зарядъ и даже болѣе того: что проводникъ теряетъ отрицательный зарядъ даже тогда, когда онъ не былъ предварительно наэлектризованъ—проводникъ подъ вліяніемъ ультрафіолетоваго свѣта заряжается положительно.

Эти факты положили основаніе новой области явле-

ній, въ которыхъ проявляется взаимодействіе свѣта и электричества. Фотоэлектрическія явленія выясняютъ съ одной стороны электрическія свойства тѣлъ, а съ другой—нѣкоторыя свойства самого свѣта; въ этомъ послѣднемъ отношеніи они и вызываютъ въ настоящее время наибольшій интересъ: фотоэлектрическій эффектъ долженъ влить то или иное конкретное содержаніе въ абстрактную и весьма странную гипотезу объ атомномъ строеніи лучистой энергіи.

Помимо этого обстоятельства фотоэлектрической эффектъ важенъ еще потому, что есть всѣ основанія полагать, что онъ является первичной формой всякаго воздѣйствія свѣта на тѣла. Явленія фото-химическія, флуоресценція и фосфоресценція вѣроятно лишь слѣдствія вызванныхъ свѣтомъ электрическихъ процессовъ въ тѣлѣ.

Наконецъ открытыя при изученіи фотоэлектрическихъ явленій закономерности настолько опредѣленны, просты и точны, что онѣ невольно заставляютъ искать простыхъ и опредѣленныхъ причинъ. Только немногія гипотезы могутъ объяснить основныя черты этихъ явленій и между ними долженъ рѣшить опытъ, устанавливающей новыя стороны явленія.

Изслѣдованія Столѣтова и Риги.

Первое систематическое изслѣдованіе фото-электрическихъ явленій, создавшее классическія условія постановки опыта, принадлежитъ покойному профессору Московскаго Университета А. Г. Столѣтову и итальянскому ученому Риги. Пластика изъ изслѣдуемаго вещества (обыкновенно цинка), служившая однимъ электродомъ, освѣщалась черезъ сѣтку изъ латуни или черезъ полупрозрачный слой серебра, нанесенный на кварцевую пластинку, служащую вторымъ электродомъ. Въ цѣпь включался далѣе гальванометръ, который да-

валъ отклоненія при освѣщеніи пластинки, а иногда и батарея, поддерживавшая опредѣленную разность потенциаловъ между электродами.

Результаты, полученные Столѣтовымъ, вполнѣ подтверждены были позднѣйшими работами и служатъ поэтому прочной базой для дальнѣйшихъ изслѣдованій.

Столѣтовъ показалъ, что сила фотоэлектрическаго тока пропорціональна количеству свѣта, падающаго на пластинку въ единицу времени. Законъ этотъ оставался справедливымъ какимъ бы путемъ ни измѣнять количество свѣта. Сто-

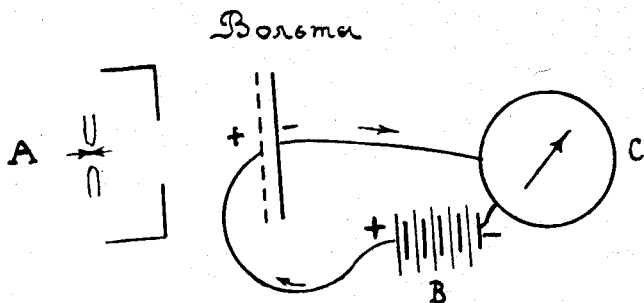


Рис. 1.

лѣтовъ варіировалъ какъ величину освѣщенной поверхности, такъ и интенсивность свѣта, или наконецъ при помощи вращающагося сектора періодически затемнялъ и освѣщалъ пластинку, варіируя время освѣщенія.

Кромѣ того Столѣтовъ показалъ, что поглощеніе свѣта пластинкой является необходимымъ условіемъ фотоэлектрическаго эффекта.

Роль различныхъ веществъ въ эффектѣ Столѣтовъ сводилъ къ различной контактной разности потенциаловъ, существующей между металломъ и газомъ.

Изслѣдуя роль давленія окружающаго газа и разности потенциаловъ, приложенной извнѣ къ электродамъ, Столѣтовъ открылъ явленіе токовъ насыщенія въ

газахъ, нашедшее себѣ столь наглядное истолкованіе въ іонной теоріи электропроводности газовъ. Значеніе этихъ послѣднихъ изслѣдованій лежитъ однако главнымъ образомъ въ области ученія объ электрическихъ явленіяхъ въ газахъ, а не фотоэлектричества.

За нѣсколько дней до появленія первой статьи Столѣтова, напечатана была первая замѣтка Риги. Методъ его отличался отъ метода Столѣтова тѣмъ, что электрическіе заряды, переносимые съ освѣщенной пластинки на сѣтку, измѣрялись не гальванометромъ, а электрометромъ. Онъ изучилъ пути этихъ зарядовъ, и установилъ, что электрическіе заряды, теряемые освѣщеннымъ тѣломъ, слѣдуютъ по линіямъ электрическихъ силъ въ направленіи отъ отрицательнаго полюса къ положительному. Риги показалъ, что фотоэлектрическій эффектъ не есть свойство однихъ металловъ; и на поверхности типичныхъ діэлектриковъ—сѣры и эбонита свѣтъ вызываетъ потерю отрицательныхъ зарядовъ. Риги наблюдалъ также любопытный фактъ отталкиванія пластинки уходящими съ нея подъ вліяніемъ свѣта зарядами.

Рядъ другихъ результатовъ Риги или не подтвердился или же оказался несущественнымъ для изучаемаго явленія.

Фотоэлектроны.

Столѣтовъ, а затѣмъ Эльстеръ и Гейтель съ полной убѣдительностью показали, что освѣщенное тѣло можетъ терять исключительно отрицательный зарядъ, и что наблюдавшаяся иногда потеря положительнаго заряда всегда объяснялась побочными эффектами.

Изслѣдованіемъ свойствъ тѣхъ зарядовъ, которые уходятъ изъ тѣла подъ дѣйствіемъ свѣта, занялся Ленардъ. Направивъ струю пара на освѣщенную поверх-

ность, онъ замѣтилъ появленіе тумана вблизи поверхности всякій разъ, когда она освѣщалась ультрафіолетовымъ свѣтомъ. Такъ какъ въ то время извѣстно было лишь образованіе капель тумана на пылинкахъ, взвѣшенныхъ въ воздухѣ, то Ленардъ заключилъ сначала, что носителями зарядовъ являются пылинки металла. Въ настоящее время мы знаемъ, что всякій электрическій зарядъ облегчаетъ появленіе капелекъ тумана, даже и въ томъ случаѣ, когда зарядъ не связанъ съ матеріальнымъ ядромъ.

Въ изложенной постановкѣ опыты и не позволяютъ ничего узнать о свойствахъ фотоэлектрическихъ зарядовъ, такъ какъ послѣдніе, уйдя съ поверхности металла сталкиваются съ частичками окружающаго воздуха, соединяются съ ними и совершенно измѣняютъ свои первоначальныя свойства. И во многихъ другихъ отношеніяхъ окружающая газовая среда усложняетъ и видоизмѣняетъ явленіе, поглощаясь поверхностью металла, воздѣйствуя на него химически, поглощая ультрафіолетовые лучи до паденія ихъ на пластинку и т. д. Всѣ эти вліянія лишь внѣшнимъ образомъ связаны съ фотоэлектрическимъ явленіемъ.

Значительнымъ шагомъ впередъ въ постановкѣ опыта является поэтому попытка Ленарда изслѣдовать явленіе въ пустотѣ.

Ленардъ прежде всего установилъ, что при фотоэлектрическомъ эффектѣ переходъ электрическихъ зарядовъ происходитъ безъ одновременнаго переноса матеріи, вопреки его первоначальному мнѣнію. Въ новѣйшее время опыты вполне подтвердили этотъ результатъ; весьма продолжительный и интенсивный фотоэлектрическій токъ не вызываетъ ни малѣйшей потери вещества освѣщеннаго электрода. Во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что транспортъ матеріи и распыленіе электрода должны

быть несравненно меньше, чѣмъ при прохожденіи того же тока черезъ электролитъ.

Далѣе Ленардъ изслѣдовалъ вліяніе электрическаго и магнитнаго поля на теряемые подѣ дѣйствіемъ свѣта заряды. Оказалось, что заряды, теряемые тѣломъ подѣ вліяніемъ свѣта, въ пустотѣ обладаютъ всѣми свойствами катодныхъ лучей. Они распространяются прямолинейно, вызываютъ свѣченіе флуоресцирующихъ веществъ въ мѣстѣ своего паденія, легко отклоняются магнитомъ и электрическимъ полемъ. Измѣреніе отно-

шенія заряда къ массѣ $\frac{e}{\mu}$ дало въ различныхъ случаяхъ величины близкія къ числамъ полученнымъ для катодныхъ лучей и β -лучей радія, а именно $1,15 \cdot 10^7$ (вмѣсто $1,7 \cdot 10^7$). Рейгеръ получилъ позже для зарядовъ, уходящихъ съ поверхности изоляторовъ числа,

лежація между $1,0—1,12 \cdot 10^7$, тогда какъ отношеніе $\frac{e}{\mu}$

для электролитическихъ іоновъ выражается числами порядка $10^2—10^4$ С. Г. С. Регенеру удалось недавно непосредственнымъ опытомъ показать, что освѣщенное ультрафіолетовымъ свѣтомъ тѣло испускаетъ черезъ неправильные промежутки отдѣльные заряды, расходящіеся по различнымъ направленіямъ.

Всѣ эти опыты не оставляютъ сомнѣнія въ томъ, что фотоэлектрической эффектъ состоитъ въ испусканіи тѣломъ электроновъ. Положеніе это считается столь прочно установленнымъ, что для точнаго количественнаго измѣренія свойствъ электроновъ (необходимаго для рѣшенія спора между принципомъ относительности и старой электронной теоріей) Гупка воспользовался именно фотоэлектронами, и его опыты служатъ лучшимъ точнымъ подтвержденіемъ факта испусканія электроновъ при освѣщеніи.

Отмѣтимъ, что, какъ замѣтилъ еще въ первыхъ

опытахъ Галльваксъ, фотоэлектроны выходятъ не только изъ самаго поверхностнаго слоя, но и изъ значительной сравнительно глубины металла, на которую проникаетъ свѣтъ. Рубенсъ и Ладенбургъ неопровержимо доказали это своими опытами. Болѣе того, на тонкихъ полупрозрачныхъ слояхъ металла было показано, что гораздо большее число электроновъ выходитъ въ ту же сторону, куда идетъ свѣтъ, чѣмъ въ сторону, откуда свѣтъ падаетъ на пластинку.

Число и скорость фотоэлектроновъ.

Методы измѣреній. Столѣтовъ замѣтилъ, что сила тока, получаемого при освѣщеніи одного электрода, не возрастаетъ пропорціонально приложенной электродвижущей силѣ, а постепенно приближается къ нѣкоторому предѣльному значенію. Явленіе это, извѣстное подъ названіемъ тока насыщенія, объясняется тѣмъ, что освѣщеніе пластинки вызываетъ опредѣленное число зарядовъ (электроновъ), которые и движутся въ электрическомъ полѣ къ положительному полюсу. Если эти электроны не создаютъ на своемъ пути при столкновеніи съ частицами газа новыхъ зарядовъ, то наибольшая сила тока, которую можно получить будетъ достигнута, если всѣ электроны, освобожденные свѣтомъ на одномъ электродѣ, достигнутъ другого неосвѣщеннаго электрода. О наступленіи тока насыщенія можно судить по тому, что дальнѣйшее увеличеніе приложенной къ электродамъ разности потенціаловъ не вызываетъ болѣе возрастанія силы тока. Итакъ, измѣряя величину тока насыщенія, мы опредѣляемъ общее число фотоэлектроновъ, вызванныхъ въ единицу времени.

Другая величина, которая имѣетъ чрезвычайно важное значеніе при изученіи фотоэлектрическаго

эффекта, это начальная скорость фотоэлектроновъ, т. е. скорость, съ которой электронъ покидаетъ освѣщенную пластинку. Еще важнѣе было бы знать скорость фотоэлектрона непосредственно послѣ его освобожденія внутри металла; объ этой скорости приходится судить лишь на основаніи опредѣленныхъ гипотезъ о вліяніи поверхностнаго слоя металла. Только начальная скорость внѣ металла поддается опытному изслѣдованію и измѣренію. Обычно пользуются для этого слѣдующимъ приемомъ: помѣщаютъ конденсаторъ Столѣтова въ пустоту и наблюдаютъ измѣненіе силы фотоэлектрическаго тока при измѣненіи приложенной къ электродамъ разности потенціаловъ. Такъ какъ явленіе строго униполярно, т. е. вызывается одними лишь отрицательно заряженными электронами, то зависимость должна имѣть слѣдующій характеръ: при достаточно сильномъ „ускоряющемъ полѣ“, т. е. отрицательнымъ потенціалѣ освѣщеннаго электрода, долженъ имѣть мѣсто токъ насыщенія—всѣ освобожденные электроны достигаютъ противоположнаго положительнаго электрода. По мѣрѣ уменьшенія разности потенціаловъ все большая часть фотоэлектроновъ выйдетъ изъ предѣловъ конденсатора наружу, и сила тока будетъ падать. Возможно, хотя и не доказано, что ускоряющее поле вызываетъ и такіе электроны, которые безъ него застряли бы въ поверхностномъ слое металла, удержанные двойнымъ электрическимъ слоемъ, имѣющимся тамъ. Если же, наоборотъ, приложенная электродвижущая сила будетъ „замедлять“ электроны (освѣщенная пластинка положительна), то часть электроновъ возвратится къ положительному полюсу, не достигнувъ противоположнаго электрода. Дѣйствительно, во время ихъ движенія въ полѣ между пластинками фотоэлектроны затрачиваютъ работу противъ силъ поля—они напоминаютъ тѣло, брошенное вверхъ въ полѣ земного притяженія. Только тѣ изъ фотоэлек-

троновъ достигнуть противоположнаго электрода, начальная кинетическая энергія которыхъ больше той работы, которую они должны затратить, т. е. больше прибрѣтенной ими потенциальной энергіи.

Обозначимъ массу электрона черезъ μ , начальную скорость его черезъ v_0 , зарядъ черезъ e , а приложенную

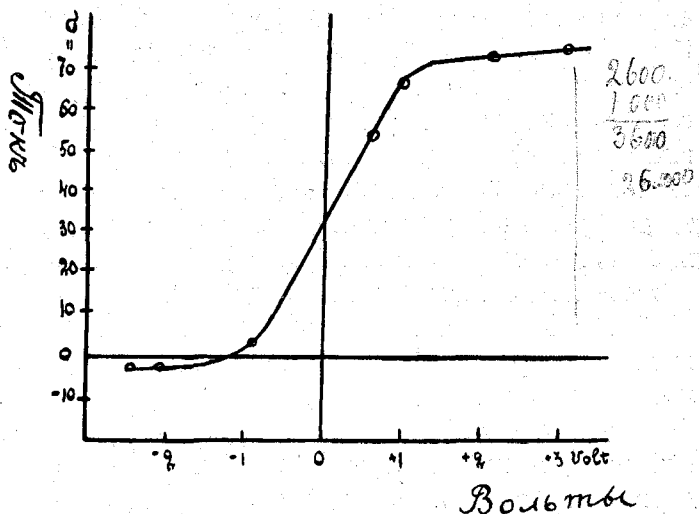


Рис. 2.

разность потенциаловъ черезъ V ; тогда начальная кинетическая энергія фотоэлектрона равна $\frac{1}{2} \mu v_0^2$, а работа, произведенная имъ въ электрическомъ полѣ — $e \cdot V$. Условіе, необходимое для того, чтобы электронъ въ замедляющемъ полѣ достигъ другою полюса, выразится такъ:

$$\frac{1}{2} \mu v_0^2 > e V.$$

или

$$v_0 > \sqrt{2 \frac{e}{\mu} V}.$$

Такъ какъ и отношеніе заряда электрона къ его массѣ и самый зарядъ въ настоящее время съ достаточной достовѣрностью извѣстны, то и измѣреніе начальной скорости и начальной кинетической энергіи фотоэлектроновъ сводится къ измѣренію той замедляющей разности потенциаловъ, которая необходима, чтобы возвратить электроны назадъ къ освѣщенной пластинкѣ. Подобно тому, какъ для опредѣленія начальныхъ скоростей брошенной вверхъ горсти камешковъ можно сосчитать сколько изъ нихъ подыметъ выше извѣстныхъ уровней, точно также кривая, опредѣляющая зависимость фотоэлектрическаго тока (числа электроновъ) отъ приложенной замедляющей электродвижущей силы, дѣаетъ законъ распредѣленія начальныхъ скоростей фотоэлектроновъ.

Наконецъ, та разность потенциаловъ, которая совершенно прекращаетъ фотоэлектрическій токъ, опредѣляетъ наибольшую скорость, которая встрѣчается среди фотоэлектроновъ. Если къ электродамъ не прикладывать внѣшней электродвижущей силы и изолировать ихъ другъ отъ друга, то освѣщенная пластинка будетъ до тѣхъ поръ терять отрицательные заряды и отдавать ихъ другому электроду, пока между ними не установится разность потенциаловъ достаточная для возвращенія наиболѣе быстрыхъ электроновъ. Если одинъ изъ электродовъ отвести къ землѣ, то другой приметъ въ концѣ концовъ потенциалъ, который опредѣляетъ наибольшую начальную скорость. Эту послѣднюю скорость можно опредѣлять поэтому и независимо отъ кривой распредѣленія скоростей.

Въ виду важности опредѣленія скоростей полезно отдать себѣ отчетъ въ тѣхъ предпосылкахъ, на которыхъ покоится изложенный методъ, и которыя должны быть соблюдены при экспериментальномъ изслѣдованіи.

1). Электроны, покинувшіе освѣщенную пластинку

не должны встрѣчать препятствій въ своемъ движеніи къ другому электроду. Для этого свободный путь электрона долженъ быть значительнѣе, чѣмъ разстояніе между электродами (этотъ путь опредѣляется длиной темнаго катоднаго пробоя въ трубѣ). Въ обычныхъ условіяхъ пустоту можно считать достаточной для даннаго метода, если давленіе измѣряется десятитысячными долями миллиметра рт. ст.

2). Второй электродъ не долженъ быть освѣщенъ ни прямымъ ни отраженнымъ или разсѣяннымъ свѣтомъ, способнымъ вызвать и во второмъ электродѣ фотоэлектроны. Для этого дѣлаютъ электродъ изъ нечувствительнаго къ данному свѣту металла и защищаютъ его отъ дѣйствующаго свѣта.

3). Данный методъ предполагаетъ, что электронъ, попавшій на второй электродъ застреваетъ въ немъ и отдаетъ ему свой зарядъ. Опытъ однако показалъ, что электроны только частью поглощаются, частью же разсѣиваются, вызывая вторичные катодные лучи, искажающіе явленіе. Для устраненія ихъ дѣлаютъ неосвѣщенный электродъ изъ вещества наиболѣе сильно поглощающаго электроны (сажа или платинированіе) или же, что оказывается болѣе дѣйствительнымъ, готовятъ электродъ изъ сѣтки, за которой помѣщаютъ еще 3-ью пластинку, заряженную положительно. Присутствіе этой новой пластинки почти не сказывается на полѣ между электродами; искаженіе поля, и притомъ весьма замѣтное, будетъ лишь вблизи отверстій сѣтки. Движеніе фотоэлектрона опредѣляется поэтому разностью потенциаловъ между электродами, и лишь тогда, когда электронъ подойдетъ къ самой сѣткѣ, онъ упадетъ въ поле 3-ей пластинки и притянется ею. Наоборотъ, возникающіе на сѣткѣ вторичные лучи сразу подпадаютъ дѣйствию 3-ей пластинки и притягиваются ею черезъ отверстія сѣтки.

4). Наконецъ методъ предполагаетъ, что приложенная къ электродамъ извнѣ электродвижущая сила опредѣляетъ дѣйствительную разность потенциаловъ между электродами въ пустотѣ. Возможно, что на послѣднюю вліяетъ кромѣ того и контактная разность потенциаловъ между различными веществами электродовъ. Кромѣ того нельзя забывать, что электроны, возникшіе внутри металла измѣнили уже свою скорость раньше, чѣмъ попали въ пустоту, благодаря поверхностному электрическому слою или благодаря столкновениямъ съ молекулами металла или абсорбированнаго въ металлѣ газа.

Основные законы явленія.

Вліяніе температуры. Первые опыты дали весьма разнорѣчивыя указанія относительно вліянія температуры на силу фотоэлектрическаго эффекта. Однако скоро выяснилось, что причиной этихъ результатовъ служилъ газъ окружающій электроды. Въ пустотѣ вліяніе температуры совершенно исчезаетъ. Лингопъ показалъ, что эффектъ совершенно не измѣняется при охлажденіи до температуры жидкаго воздуха (-190° C), а Ладенбургъ нашель, что и при нагрѣваніи до 800° C эффектъ нисколько не измѣняется.

Особенно тщательные опыты производили съ самыми разнообразными матеріялами Миликэнъ и Винчестеръ при температурахъ до 125° C и съ большой точностью установили отсутствіе вліянія температуры.

Съ температурой измѣняется иногда и агрегатное состояніе. Опыты Дембера надъ калиемъ и натріемъ показали, что и переходъ тѣла изъ твердаго состоянія въ жидкое нисколько не измѣняетъ фотоэлектрическаго эффекта.

Вліяніе силы свѣта. Вліяніе это совершенно различно сказывается на числѣ и на начальной скорости электроновъ.

Число фотоэлектроновъ строго пропорционально количеству поглощеннаго свѣта при неизмѣнныхъ прочихъ условіяхъ. Этотъ законъ, высказанный Столѣтовымъ, былъ затѣмъ подтвержденъ и въ пустотѣ Ленардомъ. Съ большой точностью провѣрилъ его Рихтмайеръ, измѣняя силу падающаго на электродъ свѣта.

Однако и не измѣняя силы падающаго свѣта можно измѣнить количество поглощеннаго свѣта, мѣняя уголъ паденія и плоскость поляризаціи луча. Опытныя изслѣдованія Эльстера и Гейтеля и Поля вполнѣ объясняются измѣненіемъ количества поглощеннаго въ этихъ условіяхъ свѣта. Какъ показали однако дальнѣйшіе опыты Поля и Прингсгейма (см. ниже), измѣненіе плоскости поляризаціи въ опредѣленныхъ условіяхъ можетъ имѣть еще и свое особое вліяніе, помимо связи съ поглощеніемъ свѣта.

Въ противоположность числу электроновъ, начальная скорость фотоэлектроновъ абсолютно не зависитъ отъ силы свѣта. Независимость эта была впервые установлена въ самыхъ широкихъ предѣлахъ Ленардомъ и неоднократно подтверждалась всѣми изслѣдователями. Въ частности наибольшая начальная скорость, а слѣдовательно и предѣлъ, до котораго заряжается пластинка свѣтомъ, не зависитъ отъ интенсивности освѣщенія.

Вліяніе вещества. Фотоэлектрической эффектъ въ высокой степени зависитъ отъ вещества электрода и отъ свойства его поверхности. Риги обратилъ вниманіе на то, что фотоэлектрической эффектъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ электроположительнѣе металлъ.

Дѣйствительно, наиболѣе чувствительными (даже къ видимому свѣту) оказались наиболѣе электроположительные, наиболѣе окисляемые металлы, рубидій, цезій, калий и натрій. Однако измѣренія Ладенбурга и (во многихъ отношеніяхъ противорѣчація имъ) измѣренія Миликэна и Винчестера привели къ тому результату, что рядъ металловъ, расположенный въ порядкѣ ихъ фотоэлектрической чувствительности, не совпадаетъ ни съ рядомъ Вольта, ни съ рядомъ металловъ по ихъ потенциалу въ электролитѣ. Вопросъ однако чрезвычайно осложняется тѣмъ, что величина эффекта для даннаго металла весьма сильно мѣняется въ зависимости отъ самыхъ разнообразныхъ условій; отъ степени полировки, отъ способа обработки поверхности, отъ поглощенныхъ газовъ. Свѣжія пластинки обыкновенно отличаются гораздо большей чувствительностью, чѣмъ полежавшія (фотоэлектрическая усталость). Въ пустотѣ, наоборотъ, при непрерывномъ освѣщеніи по наблюденіямъ Миликэна и Райта эффектъ съ теченіемъ времени сильно возрастаетъ. Байеръ наблюдалъ также возрастаніе эффекта при продолжительномъ пропусканіи электрическихъ разрядовъ (Байеръ впрочемъ позднѣе и самъ объяснилъ свои наблюденія вторичными явленіями).

Если двѣ пластинки изъ одного и того же матеріала даютъ совершенно различные результаты въ зависимости отъ обработки, то трудно ожидать, чтобы наборъ различныхъ веществъ далъ именно тотъ порядокъ, который установленъ для электрическихъ потенциаловъ. Только очень большія различія въ потенциалахъ могутъ въ этихъ условіяхъ проявиться. На величину тока должна также повліять та или иная величина поглощенія даннымъ металломъ ультрафіолетовыхъ лучей.

Столтцовъ находилъ, что всѣ металлы приблизительно одинаково свѣточувствительны, но что различіе

между ними сказывается въ томъ, что къ извнѣ приложенной электродвижущей силѣ всегда присоединяется та или иная контактная разность потенциаловъ. Это обстоятельство должно поэтому сказаться не на токѣ насыщѣнія, а на опредѣленіи начальныхъ скоростей фотоэлектроновъ: къ электродвижущей силѣ V придется еще прибавить контактную разность потенциаловъ V_k , которая можетъ быть положительной или отрицательной.

Выведенное выше условіе для достиженія фотоэлектрономъ второй пластинки выразится въ этомъ предположеніи такъ:

$$\frac{1}{2} \mu v_0^2 > e (V + V_k).$$

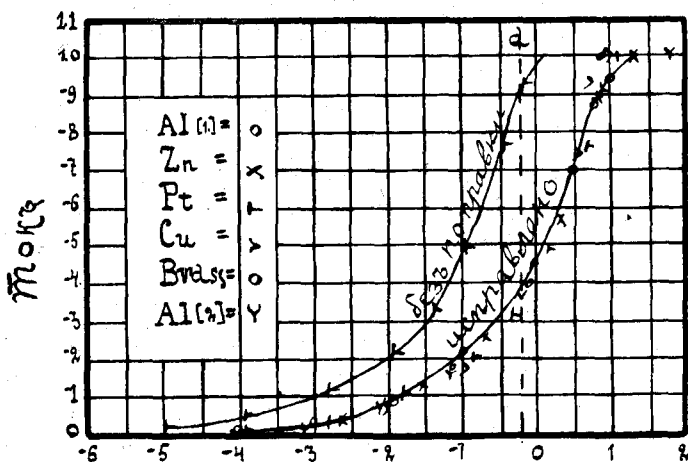


Рис. 3.

Слѣдовательно кривыя, выражающія зависимость силы тока J отъ приложенной электродвижущей силы для различныхъ металловъ должны быть смѣщены на величины V_k , равныя контактнымъ разностямъ потенциаловъ между электродами.

Недавно опубликованные опыты Комптона дѣйстви-

тельно, повидимому, приводятъ къ этому результату. Комптонъ измѣрялъ контактную разность потенциаловъ между электродами, ионизируя радіемъ воздухъ между ними, а затѣмъ получалъ указанную кривую между тѣми же электродами, помѣщенными въ пустоту. Смѣстивъ всѣ кривыя для различныхъ матеріаловъ параллельно самимъ себѣ на величину измѣреннаго контактнаго потенциала, Комптонъ получилъ хорошее совпаденіе. Наибольшія начальныя скорости во всякомъ случаѣ оказались одинаковыми для всѣхъ металловъ. Въ постановкѣ опытовъ Комптона можно указать нѣкоторые дефекты, поэтому приходится ждать еще окончательнаго ихъ подтвержденія болѣе строгими методами. Они дадутъ во всякомъ случаѣ наиболѣе простое рѣшеніе вопроса о вліяніе вещества электрода.

Вліяніе длины волны свѣта. Рѣшающее значеніе для фотоэлектрическаго эффекта имѣетъ цвѣтъ или длина волны поглощеннаго свѣта. Еще Герцъ замѣтилъ, что свѣтъ отъ искры, прошедшій черезъ стеклянную или слюдяную пластинку, не оказываетъ вліянія на вторую искру. Тотъ же результатъ подтвердили Гальваксъ и Столѣтовъ для потери тѣломъ отрицательныхъ зарядовъ. Въ этомъ случаѣ свѣтъ искры или дуги лишенъ ультрафіолетовыхъ лучей, которые одни только и оказались дѣйствительными. Если подвергать пластинку дѣйствию различныхъ участковъ спектра, начиная съ наиболѣе длинныхъ волнъ, то въ видимомъ спектрѣ эффекта обычно не наблюдается и, лишь начиная съ опредѣленной длины волны (или опредѣленной частоты свѣтовыхъ колебаній), эффектъ появляется. Граница между дѣятельнымъ и недѣятельнымъ свѣтомъ для различныхъ веществъ различна. Эльстеръ и Гейтель нашли въ калии, натріи и рубидіи металлы, которые чувствительны уже и къ видимому свѣту—изслѣдованіе

ихъ оказалось возможнымъ и въ стеклянныхъ сосудахъ, не снабженныхъ кварцевымъ окошечкомъ для пропуска ультрафиолетоваго свѣта. При опредѣленной обработкѣ (электрическими разрядами) коллоидальные слои калия и натрія становятся чувствительными не только для всего видимаго спектра, но и для инфракрасныхъ лучей. Повидимому однако для каждаго

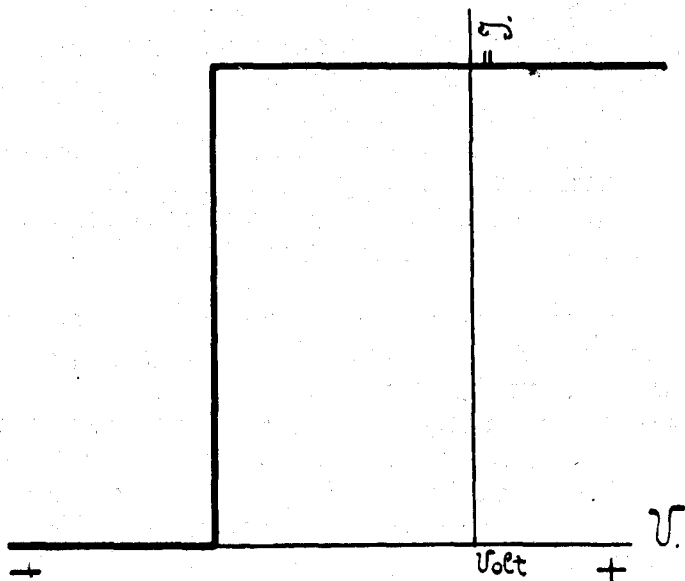


Рис. 4.

металла существуетъ опредѣленная граница въ спектрѣ, за которой эффектъ прекращается.

Отъ частоты свѣтовыхъ колебаній въ высокой степени зависятъ и число и начальная скорость фотоэлектроновъ. Простыхъ результатовъ можно поэтому ожидать лишь тогда, когда освѣщаютъ однороднымъ монохроматическимъ свѣтомъ. Опыты Ладенбурга, Кунца и Хёлля

показываютъ, что начальная скорость электроновъ непрерывно возрастаетъ съ увеличеніемъ частоты свѣтовыхъ колебаній. Весьма важно было бы установить, вызываетъ ли монохроматическій свѣтъ лишь фотоэлектроны одной скорости или разныхъ. Отвѣтъ на этотъ вопросъ должна дать кривая распредѣленія, которая въ первомъ случаѣ должна бы принять видъ, изображенный на чертежѣ 4.

Дѣйствительно Ладенбургъ показалъ, что, принимая мѣры противъ отраженія электроновъ (см. стр. 105), можно получить кривыя, все болѣе приближающіяся къ указанному идеальному случаю. Такъ, напр., съ помощью 3-ей пластинки онъ получилъ кривую, показавшую, что среди излученныхъ электроновъ нѣтъ ни одного, начальная скорость котораго была бы меньше 0,8 Volt и больше 2,3 V.

На слѣдующемъ чертежѣ даны кривыя для платины для 2-хъ участковъ спектра: вблизи 240 и 210 μ , причемъ свѣтъ не былъ вполнѣ однороденъ. Очевидно каждому участку спектра соотвѣтствуетъ опредѣленный участокъ начальныхъ скоростей электроновъ. Что касается вопроса о количественной зависимости скорости отъ длины волны, то его нельзя еще считать окончательно разрѣшеннымъ. Опыты Ладенбурга и Хѳля можно одинаково хорошо представить при помощи формулы

$$v_0 = \alpha \cdot \nu \quad (1) \quad \frac{1}{2} \mu v_0^2 = \alpha \nu + \beta \quad (2).$$

Первая формула утверждаетъ, что начальная скорость пропорціональна числу колебаній свѣта ν , вторая, что начальная кинетическая энергія—линейная функція числа колебаній. Кунцъ предложилъ и провѣрилъ опытнымъ путемъ формулу:

$$v_0 = \alpha \nu^2 + \beta \dots \dots \dots (3).$$

Самая величина начальной скорости во всѣхъ этихъ опытахъ, относящихся къ калію и натрію (Кунцъ), пла-

тинѣ, мѣди и цинку (Ладенбургъ), и углю (Хёлль) измѣряется замедляющими потенциалами отъ 0,4 V до 3 Volt, а длины волнъ отъ 520 μ до 150 μ .

Качественно всѣ эти опыты находятся между собою въ хорошемъ согласіи, показывая, что начальная

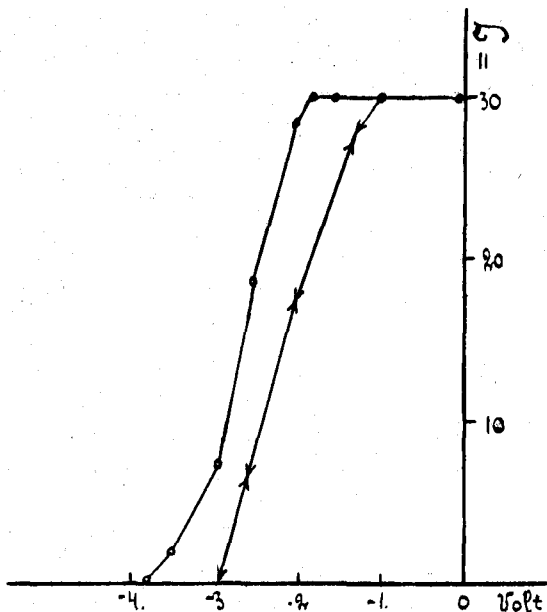


Рис. 5.

скорость фотоэлектроновъ возрастаетъ съ частотой свѣта.

Необходимо однако замѣтить, что Милликэнъ и Райтъ, при освѣщеніи пластинокъ въ продолженіе многихъ мѣсяцевъ, получили скорости, измѣряемыя потенциалами въ 8—15 Volt. Кромѣ того, для этихъ „выдержанныхъ“ электродовъ оказалось, что начальная скорость при опредѣленной частотѣ свѣта достигаетъ наибольшаго значенія и падаетъ какъ при меньшихъ, такъ и при большихъ частотахъ. Точно такія же большія начальныя

скорости получилъ и Байеръ, пропуская между электродами продолжительные разряды. При этомъ на освѣщенномъ электродѣ появляется слой (вѣроятно конденсированнаго фосфорнаго ангидрида) съ весьма сильной электролитической поляризацией, а также появляются заряды на стѣнкахъ стекляннаго сосуда, искажающіе явленіе. Весьма возможно, что и опыты Райта будутъ объяснены подобнымъ же образомъ. Пока однако противорѣчіе опытовъ Райта съ другими не устранено.

Еще сложнѣе вопросъ о зависимости числа фотоэлектроновъ отъ длины волны, такъ какъ число это зависитъ и отъ интенсивности свѣта и отъ коэффициента поглощенія среды.

Въ общемъ можно сказать, что на одинаковую поглощенную свѣтовую энергію приходится тѣмъ больше электроновъ, чѣмъ больше частота свѣта; однако этотъ вопросъ приобретаетъ другое содержаніе, благодаря открытому Полемъ и Прингсгеймомъ селективному эффекту.

Селективный и нормальный фотоэлектрическій эффектъ. Изслѣдуя вліяніе плоскости поляризации свѣта, дававшее прежде противорѣчивые результаты, Поль и Прингсгеймъ замѣтили, что существуетъ опредѣленный участокъ въ спектрѣ, гдѣ это вліяніе сказывается особенно сильно. Свѣтъ, прямолинейно поляризованный такъ, что электрическій векторъ направленъ перпендикулярно къ поверхности металла, вызываетъ въ этой области токъ насыщенія въ сотни разъ превышающій токъ, вызванный свѣтомъ, въ которомъ электрическій векторъ параллеленъ поверхности. При нѣкоторой длинѣ волны, характерной для даннаго металла, различіе это достигаетъ наибольшаго значенія. Въ этой „селективной области“ различіе не можетъ быть повидимому объяснено различіемъ въ поглощеніи свѣта, тогда какъ внѣ ея различіе цѣликомъ объясняется этимъ факторомъ.

Прингсгеймъ и Поль предполагаютъ поэтому, что въ опредѣленной для каждаго тѣла спектральной области перпендикулярный къ поверхности электрической векторъ свѣтовыхъ колебаній вызываетъ особый „селективный эффектъ“, который покрываетъ здѣсь „нормальный эффектъ“, зависящій исключительно отъ ко-

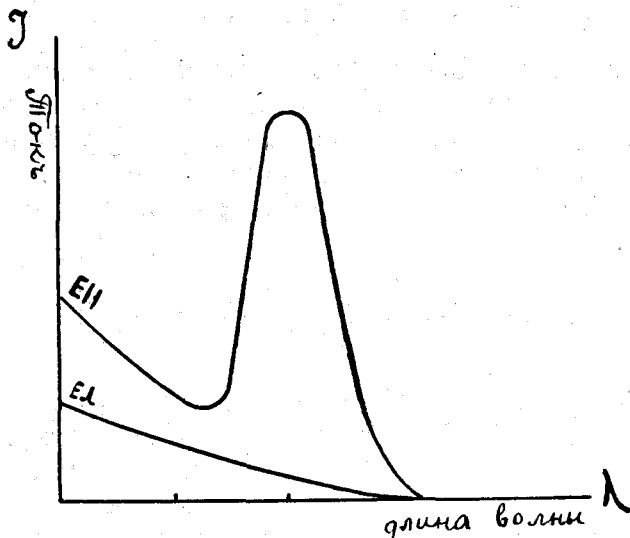


Рис. 6.

личества поглощеннаго свѣта и непрерывно возрастающій съ возрастаніемъ частоты свѣта.

На чертежѣ изображена типичная зависимость фотоэлектрическаго тока отъ длины волны для перпендикулярнаго и параллельнаго къ плоскости паденія электрическаго вектора.

Положеніе селективной полосы въ спектрѣ перемѣщается къ ультрафіолетовому концу, по мѣрѣ перехода отъ болѣе положительныхъ къ болѣе отрицательнымъ металламъ.

Поэтому эффектъ этотъ измѣренъ пока лишь для щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ:

<i>Rb</i> . . .	490 μ
<i>K</i> . . .	440 „
<i>Na</i> . . .	340 „
<i>Li</i> . . .	280 „
<i>Ba</i> . . .	280 „

Линдеманъ предложилъ формулу, позволяющую довольно точно опредѣлить положеніе селективной полосы даннаго металла по его плотности, атомному вѣсу, предполагая, что мы здѣсь имѣемъ дѣло съ періодомъ собственнаго колебанія электроновъ въ тѣлѣ.

Фотоэлектрическій эффектъ въ изоляторахъ.

Еще въ самомъ началѣ изслѣдованія фотоэлектрическаго эффекта Риги доказалъ, что свѣтъ вызываетъ потерю отрицательнаго заряда не только со стороны металловъ, но и съ поверхности діэлектриковъ. Столѣтовъ нашелъ даже, что анилиновыя краски чувствительнѣе металловъ. По Эльстеру и Гейтелю соли, окрашенныя дѣйствіемъ какой-нибудь радіаціи, сильно фотоэлектричны. Весьма чувствительными оказались также всѣ фосфоресцирующія вещества.

Что касается до роли окружающаго пластинку газа, то Столѣтовъ наблюдалъ эффектъ не только въ воздухѣ, но и въ другихъ газахъ и при различныхъ разрѣженіяхъ. Ленардъ показалъ, что въ особенно чистомъ видѣ эффектъ проявляется въ наилучшей пустотѣ, и что окружающій газъ играетъ лишь второстепенную роль, искажая въ томъ или иномъ отношеніи явленіе испусканія фотоэлектроновъ. Опыты Гольдмана и въ осо-

бенности непосредственныя измѣренія фотоэлектрическаго эффекта цинка, погруженнаго въ гексанъ, произведенныя Яффе, показываютъ, что эффектъ возможенъ и въ жидкой средѣ.

Вопросъ о фотоэлектрическихъ свойствахъ газовъ вызвалъ продолжительную полемику. Ленардъ наблюдалъ появленіе свободныхъ зарядовъ въ различныхъ газахъ подѣ дѣйствіемъ свѣта.

Фактъ этотъ дѣйствительно легко поддается наблюденію, однако отчасти, а въ иныхъ случаяхъ и цѣликомъ, онъ объясняется побочными явленіями: во-первыхъ, испусканіемъ фотоэлектроновъ взвѣшенными въ газѣ твердыми пылинками и во-вторыхъ фотоэлектрическимъ эффектомъ на стѣнкахъ сосуда, въ который заключенъ газъ, и на поверхности металлическихъ электродовъ, которые вводятся для констатированія появленія зарядовъ. Однако новые, болѣе тщательные, опыты, произведенные въ новѣйшее время Ленардомъ и Рамсауеромъ доказываютъ, что помимо этихъ вторичныхъ эффектовъ ультрафіолетовый свѣтъ чрезвычайно короткой длины волны вызываетъ дѣйствительный фотоэлектрический эффектъ и въ газахъ, а новые неопубликованные еще опыты С. В. Сѣркова показываютъ, что и ультрафіолетовый свѣтъ большей длины волны вызываетъ эффектъ въ газахъ легко іонизирующихся.

Фотоэлектрический эффектъ тѣсно связанъ съ рядомъ другихъ явленій: съ измѣненіемъ потенциала электрода, погруженнаго въ электролитъ подѣ дѣйствіемъ свѣта, съ фосфоресценціей и флуоресценціей, съ измѣненіемъ проводимости изоляторовъ при освѣщеніи и съ обширной областью фотохимическихъ явленій. Всѣ эти явленія объясняютъ, какъ слѣдствія вызваннаго въ тѣлѣ свѣтомъ фотоэлектрическаго эффекта.

Еще тѣснѣе связано съ фотоэлектричествомъ явленіе вторичныхъ катодныхъ лучей, возникающихъ подъ вліяніемъ рѣнтгеновыхъ лучей. Рѣнтгеновы лучи безъ сомнѣнія приходится считать такимъ же электромагнитнымъ возмущеніемъ эфира, какъ и свѣтъ съ той лишь разницей, что рѣнтгеновы лучи соотвѣтствуютъ еще болѣе быстрымъ измѣненіямъ электромагнитнаго поля, чѣмъ самыя короткія ультрафіолетовыя волны. Возможно даже, что во вторичныхъ „рѣнтгеновыхъ лучахъ флуоресценціи“ мы имѣемъ дѣло съ періодическими колебаніями весьма большой частоты. О продолжительности рѣнтгеновыхъ импульсовъ можно судить по поглощаемости ихъ въ тѣлахъ: чѣмъ меньше поглощаемость лучей въ данномъ веществѣ (аллюминіи), чѣмъ лучи „жестче“, тѣмъ быстрѣе измѣненія поля въ нихъ, тѣмъ короче длина электромагнитнаго импульса въ эфирѣ (что соотвѣтствуетъ болѣе короткимъ волнамъ). Съ другой стороны вторичные катодные лучи ничѣмъ не отличаются отъ фотоэлектроновъ, кромѣ большей скорости.

И дѣйствительно, основныя черты этого явленія вполне совпадаютъ съ законами фотоэлектричества. Скорость вторичныхъ катодныхъ лучей также не зависитъ отъ интенсивности рѣнтгеновыхъ лучей и для различныхъ лучей тѣмъ больше, чѣмъ больше жесткость рѣнтгеновыхъ лучей.

Кромѣ этого совпаденія, вторичные лучи даютъ еще одну новую зависимость, весьма важную для теоретическаго объясненія явленія. Первичные катодные лучи въ трубкѣ вызываютъ рѣнтгеновы лучи, а послѣдніе въ свою очередь вызываютъ вторичные катодные лучи. Является возможность сравнить скорость первичныхъ лучей со скоростью вторичныхъ. Оказывается, что вообще начальная скорость вторичныхъ электро-

новъ меньше, но иногда достигаетъ и скорости первичныхъ электроновъ. Въ послѣднемъ случаѣ исчезнувшая въ трубкѣ кинетическая энергія электрона черезъ эфиръ создаетъ равную ей кинетическую энергію другого электрона.

Теорія явленія

Одна сторона фотоэлектрическихъ явленій можетъ считаться окончательно установленной: поглощеніе свѣта достаточной для данного вещества частоты вызываетъ испусканіе электроновъ, зарождающихся во всей массѣ тѣла, пронизанной свѣтомъ и выходящихъ съ опредѣленной скоростью по всеѣмъ направленіямъ.

Однако механизмъ освобожденія электроновъ свѣтомъ остается невыясненнымъ. Независимость начальной скорости фотоэлектроновъ отъ интенсивности свѣта, отъ температуры и агрегатнаго состоянія вещества и рѣшающая роль частоты возбуждающаго свѣта—вотъ тѣ стороны явленія, которыя должны быть прежде всего объяснены теоріей фотоэлектричества. Объясненія этихъ свойствъ можно искать въ двухъ различныхъ направленіяхъ: 1) въ механизмѣ атома или же 2) въ особыхъ свойствахъ свѣта.

Теорія резонанса (Ленардъ). Наболѣе непринужденно объясняется независимость кинетической энергіи фотоэлектрона отъ интенсивности свѣта допущеніемъ, что электроны вылетаютъ изъ металла съ той скоростью, которой они обладаютъ внутри атома. Роль свѣта сводится лишь къ освобожденію электроновъ; энергія же ихъ внутриатомнаго происхожденія. Въ этомъ пониманіи фотоэлектрический эффектъ можно разсматривать, какъ радиоактивный распадъ вещества, ускоряемый или даже вызванный освѣщеніемъ. Это представленіе повидимому подтверждалось явленіемъ фотоэлектрической усталости и распыленіемъ вещества

подъ дѣйствіемъ свѣта: эти наблюденія указывали на измѣненіе вещества при фотоэлектрическомъ эффектѣ; испусканіе положительныхъ зарядовъ давало новую аналогію съ радиоактивными процессами.

Въ настоящее время можно однако считать установленнымъ, что всѣ эти наблюденія объясняются побочными причинами и съ фотоэлектрическимъ эффектомъ непосредственно не связаны. То обстоятельство, что въ пустотѣ не наблюдается ни распыленія, ни существеннаго измѣненія свойствъ вещества при фотоэлектрическомъ эффектѣ говоритъ противъ теоріи радиоактивнаго распада. Дѣйствительно, если бы испусканіе одного фотоэлектрона сопровождалось разрушеніемъ одной молекулы, то слѣды такого разрушенія могли бы быть установлены. Противъ этой теоріи говоритъ также и то обстоятельство, что на скорость распада радиоактивныхъ веществъ ни свѣтъ, ни другой какой-либо физическій факторъ не оказываетъ ни малѣйшаго вліянія.

Наиболѣе серьезнымъ затрудненіемъ для данной теоріи является зависимость числа и скорости электроновъ отъ длины волны свѣта. Можно было бы наоборотъ ожидать, что разъ свѣтъ лишь освобождаетъ электроны, не участвуя въ созданіи ихъ кинетической энергіи, то послѣдняя не должна вовсе зависѣть отъ свѣта, въ частности и отъ частоты колебаній. Для того, чтобы объяснить появленіе различныхъ скоростей, приходится допустить существованіе въ атомѣ различныхъ электроновъ, движущихся съ тѣми же скоростями внутри атома. Опытъ однако показываетъ, что скорости фотоэлектроновъ непрерывно измѣняются съ длиной волны свѣта. Необходимо было бы, слѣдовательно, принять непрерывный наборъ электроновъ внутри атома со всякими скоростями; число ихъ должно бы быть чрезвычайно велико, если не бесконечно. Освобожденіе того

или иного изъ этихъ электроновъ опредѣлялось бы очевидно совпадениемъ періода собственнаго колебанія электрона въ атомѣ съ періодомъ колебанія свѣта—актомъ резонанса. Допущеніе такого большого набора электроновъ въ атомѣ противорѣчитъ однако нашимъ представленіямъ о строеніи атома и не можетъ считаться сколько-нибудь вѣроятнымъ.

Затрудненіе это устраняется, если приписать свѣту активную роль въ созданіи скорости электроновъ и сохранить изъ изложенной теоріи представленіе о резонансѣ. Явленіе представляется съ этой новой точки зрѣнія въ слѣдующемъ видѣ: поглощенный тѣломъ свѣтъ возбуждаетъ колебанія электроновъ, обладающихъ равнымъ или близкимъ со свѣтомъ періодомъ собственнаго колебанія. Когда скорость электрона достигнетъ нѣкоторой предѣльной величины, электронъ отрывается отъ атома и уходитъ изъ него съ этой скоростью. Предѣльная величина скорости должна впрочемъ опредѣленнымъ образомъ зависѣть отъ частоты вынуждающаго колебанія. Въ случаѣ полного резонанса эффектъ, вызванный той же поглощенной энергіей, долженъ быть наибольшимъ.

Въ примѣненіи къ опытнымъ даннымъ, теорія эта удачно объясняетъ существованіе опредѣленнаго участка скоростей для каждой длины волны. Съ количественной зависимостью скорости отъ длины волны теорія резонанса не стоитъ въ противорѣчій, такъ какъ можно получить любую зависимость, дѣлая тѣ или иныя детальныя предположенія о свойствахъ электромагнитнаго поля внутри атома и о законахъ, по которымъ измѣняются въ этомъ полѣ силы, притягивающія электронъ. Въ частности Ладенбургъ предложилъ гипотезу, приводящую къ результату, что скорость фотоэлектроновъ растетъ пропорціонально числу колебаній свѣта. Зависимость эта еще не достаточно изучена и

установлена съ количественной стороны, чтобы на ней строить опредѣленные гипотезы.

Другимъ весьма существеннымъ подтвержденіемъ теории резонанса является открытіе селективнаго эффекта. При нѣкоторомъ опредѣленномъ періодѣ свѣта, совпадающемъ, повидимому, съ періодомъ собственного колебанія электрона въ атомѣ, эффектъ достигаетъ рѣзко выраженного максимума. Селективный эффектъ вызывается именно той составляющей свѣтовыхъ колебаній, которая сообщаетъ колеблющемуся электрону движеніе перпендикулярное къ поверхности металла. Если селективный эффектъ не наблюдался для всѣхъ тѣлъ, то лишь потому, что періоды колебаній ихъ электроновъ лежатъ слишкомъ далеко въ ультрафіолетовой части спектра. Впрочемъ, селективный эффектъ наблюдался пока лишь по отношенію къ числу электроновъ, а не скорости ихъ. Только опыты Райта указываютъ, что и скорость достигаетъ максимума при опредѣленной частотѣ.

Теорія резонанса не объясняетъ непрерывнаго измѣненія скоростей съ частотой колебаній, указывая лишь, что причина лежитъ въ особыхъ свойствахъ атомныхъ силъ. Въ такомъ случаѣ нужно было бы ожидать, что эти свойства будутъ различны въ разныхъ тѣлахъ—не только начальная скорость, но и зависимость ея отъ періода должна зависѣть отъ индивидуальныхъ свойствъ тѣла. Опыты же Комптона приводятъ наоборотъ къ тому результату, что скорость фотоэлектроновъ, вызванныхъ свѣтомъ одного состава для всѣхъ тѣлъ одинакова. Эта универсальность плохо согласуется съ указаннымъ объясненіемъ; она заставляетъ ожидать и универсальныхъ причинъ—общихъ свойствъ всякаго „резонатора“, въ какомъ бы атомѣ онъ ни находился. Съ другой стороны и теорія лучистой энергіи пришла къ гипотезѣ объ особыхъ универсальныхъ

свойствахъ резонаторовъ, въ количественно болѣе опредѣленной формѣ. Совершенно естественной является попытка приписать и фотоэлектронамъ эти особыя свойства оптическихъ резонаторовъ. Попытка эта была сдѣлана Эйнштейномъ и во многихъ отношеніяхъ оказалась въ полномъ согласіи съ опытомъ.

Атомная теорія лучистой энергіи. Изъ основныхъ началъ термодинамики слѣдуетъ, что въ состояніи полного тепловаго равновѣсія всякое замкнутое пространство должно заполниться лучистой энергіей, составъ которой опредѣляется исключительно температурой и не зависитъ отъ матеріала стѣнокъ. Свойства такого „чернаго излученія“ составляютъ предметъ термодинамической теоріи лучистой энергіи. Въ основѣ этой теоріи лежитъ предсказанное Максвелломъ и обнаруженное на опытѣ. П. Н. Лебедевымъ свѣтовое давленіе. Пользуясь свѣтовымъ давленіемъ можно заставить лучистую энергію производить работу и такимъ образомъ создать обратимую свѣтовую машину. Примѣнивши второе начало термодинамики къ подобнымъ машинамъ, Больцманъ доказалъ, что плотность чернаго излученія, т. е. лучистая энергія, заключенная въ см.³ пространства, пропорціональна четвертой степени абсолютной температуры. Вводя кромѣ свѣтового давленія на движущійся поршень еще требуемое принципомъ Доплера измѣненіе длины волны свѣта, В. Винъ показалъ, какъ измѣняется спектральный составъ чернаго излученія съ температурой. Оставалось еще узнать каковъ составъ чернаго излученія хотя бы при одной температурѣ, т. е. какъ распредѣляется лучистая энергія между различными длинами волнъ въ спектрѣ. Однако оказалось, что примѣненіе къ этой задачѣ обычныхъ приѣмовъ приводитъ къ результату, рѣзко противорѣчащему опыту. Въ черномъ излученіи, какъ въ равновѣсной системѣ распредѣленіе энергіи должно

быть наивѣроятнѣйшимъ; можно было бы думать, что энергія поровну распредѣлится между всѣми степенями свободы, т. е. между всѣми возможными числами колебаній въ спектрѣ. А это значило бы, что вся почти энергія переходитъ къ свѣту наибольшей частоты, такъ какъ числа колебаній могутъ расти до безконечности и, слѣдовательно, на долю видимаго или только измѣряемаго излученія пришлась бы ничтожная доля энергіи.

Существуетъ только одинъ путь избѣжать этого противорѣчія и въ то же время привести теорію лучистой энергіи къ полному количественному совпадению съ опытными измѣреніями. Для этого Планку пришлось предположить, что испусканіе и поглощеніе свѣта электромагнитнымъ резонаторомъ (молекулой) происходитъ всегда въ количествахъ кратныхъ $h\nu$, гдѣ ν число собственных колебаній резонатора, а h —универсальная постоянная, равная въ абсолютной системѣ $6,55 \cdot 10^{-27}$ Erg. sec. и обладающая измѣреніемъ „количества дѣйствія“ (энергія на время). Такимъ образомъ для заданной частоты свѣта (или періода резонатора) порція свѣтовой энергіи имѣетъ вполнѣ опредѣленную величину, измѣняющуюся однако съ частотой. П. С. Эренфестъ показалъ, что гипотеза Планка объ „элементѣ дѣйствія“ h является необходимымъ условіемъ для согласованія чернаго излученія съ наивѣроятнѣйшимъ распредѣленіемъ энергіи. Въ дальнѣйшемъ развитіи гипотезы Планка намѣтилось два существенно различныхъ теченія.

Планкъ постарался по возможности приблизить свою гипотезу къ существующимъ воззрѣніямъ на природу свѣта. Для этого онъ прежде всего перенесъ загадку появленія цѣлыхъ порцій энергіи въ механизмъ излучающаго атома, въ которомъ могутъ еще скрываться особыя незнакомыя намъ законмѣрности.

Далѣе онъ показалъ, что для вывода свойствъ чернаго излученія достаточно допустить, что лишь одно излученіе энергіи происходитъ порціями $h\nu$, тогда какъ поглощеніе происходитъ непрерывно подѣ дѣйствіемъ падающей энергіи.

Другое теченіе, основателемъ котораго является Эйнштейнъ, идетъ значительно дальше. Въ новой универсальной величинѣ h Эйнштейнъ видитъ новое свойство свѣта, а не испускающихъ его молекулъ. Лучистая энергія и въ эфирѣ не обладаетъ непрерывнымъ строеніемъ, а сконцентрирована въ отдѣльные атомы. По аналогіи съ газомъ можно было бы считать, что въ эфирѣ существуютъ „атомы свѣта“ h , энергія которыхъ возрастаетъ съ частотой колебаній подобно тому, какъ кинетическая энергія газовыхъ молекулъ возрастаетъ со скоростью ихъ движенія.

Однако вполнѣ опредѣленнаго представленія о свойствахъ „атомовъ свѣта“ въ литературѣ не существуетъ. Наиболѣе радикальнымъ является представленіе Штарка, что при каждомъ элементарномъ актѣ излученія испускается одинъ атомъ свѣта, который обладаетъ размѣрами порядка длины свѣтовой волны и движется со скоростью свѣта въ опредѣленномъ направленіи. Равномѣрное распространеніе свѣта является тогда результатомъ движенія громаднаго числа отдѣльныхъ атомовъ свѣта по всевозможнымъ направленіямъ. Предполагается, что и всѣ остальные свойства свѣта могутъ быть объяснены какъ средній результатъ дѣйствія большаго числа атомовъ свѣта; послѣдовательно проведенной попытки такого объясненія однако не существуетъ.

Примѣненіе атомной теоріи свѣта къ объясненію законовъ фотоэлектричества. Гипотезы объ элементарномъ количествѣ дѣйствія или атомѣ свѣта h не даютъ опредѣленной картины акта

поглощенія свѣта и тѣмъ менѣе могутъ дать картину выдѣленія фотозлектроновъ. Нельзя поэтому ожидать отъ этихъ гипотезъ объясненія механизма фотозлектрическаго эффекта въ видѣ определенной модели явленія. Весьма замѣчательно однако, что даже ничего не зная о всѣхъ промежуточныхъ звеньяхъ цѣпи, соединяющей падающій свѣтъ съ выходящимъ электрономъ, мы тѣмъ не менѣе изъ атомной теоріи свѣта непосредственно получаемъ цѣлый рядъ закономерностей, установленныхъ опытомъ.

Мы исходимъ лишь изъ слѣдующихъ 2-хъ допущеній:

1) Что энергія фотозлектроновъ получается изъ энергіи поглощенного свѣта.

2) Что свѣтъ поглощается порціями, представляющими цѣлое кратное $h\nu$, причемъ чаще всего происходитъ поглощеніе энергіи $h\nu$, гораздо рѣже $2h\nu$, еще рѣже $3h\nu$ и т. д.

Изъ этихъ допущеній уже непосредственно вытекаютъ важнѣйшіе законы фотозлектрическихъ явленій.

1) Такъ какъ величина поглощенной порціи лучистой энергіи зависитъ исключительно отъ частоты свѣтовыхъ колебаній, то фотозлектрической эффектъ не долженъ зависѣть отъ температуры и агрегатнаго состоянія металла.

2) Съ увеличеніемъ интенсивности освѣщенія возрастаетъ лишь въ томъ же отношеніи число поглощенныхъ атомовъ свѣта. Поэтому начальная скорость фотозлектроновъ не должна зависѣть отъ силы свѣта, а число ихъ должно быть строго пропорціонально силѣ свѣта.

3) Поглощеніе свѣта—необходимое условіе фотозлектрическаго эффекта; однако, если энергія, заключенная въ одномъ атомѣ свѣта меньше той работы, которую необходимо затратить для освобожденія элек-

трона изъ металла, то эффекта не будетъ, несмотря на поглощеніе. А такъ какъ энергія атомнаго свѣта пропорціональна числу колебаній ν , то очевидно, что только начиная съ опредѣленнаго числа колебаній поглощенный свѣтъ вызываетъ фотоэлектрическій эффектъ.

4) Начальная кинетическая энергія фотоэлектрона не можетъ быть больше одной (лишь очень рѣдко двухъ и болѣе) порцій энергіи $h\nu$.

Примѣняя прежнія обозначенія, получимъ:

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = e V < h\nu$$

или подставляя для $e = 4,7 \cdot 10^{-10}$; $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$; получимъ для ультрафіолетоваго свѣта съ длиной волны $\lambda = 200 \mu$. потенциалъ, до котораго зарядится освѣщенная пластинка

$$V < 6,2 \text{ Volt.}$$

Опытныя измѣренія въ этой области даютъ 2—4 Volt, т. е. величину того же порядка, какъ и теоретическая.

Исключеніе составляютъ опыты Райта, дающіе потенциалы, отвѣчающіе 2 $h\nu$.

5) Точно также очевидно, что вмѣстѣ съ возрастаніемъ величины $h\nu$ и начальная скорость фотоэлектроновъ должна въ общемъ возрастать съ числомъ колебаній свѣта.

Что касается до количественной зависимости начальной скорости отъ числа колебаній ν , то она непосредственно изъ гипотезы не слѣдуетъ. Необходимо сдѣлать еще нѣкоторыя дополнительныя допущенія о переходѣ свѣтовой энергіи въ кинетическую энергію электрона. Простѣйшее, но врядъ ли вѣроятнѣйшее, допущеніе сдѣлано Эйнштейномъ: онъ предполагаетъ, что вся свѣтовая энергія $h\nu$ цѣликомъ сообщается

электрону и далѣе, что до выхода въ пустоту электрону необходимо затратить только работу на преодоленіе контактной разности потенциаловъ V_k —постоянной для данного металла и возрастающей по мѣрѣ того, какъ мы переходимъ къ болѣе электроотрицательнымъ металламъ.

При этихъ допущеніяхъ искомая связь будетъ выражаться слѣдующимъ образомъ:

$$e(V + V_k) = hv.$$

Кривая распредѣленія для данного монохроматическаго свѣта числа колебаній ν должна имѣть видъ, изображенный на фиг. 4.

Зависимость замедляющаго потенциала V отъ числа колебаній должна выражаться прямой, пересекающей ось абсциссъ въ точкѣ ν_0 , указывающей наименьшее число колебаній, способное вызвать эффектъ. Ось ординатъ пересекается въ точкѣ V_k , опредѣляющей контактную разность потенциаловъ; а наклонъ прямой къ оси абсциссъ опредѣляетъ величину атома свѣта h :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{h}{e}.$$

Начальная кинетическая энергія различныхъ металловъ должна отличаться величиной eV_k .

Опыты Ладенбурга и Хёлля, нанесенные въ соответственныхъ координатахъ, даютъ также прямыя линіи, но наклонъ этихъ линій различенъ для разныхъ металловъ и даетъ для $\frac{h}{e}$ величину въ 2 или 3 раза менѣе теоретической, а кривая распредѣленія имѣетъ видъ фиг. 5. Однако, примѣняя теорію Эйнштейна, необходимо принять во вниманіе цѣлый рядъ обстоятельствъ, вызывающихъ расхожденіе теоріи съ опытомъ.

1) Прежде всего нужно указать, что въ соответственныхъ измѣреніяхъ не была вполне устранена

возможность отраженія электроновъ и разсѣянiя ихъ на неосвѣщенной пластинкѣ и на стѣнкахъ, что сильно влiяетъ на величину наибольшаго потенциала.

2) Далѣе возможно, что еще до выхода изъ металла фотоэлектроны теряютъ часть своей скорости при столк-

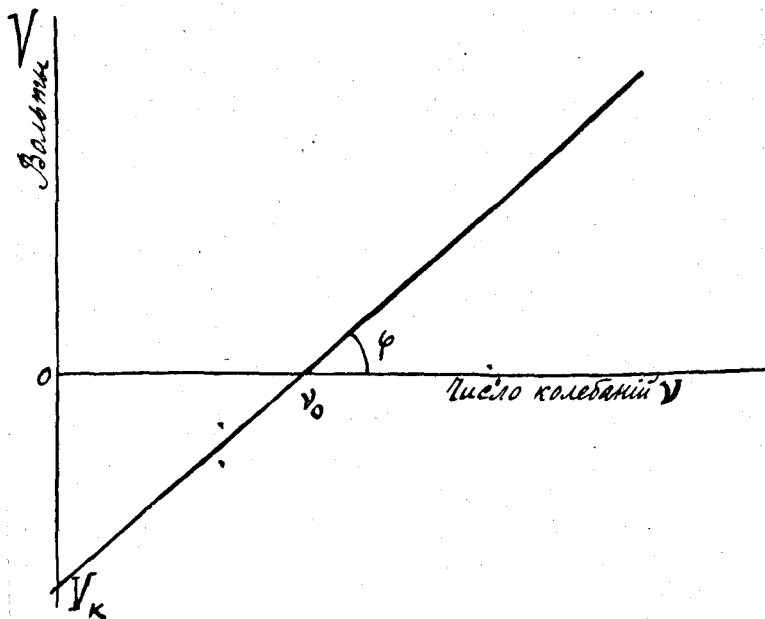


Рис. 7.

новении съ молекулами металла или газа, и такимъ образомъ измѣряемая скорость меньше истинной.

3) Мы рассматривали лишь поглощенiе одной порцiи энергiи $h\nu$, тогда какъ возможно и поглощенiе $2h\nu$, $3h\nu$ и т. д. вмѣсто кривой фиг. 4 мы должны были бы получить кривую, состоящую изъ нѣсколькихъ ступеней.

Какъ высоки будутъ отдѣльныя ступеньки, т. е. сколько электроновъ получить $2h\nu$, $3h\nu$ энергiи, сказать трудно. Вообще, лишь немногiе электроны получаютъ

возможность вылетѣть; поэтому, если каждая порція энергіи поглощается независимо, то вѣроятность одновременнаго поглощенія однимъ и тѣмъ же электрономъ двухъ порцій очень мала, и слѣдовательно мы вправѣ были бы пренебречь остальными ступеньками. Весьма, однако, вѣроятно, что поглощеніе можетъ сразу происходить въ видѣ двойной и тройной порціи—тогда ступеньки могутъ имѣть и замѣтную высоту.

4) Наконецъ возможно, что самое дополнительное допущеніе Эйнштейна не вѣрно: а именно, что не вся поглощенная порція энергіи сообщается фотоэлектрону. Весьма вѣроятно, что часть поглощенной энергіи непосредственно переходитъ въ теплоту или свѣтъ внутри молекулы и часть энергіи остается въ молекулѣ, покинутой фотоэлектрономъ, напр., въ видѣ кинетической энергіи при „отдачѣ“.

Поэтому мы должны были бы лишь ожидать, что въ фиг. 7 кривая должна лежать ниже теоретической прямой, а не совпадать съ нею.

Какая часть энергіи поглощеннаго атома свѣта перейдетъ въ фотоэлектронъ на основаніи имѣющихся данныхъ судить трудно. Можно напр. думать, что эта часть, или коэффициентъ полезнаго дѣйствія, достигнетъ максимума (приблизится къ единицѣ) въ случаѣ резонанса собственнаго періода электрона съ періодомъ падающаго свѣта. Съ удаленіемъ отъ резонанса отношеніе $\frac{e(V+V_k)}{h\nu}$ будетъ уменьшаться. Воз-

можно, что, несмотря на возрастаніе $h\nu$ съ частотой свѣта, кривая фиг. 7 можетъ имѣть даже вблизи резонанса относительный максимумъ. Такой максимумъ былъ однако пока замѣченъ только въ опытахъ Райта, возбуждающихъ нѣкоторыя сомнѣнія.

Явленіе селективнаго фотоэлектрическаго эффекта

хотя и не вытекает непосредственно изъ атомной гипотезы свѣта, но и не противорѣчитъ ей. Можно себѣ представить, что нормальный фотоэлектрический эффектъ состоитъ въ поглощеніи атомовъ свѣта свободными электронами, существованіемъ которыхъ въ металлахъ объясняютъ электронпроводность и теплопро-

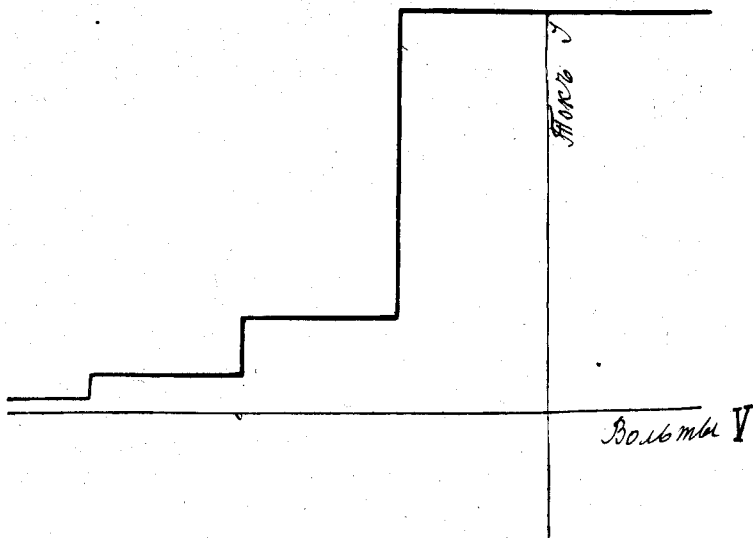


Рис. 8.

водность металла. Эти электроны не имѣютъ собственного періода и единственная работа, которую необходимо затратить для ихъ удаленія изъ металла, вызывается контактнымъ потенциаломъ. Кромѣ этихъ свободныхъ электроновъ должны существовать и электроны, связанные съ молекулами металла, обладающіе опредѣленнымъ періодомъ колебанія и способные поглощать лишь лучистую энергію близкую къ нимъ по частотѣ. На отрываніе этихъ электроновъ отъ молекулы необходимо затратить нѣкоторую работу; поэтому, принимая,

что и здѣсь поглощеніе свѣта происходитъ порціями $h\nu$, можно ожидать, что начальная кинетическая энергія ихъ будетъ значительно меньше, чѣмъ у свободныхъ электроновъ. Опыты повидимому подтверждаютъ это ожиданіе. Особую роль плоскости поляризаціи свѣта и свойства поверхностнаго слоя можно объяснить тѣмъ обстоятельствомъ, что на пути ихъ мѣста зарожденія до границы металла электронъ теряетъ свою и такъ ужь ничтожную скорость при столкновеніяхъ. Поэтому только тѣ электроны, которые зародились непосредственно у поверхности и получили перпендикулярную къ ней скорость, могутъ вылетѣть изъ металла, остальные застрянутъ въ немъ.

Главнымъ затрудненіемъ при примѣненіи теоріи атомовъ свѣта къ фотоэлектрическимъ явленіямъ въ металлахъ являлось не вполне ясное и количественно плохо извѣстное представленіе о контактной разности потенциаловъ. Это затрудненіе отпадаетъ однако при рассмотрѣніи объемнаго эффекта въ газахъ. Въмѣсто этого, такъ какъ мы имѣемъ дѣло съ электронами, входящими въ составъ молекулы и связанными съ ней, появляется представленіе о работѣ расщепленія молекулы. По теоріи атомовъ свѣта, эффектъ можетъ наступить лишь въ томъ случаѣ, если энергія одного атома свѣта $h\nu$ больше, чѣмъ работа, необходимая для отщепленія электрона отъ атома. Эта послѣдняя работа играетъ существенную роль въ теоріи іонизаціи газа черезъ столкновение и можетъ быть на этихъ явленіяхъ измѣрена.

При движеніи электрическихъ зарядовъ въ электрическомъ полѣ въ газѣ возникаютъ новые заряды отъ іонизаціи нейтральныхъ молекулъ въ томъ случаѣ, если кинетическая энергія, полученная зарядомъ за время его свободного движенія вдоль линій электрическихъ силъ, достигаетъ опредѣленной величины. Эта мини-

мальная кинетическая энергія и опредѣляетъ работу расщепленія молекулы; она для каждаго газа имѣетъ вполне опредѣленное значеніе. Бишопъ нашелъ напр., что для расщепленія одной молекулы воздуха отрицательный іонъ долженъ предварительно пройти безъ столкновеній въ электрическомъ полѣ $10,2 \text{ volt}$, для водорода— $9,7 \text{ volt}$, а для углекислоты $6,2 \text{ volt}$. Работа расщепленія, равная работѣ электрическихъ силъ на этомъ пути, очевидно равна $\frac{\epsilon V}{300}$, гдѣ ϵ —зарядъ электрона—равенъ $4,7 \cdot 10^{-10}$ эл.—ст. единицъ. Для воздуха эта работа равна $1,6 \cdot 10^{-11} \text{ Erg}$, для водорода— $1,5 \cdot 10^{-11}$, а для углекислоты— $0,97 \cdot 10^{-11} \text{ Erg}$.

Для положительнаго іона работа нѣсколько больше, а для свѣта можетъ потребоваться энергія, нѣсколько отличающаяся отъ указанной, но врядъ ли сильно.

Если предположить, что вся поглощенная молекулой энергія $h\nu$ пойдетъ на работу разрушенія молекулы (причемъ безразлично какая часть останется въ видѣ кинетической энергіи электрону), то легко будетъ вычислить ту наибольшую длину волны, которая можетъ еще вызвать эффектъ. А именно:

$$\lambda_{max} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{\nu_{min}} = \frac{3 \cdot 10^{10} h \cdot 300}{\epsilon \cdot V}.$$

Для воздуха мы получаемъ отсюда

$$\lambda_{max} = 125 \mu,$$

для водорода

$$\lambda_{max} = 135 \mu.$$

и для углекислоты

$$\lambda_{max} = 200 \mu.$$

Опытъ какъ нельзя лучше подтверждаетъ эти подсчеты: въ воздухѣ истинный фотоэлектрический эффектъ отсутствуетъ, если свѣтъ долженъ пройти предварительно слой кварца, поглощающій всѣ длины волнъ

короче 180 μ . Если же свѣтъ проходить лишь черезъ плавленый шпатъ, пропускающій свѣтъ съ длинами волнъ до 90 μ , то наблюдается несомнѣнный эффектъ. Углекислота ионизируется уже и свѣтомъ, прошедшимъ черезъ кварцъ ($>180 \mu$), а пары анилина, для которыхъ по видимому $V < 4 \text{ Volt}$ и слѣдовательно $\lambda_{max} > 300 \mu$, сильно ионизируются и болѣе длинными волнами $\lambda > 210 \mu$. На ряду съ этимъ весьма сильное поглощеніе свѣта газомъ не вызываетъ фотоэлектрическаго эффекта, если длина волны больше предѣльной.

Для всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами сторонъ фотоэлектрическихъ явленій важны были лишь законы поглощенія свѣта тѣлами; свойства же лучистой энергіи въ пустотѣ и законы ея распространенія не играли никакой роли въ объясненіи явленія. Поэтому для нашихъ разсужденій мы могли бы одинаково пользоваться какъ взглядами Планка, такъ и представленіями Эйнштейна-Штарка объ индивидуальныхъ атомахъ свѣта.

Вопросъ о строеніи свѣта однако неизбежно возникаетъ, какъ только мы захотимъ объяснить накопленіе энергіи электрона изъ лучистой энергіи.

Энергія одного электрона не зависитъ отъ интенсивности падающаго свѣта и сохраняетъ свою величину даже при самомъ слабомъ освѣщеніи, т. е. при ничтожной плотности лучистой энергіи. Съ другой стороны—размѣры той части электромагнитнаго поля въ металлѣ, изъ которой электронъ можетъ почерпнуть свою энергію—относительно невелики. Чтобы накопить достаточную энергію можетъ потребоваться значительное время; можно было бы поэтому ожидать, что эффектъ наступитъ со значительныхъ опозданіемъ. Вопросъ о времени, потребномъ для появленія эффекта былъ впервые экспериментально поставленъ И. И. Борг-

маномъ, далѣе изслѣдованъ А. Г. Столѣтовымъ, но и до сихъ поръ не можетъ считаться окончательно рѣшеннымъ. Можно ожидать, что за это время нѣсколько разъ смѣнятся фазы и направленіе свѣтовыхъ колебаній, проходящихъ мимо электрона, что должно весьма ослабить поглощеніе энергіи.

Дѣйствительно, если принять непрерывное и равномерное распространеніе свѣта, то энергія гармоническихъ колебаній одного электрона на тѣхъ разстояніяхъ отъ источника свѣта, съ которыми приходится имѣть дѣло въ дѣйствительности, будетъ обладать чрезвычайно малой плотностью, и второй электронъ можетъ воспринять лишь ничтожную часть этой энергіи—очевидно недостаточную. Приходится принять совмѣстное дѣйствіе большого числа отдѣльныхъ колебаній некогерентныхъ между собою (обладающихъ случайными разностями фазъ). Особенно рѣзко выступаетъ это затрудненіе, когда мы имѣемъ дѣло со вторичными катодными лучами, вызванными рѣнтгеновскимъ импульсомъ. При равномерномъ распространеніи электромагнитныхъ возмущеній въ пространствѣ электронъ могъ бы поглотить лишь ничтожную часть импульса, созданнаго первичнымъ электрономъ въ рѣнтгеновой трубкѣ, между тѣмъ какъ вторичный электронъ получаетъ иногда всю энергію, потерянную первичнымъ.

Эти факты можно объяснить допущеніемъ, что вторичный электронъ получаетъ свою энергію не изъ рѣнтгеновскаго луча, а изъ атомныхъ запасовъ радіоактивнымъ процессомъ — допущеніе это, какъ мы видѣли, плохо согласуется со свойствами фотоэлектрическихъ явленій. Если отбросить это объясненіе, то остается только допустить, что вся энергія выпущенная однимъ электрономъ можетъ быть поглощена цѣликомъ другимъ электрономъ, а это несовмѣстимо съ равномернымъ распространеніемъ свѣта — придется допустить

существованіе индивидуальных „атомовъ свѣта.“ и въ эфирѣ.

Зоммерфельдъ, правда, показалъ, что и обычная электромагнитная теорія приводитъ къ ассиметрическому распространенію рѣнтгеновыхъ импульсовъ. Однако, только при очень большихъ скоростяхъ электрона, приближающихся къ скорости свѣта, ассиметрія оказалась бы достаточной для объясненія указаннаго факта.

Итакъ, гипотеза объ атомномъ поглощеніи и строеніи лучистой энергіи непосредственно и непринужденно объясняетъ всѣ изученныя на опытѣ свойства фотоэлектрическаго эффекта. Въ этомъ совпаденіи лежитъ оправданіе для примѣненія этой гипотезы къ изучаемымъ явленіямъ. Если мы и не получаемъ такимъ путемъ дѣйствительнаго „объясненія“ эффекта, то все же сводимъ его законы къ общимъ и основнымъ свойствамъ лучистой энергіи, а можетъ быть и къ общимъ законамъ преобразованія и распредѣленія всякой энергіи. Но съ другой стороны, обнаруженные при изслѣдованіи фотоэлектричества новые универсальные законы сами приводятъ къ гипотезѣ объ элементарномъ количествѣ дѣйствія и въ дальнѣйшемъ могутъ послужить лучшимъ ея обоснованіемъ. Эйнштейнъ примѣнилъ гипотезу объ атомахъ свѣта и къ другимъ формамъ воздѣйствія свѣта на тѣла; къ явленіямъ флюоресценціи и фосфоресценціи, къ фотохиміи. И здѣсь получилось хорошее качественное совпаденіе; однако нигдѣ провѣрка не можетъ итти такъ далеко и захватить такія детали явленія, какъ въ фотоэлектричествѣ. Въ ряду всѣхъ молекулярныхъ процессовъ, вызванныхъ свѣтомъ, излученіе электроновъ является ближайшимъ фактомъ, доступнымъ наблюденію. Флюоресценція и

фосфоресценція объясняются сотрясеніемъ, вызваннымъ въ молекулѣ возвратившимся фотоэлектрономъ, а фотохимическія реакціи подготовляются удаленіемъ электроновъ изъ положенія равновѣсія.

Кромѣ того фотоэлектрическій эффектъ представляетъ то удобство, что мы можемъ прослѣдить отдѣльный электронъ, результатъ элементарнаго единичнаго акта поглощенія, тогда какъ въ фотохиміи, напр., мы имѣемъ дѣло со средними статистическими законами большаго числа элементарныхъ процессовъ. Для вопроса объ элементарномъ строеніи лучистой энергіи очевидно это свойство фотоэлектричества чрезвычайно важно.

Двѣ теоріи фотоэлектрическаго эффекта съ двухъ противоположныхъ сторонъ подходятъ къ объясненію явленія. Теорія резонанса старается выяснитъ механизмъ эффекта, исходя изъ модели атома и его динамики. Примѣненіе же атомныхъ теорій лучистой энергіи, не выясняя механизма, сводитъ всѣ замѣченныя закономерности къ одной новой гипотезѣ, охватывающей вмѣстѣ съ фотоэлектричествомъ общія свойства свѣта и матеріи. За этими общими свойствами остается еще неразгаданный механизмъ явленія, заключающій въ себѣ быть можетъ и объясненіе новой гипотезы. Фотоэлектрическій эффектъ стоитъ въ центрѣ вниманія потому, что отъ него ждуть въ ближайшемъ будущемъ отвѣта на вопросъ о допустимости гипотезы объ атомахъ свѣта. Можетъ быть фотоэлектрическій эффектъ призванъ влить жизнь въ чисто феноменологическое понятіе объ элементарномъ количествѣ дѣйствія, заполнить его опредѣленнымъ конкретнымъ содержаніемъ.

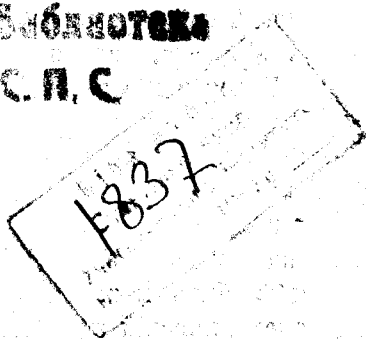
Со всѣхъ сторонъ наталкиваемся мы на это новое свойство лучистой и колебательной энергіи, вездѣ оно формально одинаково выражается въ постоянствѣ элемента дѣйствія h , но мы очень еще далеки отъ уразумѣнія его сущности.

Въ фотоэлектричествѣ мы имѣемъ новое звено, связывающее оптическія и электро-магнитныя явленія. Вращеніе плоскости поляризаціи въ магнитномъ полѣ (явленіе Фарадея) и свѣтовое давленіе (явленіе Максвелла-Лебедева) утвердили электромагнитную теорію свѣта. Явленіе Зеемана обосновало электронную теорію. Можно надѣяться, что фотоэлектричество призвано сыграть ту же роль по отношенію къ теоріи атомовъ свѣта.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ

Рабочая Библиотека

О. Г. С. П. С.



ИВНЛУС



1837