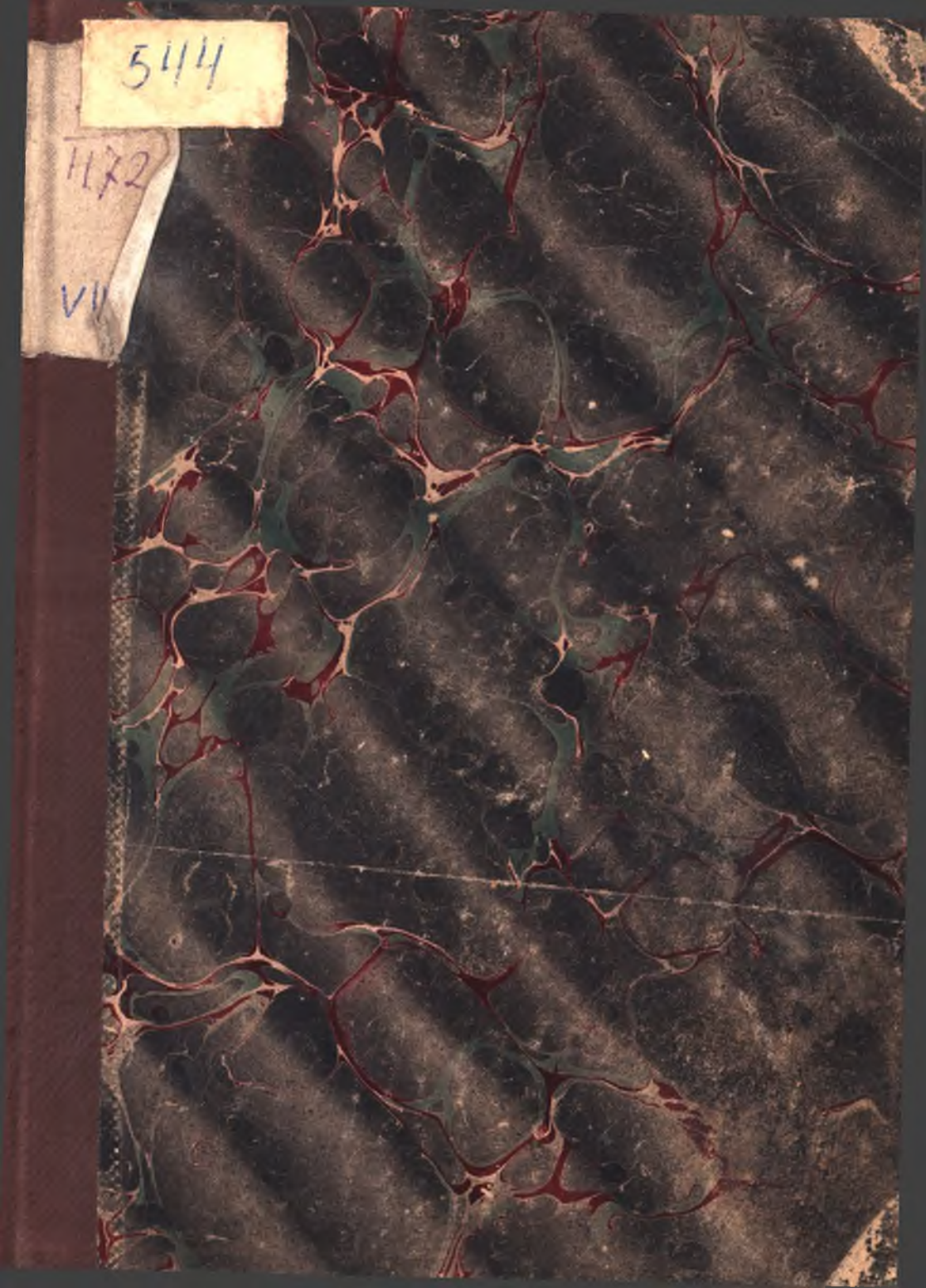


544

1172

VII



Ст. подписчика, не заявивше
 загітї книги в порочї ян, въ олу
 отпоруванїя пїдзволї при возвращенї
 книги, не платять стоимость по-
 правленїя по оцїнка завѣдующаго
 Библиотекѣ

НОВЫЯ ИДЕИ ВЪ ФИЗИКЪ.

53
Н. 72
17.206

Неперіодическое издание, выходящее под редакцией
заслуж. профессора С.-Петербургскаго Университета
И. И. Боргмана.


БИБЛИОТЕКА
Степановской
Учительскаго Института
№ _____ Шифр _____

СБОРНИКЪ СЕДЬМОЙ.

ПРИРОДА ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХЪ
И РЕНТГЕНОВЫХЪ ЛУЧЕЙ.

О. Д. О. В.
Им. Ленина
ПЕРЕИНВЕНТАРИЗАЦИЯ
1937 г.
№ 75600

Книжная палата
Трудъ
Одесса, Дерибас. 25
Тел. 19/23.

НБ ПНУС

544

25205

БИБЛИОТЕКА
~~7758~~

КНИГОСХОДИЩЕ
Д. О. Б.

Издательство „Образование“, СПБ
1914.

ИЗЪ КНИГЪ



АРИСТОТЕЛЪ

КНИГОИЗДАСТВО
· ОБРАЗОВАНИЕ
С · П · Б

ОГЛАВЛЕНІЕ.

	СТР.
Ч. Вильсонъ. Способъ обнаруженія путей ионизирующихъ частицъ въ газахъ и нѣкоторые результаты, полученные при посредствѣ этого способа	1
А. А. Таргонскій. Каналовые (положительные) лучи	27
Сэръ Дж. Дж. Томсонъ. Лучи положительнаго электричества.	50
М. М. Глаголевъ. Интерференція рентгеновыхъ лучей.	113



Ч. Вильсонъ.

Способъ обнаруженія путей іонизирующихъ частицъ въ газахъ и нѣкоторые результаты, полученные при посредствѣ этого способа¹⁾.

Въ недавно опубликованномъ сообщеніи ²⁾ я описалъ методъ обнаруженія путей іонизирующихъ частицъ во влажныхъ газахъ, основанный на конденсаціи пара на іонахъ непосредственно послѣ образованія этихъ іоновъ. Въ то время мнѣ удавалось получать лишь фотографіи облачковъ, конденсировавшихся на іонахъ, образующихся при пролетѣ α -частицы сквозь газъ или на электронахъ, освобождающихся при прохожденіи черезъ газъ X-лучей. Истолкованіе снимковъ осложнилось до нѣкоторой степени искаженіями, происшед-

¹⁾ C. T. R. Wilson, F. R. S. Proc. Roy. Soc. A vol. 87 pp. 277—292 (1912). Доложенъ въ Royal Society 13 іюня 1913 г. Описываемый въ этой статьѣ методъ основанъ на сдѣланномъ авторомъ около двадцати лѣтъ тому назадъ открытіи, что въ пересыщенномъ водянымъ паромъ и свободномъ отъ пыли воздухѣ капельки воды образуются прежде всего на содержащихся въ газѣ іонахъ, которые служатъ такимъ образомъ конденсаціонными центрами (nuclei). Если быстрымъ разрѣженіемъ охладить іонизированный влажный газъ, въ немъ образуется облачко, состоящее изъ подобныхъ капелекъ. Это конденсирующее дѣйствіе іоновъ обстоятельно изслѣдовано въ рядѣ работъ автора.

(Прим. перев.)

²⁾ C. T. R. Wilson. Proc. Roy. Soc. A. 85 p. 285, 1911.

шими отъ положенія, которое занимала фотографическая камера.

Приборъ для расширенія газа и методъ освѣщенія облачковъ были детально изучены, и нынѣ оказывается возможнымъ фотографировать пути даже быстрѣйшихъ β -лучей, дѣлая видимыми отдѣльные іоны. На снимкахъ облачковъ, образованныхъ X-лучами, во многихъ случаяхъ точно такъ же видимы отдѣльныя капельки; облачка же, наблюдаемая на пути α -частицъ, обыкновенно слишкомъ густы, чтобы быть раздѣленными на капли. Снимки нынѣ свободны отъ искаженій. Ионизаціонная камера сильно увеличена въ размѣрахъ: теперь она достаточно широка, чтобы дать мѣсто наиболее длиннымъ α -лучамъ, и достаточно высока, чтобы можно было пропускать черезъ нее горизонтальный пучокъ X-лучей, не опасаясь какихъ-либо осложненій, вызываемыхъ близостью верхней и нижней стѣнокъ.

Приборъ для расширенія газа.

Основныя части прибора изображены на рис. 1. Цилиндрическая іонизаціонная камера А имѣетъ 16,5 см. въ діаметръ и 3,4 см. въ высоту. Крышка, стѣнки и дно—изъ стекла, покрытаго внутри желатиной, которая на днѣ зачернена небольшимъ количествомъ туши. Плоское стеклянное дно укрѣплено на верхнемъ краѣ тонкостѣннаго латуннаго цилиндра („поршень“), открытаго снизу и свободно скользящаго внутри другого латуннаго цилиндра („цилиндръ расширенія“) той же самой высоты и приблизительно 16 см. діаметромъ. Внѣшній цилиндръ поддерживаетъ стѣнки іонизаціонной камеры и установленъ на тонкомъ слое каучука, покрывающемъ толстый латунный дискъ. Этотъ дискъ образуетъ дно плоскаго сосуда, въ которомъ находится слой воды, толщиной около 2 см., вполне отдѣляющій воздухъ въ іонизаціонной камерѣ

отъ пространства подъ поршнемъ. Латунный дискъ укрѣпленъ на деревянной подставкѣ, не показанной на рисункѣ.

Расширеніе газа производятъ, открывая клапанъ *B* и сообщая такимъ образомъ воздухъ пространства подъ поршнемъ съ эвакуированнымъ сосудомъ *C* по-

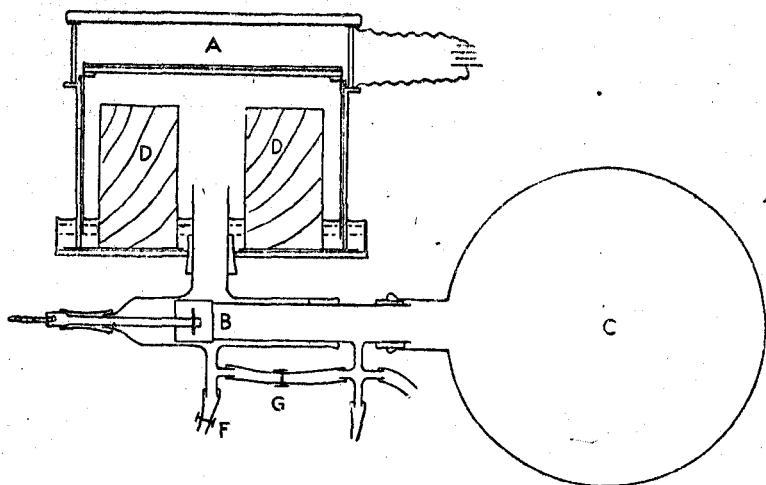


Рис. 1.

средствомъ стеклянныхъ трубокъ около 2 см. діаметромъ. Вслѣдствіе этого дно іонизаціонной камеры начинаетъ быстро опускаться до тѣхъ поръ, пока нижній край поршня не коснется покрытаго каучукомъ латуннаго диска, къ которому онъ остается крѣпко прижатымъ давленіемъ воздуха въ іонизаціонной камерѣ. Чтобы уменьшить количество воздуха, проходящаго черезъ соединительныя трубки при каждомъ расширеніи, въ пространство подъ поршнемъ вводится деревянный цилиндръ *D*.

Клапанъ открывается при паденіи груза W , освобождаемаго спускнымъ приспособленіемъ T (рис. 3). Закрывъ клапанъ и установивъ сообщеніе съ атмосферой посредствомъ трубки съ зажимомъ F , поднимаютъ поршень и этимъ уменьшаютъ объемъ воздуха въ іонизаціонной камерѣ. Посредствомъ двухъ зажимовъ F и G (послѣдній находится на трубкѣ, соединяющей приборъ съ эвакуированнымъ сосудомъ) поршень можетъ быть установленъ такъ, что получается желаемый начальный объемъ v_1 , заключающійся между двумя предѣлами: верхнимъ—наибольшимъ объемомъ іонизаціонной камеры v_2 и нижнимъ—когда давленіе подъ поршнемъ равно атмосферному.

Окончательный объемъ іонизаціонной камеры v_2 всегда остается одинаковымъ (около 750 куб. см.), такъ что величина расширенія $\frac{v_2}{v_1}$ зависитъ только отъ начального объема. Шкала, прикрѣпленная къ стѣнкѣ іонизаціонной камеры, позволяетъ отсчитывать положеніе верхняго края поршня и такимъ образомъ опредѣлять начальный объемъ, зная площадь сѣченія поршня и наибольшій объемъ іонизаціонной камеры v_2 .

При установкѣ прибора поршень помѣщается на покрытую каучукомъ основную пластинку, и на него надѣвается внѣшній цилиндръ („цилиндръ расширенія“). Въ это время отверстіе въ стѣнкѣ іонизаціонной камеры открыто, чтобы позволить выйти заключенному въ ней воздуху. Затѣмъ, вдувая воздухъ черезъ F , на мгновеніе открытый для этой цѣли, мы поднимаемъ поршень на высоту, достаточную для производства наибольшаго изъ желаемыхъ разрѣженій. Отверстіе въ стѣнкѣ іонизаціонной камеры закрывается и заключенное въ ней количество газа остается неизмѣннымъ при всѣхъ дальнѣйшихъ операціяхъ.

Желатиновый слой подъ крышкой іонизаціонной

камеры соединенъ, посредствомъ вклееннаго между цилиндрической стѣнкой и крышкой кольца изъ оловянной фольги, съ однимъ изъ полюсовъ аккумуляторной батареи, другой полюсъ которой черезъ латунный вѣншній цилиндръ и поршень соединяется съ зачерненнымъ желатиновымъ слоемъ на днѣ камеры. Благодаря этому получается внутри ионизационной камеры близко однородное вертикальное электрическое поле любой желаемой силы.

Желатиновый слой на крышкѣ и стѣнкахъ образуется вливаніемъ въ ионизационную камеру, прежде скрѣпленія ея съ наружнымъ цилиндромъ, горячаго раствора 4⁰/₀ желатины и 1⁰/₀ борной кислоты въ водѣ. Избытку раствора даютъ стечь и остающійся тонкій слой желатины высушиваютъ надъ хлористымъ кальціемъ. Ионизационная камера склеивается съ вѣншнимъ цилиндромъ посредствомъ желатины.

Для полученія зачерненной желатиновой обкладки на днѣ камеры, наливается на стеклянную пластинку, образующую собою дно камеры, довольно толстый слой (около 1 мм.) раствора, содержащаго 15⁰/₀ желатины, 2⁰/₀ борной кислоты и 3⁰/₀ туши. Для этого латунныя стѣнки поршневого цилиндра имѣютъ такую форму, что край ихъ возвышается приблизительно на 1 мм. надъ верхней поверхностью стекла, образуя такимъ образомъ плоскій пріемникъ для желатины и давая съ нею надежный электрический контактъ. Зачерненная желатина не подвергается сушкѣ, но тотчасъ же прикрывается, чтобы устранить испареніе и пыль до введенія слоя въ приборъ. Желатина во всѣхъ случаяхъ предварительно стерилизуется.

Методъ освѣщенія и фотографированія
облачковъ.

Какъ и въ опытахъ, описанныхъ въ моей послѣд-

ней статьѣ, для мгновеннаго освѣщенія образующихся при расширеніи воздуха облачковъ былъ примѣненъ разрядъ лейденской банки черезъ пары ртути при атмосферномъ давленіи. Горизонтальная кварцевая трубка (рис. 2) около 15 см. длиной съ внутреннимъ діамет-

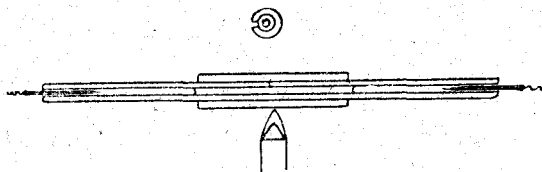


Рис. 2.

ромъ около 1 мм. наполнена ртутью и покрыта на 4 см. плотно прилегающей серебряной трубкой около 2 мм. толщиной, съ вырѣзомъ около 1 мм. шириной, во всю ея длину. Серебряная трубка, нагрѣваемая небольшимъ пламенемъ, служитъ для поддержанія въ закрытой ею части кварцевой трубки приблизительно равномерной температуры и для образованія въ ней наполненнаго ртутными парами искрового промежутка. Соединеніе съ лейденскими банками производится посредствомъ платиновыхъ проволокъ, впаянныхъ въ заполненные ртутью кусочки стеклянной трубки, которые вводятся въ концы кварцевой.

Кварцевая трубка сперва цѣликомъ наполняется ртутью, въ концы ея вводятся стеклянные трубки, и небольшое пламя помѣщается подъ серебряную трубку. Когда вся ртуть, занимающая защищенную серебряной обкладкой часть кварцевой трубки, испарится (избытокъ ртути вытекаетъ черезъ концы трубки), никакія дальнѣйшія измѣненія не имѣютъ мѣста, и искровой промежутокъ готовъ къ работѣ. Весьма значитель-

ныя, капиллярныя силы, возникающія при продавливаніи ртути сквозь узкія щели между стеклянной и кварцевой трубками на концахъ послѣдней препятствуютъ сколько-нибудь значительному колебательному движенію, которое могло бы явиться существеннымъ источникомъ затрудненій при пользованіи ртутнымъ искровымъ промежуткомъ этого типа.

Примѣняемое для полученія искры приспособленіе по существу тождественно съ тѣмъ, которое обыкновенно употребляется въ моментальной фотографіи, когда пользуются разрядомъ лейденской банки. Внѣшнія обкладки двухъ батарей изъ 4 или 5 „галлонныхъ“ ¹⁾ лейденскихъ банокъ, стоящихъ на полу комнаты, соединяются съ концами освѣщающаго искрового промежутка. Внутреннія обкладки присоединяются къ полюсамъ машины Вимшѣрста и къ двумъ латуннымъ шарикамъ, находящимся на разстояніи приблизительно 5 см. другъ отъ друга, которые представляютъ собою первичный искровой промежутокъ. Когда банки зарядились почти до искрового потенциала, металлическій шарикъ падаетъ между шариками первичнаго искрового промежутка, вызывая этимъ проскакиваніе искры въ обоихъ искровыхъ промежуткахъ. Шарикъ, который своимъ паденіемъ вызываетъ искру, подвѣшенъ на тонкой нити, достаточно крѣпкой, чтобы выдержать его, къ грузу *W*, опускающемуся дѣйствіемъ клапана прибора.

Установка для образованія искры черезъ опредѣленный промежутокъ послѣ расширения газа показана схематически на рис. 3. Грузъ *W* виситъ на шнурѣ, который проходитъ черезъ желѣзное кольцо, укрѣпленное на прочномъ штативѣ и затѣмъ почти горизонтально идетъ къ спуску *T*, къ которому онъ прикрѣпленъ петлею. Второй шнурокъ, слабо натянутый въ этомъ

¹⁾ Галлонъ равенъ приблизительно 4,5 литрамъ (Прим. перев.).

положеніи, связываетъ одну изъ точекъ на первомъ шнурѣ съ клапаномъ прибора для расширения. Если потянуть спускъ внизъ, то шнуръ освобождается и грузъ падаетъ до тѣхъ поръ, пока второй шнурокъ не натянется достаточно сильно—въ этотъ моментъ грузъ внезапно останавливается и одновременно от-

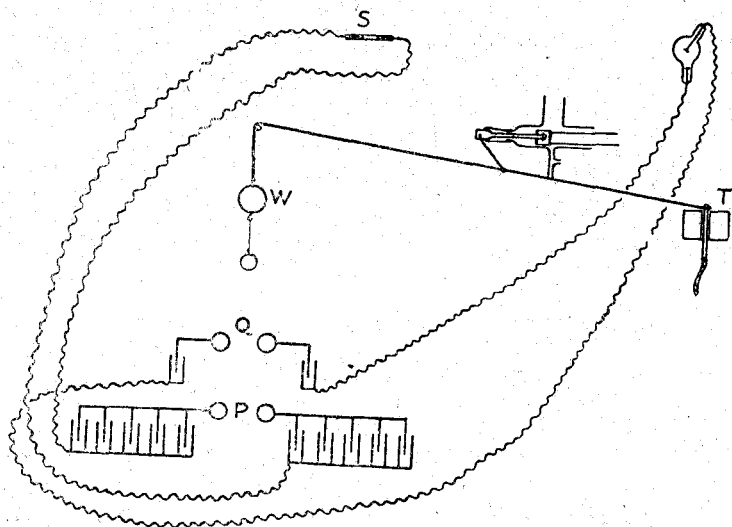
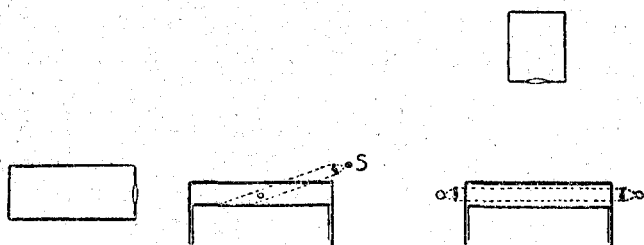


Рис. 3.

крывается клапанъ, вызывая этимъ расширение газа. Въ этотъ моментъ тонкая нитка, соединяющая стальной шарикъ съ грузомъ *W*, разрывается и шарикъ продолжаетъ падать, проходя черезъ первичный искровой промежутокъ *P* и заставляя этимъ проскочить освѣщающую искру въ *S*. Верхній искровой промежутокъ *Q*, показанный на рисункѣ, употребляется только при опытахъ съ *X*-лучами.

Въ опытахъ, описываемыхъ въ этой статьѣ, объективъ фотографическаго аппарата занималъ всегда одно изъ двухъ положеній, схематически изображенныхъ на рис. 4 (а) и (б). Въ (а) маленькій кружокъ изображаетъ



(а) Рис. 4.

(б)

поперечное сѣченіе узкаго горизонтальнаго пучка іонизирующихъ лучей, пересекающаго одинъ изъ диаметровъ іонизационной камеры. Фотографическая камера установлена въ горизонтальномъ направленіи нормально къ іонизирующему пучку. Ртутный искровой промежутокъ находится въ S , въ главномъ фокусѣ цилиндрической линзы, длиной въ 20 см. и отверстіемъ, въ 2 см., фокусное разстояніе которой равно приблизительно 3 см. При такой установкѣ освѣщается все облачко, образуемое іонизирующимъ лучемъ значительной длины на своемъ пути; направленіе падающаго свѣта составляетъ сравнительно малый уголъ (около 25°) съ осью фотографической камеры.

Установка (б) примѣнялась главнымъ образомъ къ α -лучамъ, которые образуютъ облачка, достаточно густыя, чтобы разсѣивать большое количество свѣта подъ прямымъ угломъ къ освѣщающему лучу. Объективъ фотографическаго аппарата находился вертикально надъ центромъ іонизационной камеры; посредствомъ двухъ одинаковыхъ ртутныхъ искровыхъ промежутковъ (включенныхъ послѣдовательно), каждый изъ

которыхъ находился въ главномъ фокусѣ цилиндрической линзы, подобной употребленной въ случаѣ (а), освѣщался слой, имѣвшій въ высоту 2 см. и захватывавшій всю поверхность камеры.

Объективъ, которымъ я пользовался, былъ „Изостигмаръ“ Бека. Онъ употреблялся съ полной апертурой F 5.8. Снимки получались на пластинкахъ „Монархъ“ Ильфорда.

Ионизация α -лучами (рис. 1—5 на табл. I и рис. 1 на табл. II) представляетъ собою типичную фотографію облачка, образовавшагося при расширеніи газа, когда въ ионизационную камеру введено на концѣ проволоки ничтожное количество радія. Между крышкой и дномъ камеры поддерживалась разность потенциаловъ въ 40 вольтъ, приче́мъ крышка имѣла болѣе высокій потенциалъ. Ось фотографической камеры была вертикальна и освѣщалось горизонтальное сѣченіе ионизационной камеры около 2 см. глубиной [установка (b) рис. 4]. β -лучи не видны на фотографіяхъ, полученныхъ при такомъ освѣщеніи.

Узкіе, рѣзко ограниченные лучи на этихъ снимкахъ представляютъ собою облачка, конденсировавшіяся вдоль путей, по которымъ α -частицы пролетаютъ пересыщенный водянымъ паромъ газъ послѣ расширенія, когда іоны имѣютъ для своей диффузіи очень малое время, прежде чѣмъ потеряютъ свою подвижность, благодаря конденсаціи на нихъ воды. Размытые лучи суть облачка, конденсировавшіяся на іонахъ, образованныхъ α -частицами, пролетѣвшими сквозь газъ до его расширенія—въ этомъ случаѣ іоны имѣютъ достаточно времени, чтобы диффундировать до образованія облачка. Чѣмъ слабѣе электрическое поле, тѣмъ больше можетъ быть максимальный возможный возрастъ присутствующихъ іоновъ и, слѣдовательно, размытость образующихся облачковъ; при

разности потенциаловъ всего въ два или три вольта при расширеніи образуются широкія пальцеобразныя облачка.

α -лучи, проходящіе черезъ газъ послѣ расширенія, могутъ оставить видимый слѣдъ въ томъ только случаѣ, если степень пересыщенія все еще остается достаточной, чтобы вызвать конденсацію воды на іонахъ. Въ непосредственной близости облачка, уже конденсировавшагося на пути болѣе ранней α -частицы, пересыщеніе можетъ быть недостаточнымъ для конденсаціи, хотя въ другомъ мѣстѣ α -частица и можетъ оставить видимый слѣдъ. Это, безъ сомнѣнія, служитъ объясненіемъ того факта, что большинство рѣзко очерченныхъ лучей кажутся начинающимися лишь на нѣкоторомъ замѣтномъ разстояніи отъ радія, такъ какъ размытыя облачка, образовавшіяся въ моментъ расширенія, такъ плотно расположены вблизи источника лучей, что выброшенная послѣ расширенія α -частица имѣетъ лишь ничтожный шансъ найти пересыщеніе, достаточное, чтобы сдѣлать свой путь видимымъ, прежде чѣмъ она не пройдетъ нѣкоторое разстояніе. За исключеніемъ случаевъ, гдѣ снимки были сдѣланы очень скоро послѣ внесенія радія, обнаруживаются также слѣды α -частицъ, выбрасываемыхъ эманацией и дальнѣйшими радиоактивными продуктами.

Рис. 4 (табл. I). представляетъ фотографію облака, образовавшагося при расширеніи, послѣ того какъ содержавшая радій проволока находилась нѣсколько дней въ іонизаціонной камерѣ и затѣмъ была удалена; какъ ясно видно, α -лучи бѣгутъ по всѣмъ направленіямъ. Иногда можно наблюдать, какъ рѣзко очерченный слѣдъ пересѣкаетъ одинъ или нѣсколько размытыхъ и поэтому часто дѣлается невидимымъ на небольшомъ разстояніи по обѣ стороны размытаго облачка: въ этомъ случаѣ не-

обходимое пересыщеніе не существуетъ, благодаря предшествовавшей конденсаци на болѣе старыхъ іонахъ.

Для нѣкоторыхъ цѣлей (напр., при изслѣдованіи длины пробѣга α -частицы) необходимо точно знать, пролетѣла ли давшая начало определенному облачку α -частица до или послѣ разрѣженія, такъ какъ плотность воздуха въ обоихъ случаяхъ различна. Размѣры облачковъ, образованныхъ α -частицами, выброшенными до расширения, измѣняются въ промежуткѣ между освобожденіемъ іоновъ и осажденіемъ на нихъ воды, но такъ какъ смѣщеніе воздуха всюду происходитъ почти по вертикальному направленію, то горизонтальные размѣры остаются почти неизмѣнными. На фотографіяхъ замѣтно, что размытые лучи короче, чѣмъ рѣзко ограниченные, что вполне согласуется съ болѣе высокой плотностью воздуха при прохожденіи α -частицы въ первомъ случаѣ.

Не представляетъ затрудненій устранить всякое сомнѣніе, что всѣ частицы, путь которыхъ сфотографированъ, были выброшены до или послѣ расширения. Для этого нужно лишь прикрѣпить къ поршню вертикальную пластинку (я пользовался стекломъ, толщиной въ 2 мм.) непосредственно передъ источникомъ лучей съ горизонтальнымъ прорѣзомъ, помѣщеннымъ такимъ образомъ, что онъ находится на уровнѣ посылающей лучи точки до или послѣ расширения. Рис. 2 (табл. I) представляетъ собою снимокъ, полученный при послѣднемъ условіи: размытые пути на немъ отсутствуютъ. Этотъ приѣмъ, разумѣется, непримѣнимъ къ изученію лучей эманациі внутри іонизационной камеры.

Какъ видно изъ фотографій, α -лучи обыкновенно прямолинейны на большей части своего пути, но почти всѣ они погибаютъ, часто очень рѣзко, на послѣднихъ 2 мм. своего пробѣга. Для нѣкоторыхъ лу-

чей такіе рѣзкіе загибы на значительные углы появляются и гораздо раньше.

Рис. 3 (табл. I) даетъ увеличенное изображеніе одного изъ особенно ияг ересныхъ путей. Здѣсь имѣются два рѣзкихъ изгиба: одинъ приблизительно на $10^{1/2}0$, а другой на 430 . Во второй точкѣ изгиба (верхней) очень ясно виденъ похожій на шпору отростокъ, который трудно объяснить чѣмъ-либо, кромѣ іонизаціи, вызванной „отдачей“ (recoil) атома, при столкновеніи съ которымъ путь α -частицы рѣзко измѣнился (благодаря присутствію „шпору“, этотъ α -лучъ обнаруживаетъ поразительно близкое сходство съ одной изъ схемъ, построенныхъ проф. Брэггомъ ¹⁾, чтобы иллюстрировать предполагаемую имъ форму путей α -частицъ).

Независимо отъ подобныхъ рѣзкихъ изломовъ, нѣкоторые изъ путей α -частицъ обладаютъ извѣстной кривизной. Въ однихъ случаяхъ, когда кривизна имѣетъ мѣсто въ непосредственной близости отъ стѣнокъ іонизаціонной камеры, она является вторичнымъ явленіемъ, которое обязано своимъ происхожденіемъ смѣщенію путей частицъ, вызываемому движеніями воздуха или оптическими искаженіями благодаря утолщенію желатиноваго слоя у края крышки. Когда, однако, кривизна обнаруживается недалеко отъ центра іонизаціонной камеры, она, вѣроятно, является естественной, создающейся въ результатѣ повторныхъ небольшихъ отклоненій частицы. Обыкновенно на послѣднемъ милліметрѣ пути существуетъ несомнѣнная естественная кривизна.

Такимъ образомъ снимки обнаруживаютъ два различныхъ способа, которыми α -лучи „разбрасываются“, проходя сквозь воздухъ—то, что Рѣтзерфордъ ²⁾ назы-

¹⁾ W. H. Bragg. Archives of the Röntgen ray. April, 1911.

²⁾ E. Rutherford. Phil. Mag. (6) 21 p. 669. 1911.

ваетъ соотвѣтственно „простымъ“ и „сложнымъ“ разбрасываніемъ (scattering).

Какъ и утверждалъ Рѣтзерфордъ, разбрасываніе въ случаѣ α -частицъ зависитъ, главнымъ образомъ, отъ перваго явленія, иначе говоря, оно является результатомъ отдѣльныхъ отклоненій на значительные углы, а не собирательнымъ дѣйствіемъ весьма значительнаго числа ничтожныхъ отклоненій.

Когда α -частицы выбрасываются эманацией, возможно сфотографировать полный ихъ путь отъ начала до конца. Послѣдній легко узнается по изгибу или крючку. На рис. 4 и 5 (табл. I) показаны пути двухъ α -частицъ, каждая изъ которыхъ прошла весь свой путь въ освѣщенномъ слоѣ; въ обоихъ случаяхъ начало пути ясно отмѣчено увеличенной головкой, въ которой облачко гуще, чѣмъ гдѣ бы то ни было. Быть-можетъ, эти головки представляютъ собою іонизацію, вызванную отдачей атома, изъ котораго вылетѣла α -частица ¹⁾. Такія же самыя характерныя утолщенія находятся въ предполагаемомъ началѣ другихъ, болѣе короткихъ, путей, концы которыхъ лежатъ внѣ освѣщеннаго слоя.

Изъ двухъ полныхъ путей α -частицъ, выброшенныхъ эманацией, одинъ имѣетъ длину (приведенную къ 760 мм. и 15° Ц.) въ 4.3 см., что хорошо согласуется съ обычно принятой величиной. Другой слѣдъ нѣсколько короче, около 3.8 см., что, вѣроятно, объясняется кажущимся укороченіемъ ²⁾.

Нѣкоторые снимки путей α -лучей были получены при боковомъ положеніи камеры и наклонномъ освѣщеніи—установка (а) рис. 4. Содержавшая радій прово-

1) Такая отдача вполне аналогична откату орудія послѣ выстрѣла. (Прим. перев.).

2) Такъ какъ частицы движутся не въ горизонтальной плоскости, то мы можемъ измѣрить лишь проекцію ихъ пути на эту плоскость. (Прим. перев.).

лока окружалась стеклянной трубкой около 1 мм. шириной и открытой на концѣ. Трубка была длиннѣе проволоки на 1 см. съ цѣлью выдѣлить изъ лучей довольно узкій пучекъ съ осью въ плоскости фокусировки камеры.

Примѣромъ снимковъ, полученныхъ такимъ образомъ, является рис. 1 (табл. II), который представляетъ собою увеличеніе подлиннаго негатива. Путь α -частицы виденъ въ нижней части фотографіи. Нѣкоторые изъ іоновъ удержали свою подвижность въ пересыщенной атмосферѣ достаточно долго, чтобы пройти замѣтное разстояніе подѣ дѣйствіемъ электрическаго поля прежде, чѣмъ обратиться въ капельки. Этимъ образуется вертикальная завѣса изъ капелекъ; явленіе болѣе замѣтно надъ главнымъ путемъ частицы, т.-е. въ направленіи, въ которомъ двигались отрицательные іоны.

Мнѣ не удалось получить фотографіи, на которой можно было бы сосчитать всѣ капельки, образовавшіяся на извѣстномъ участкѣ пути α -частицы. Очевидно, было бы очень интересно опредѣлить непосредственнымъ методомъ подобнаго рода число іоновъ, образуемыхъ одной α -частицей.

Ионизація β -лучами. (Рис. 2—4 на табл. I).

Когда фотографическая камера находится сбоку и освѣщеніе наклонно, отдѣльныя частицы облачка, если только онѣ не расположены слишкомъ близко другъ къ другу, даютъ отдѣльныя изображенія на фотографической пластинкѣ. Является, поэтому, возможнымъ фотографировать путь ионизирующей частицы, какъ бы незначительно ни было число іоновъ, образующихся на каждомъ сантиметрѣ ея пути.

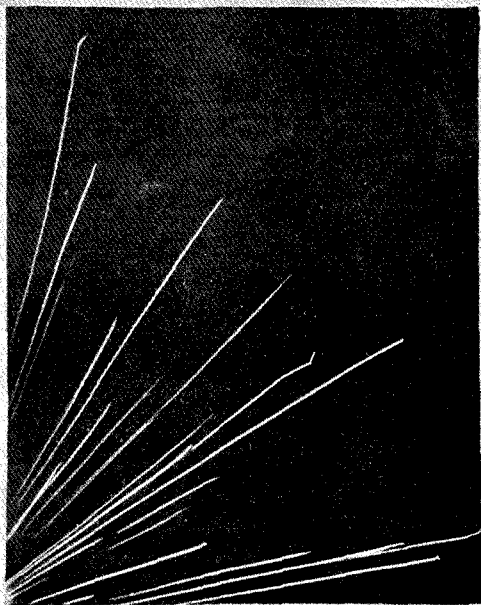
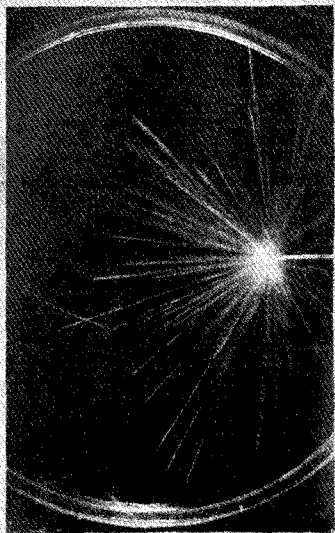
Нѣкоторые снимки слѣдовъ β -лучей получены одновременно со снимками α -лучей, во время только-что описанныхъ опытовъ. Рис. 1, 3 и 4 (на табл. II) имѣютъ такое

происхожденіе. Рис. 2 (табл. II) изображаетъ результатъ прохожденія узкаго пучка γ -лучей черезъ іонизаціонную камеру; сфотографированные пути относятся въ этомъ случаѣ, несомнѣнно, къ β -частицамъ, возникающимъ въ стѣнкахъ сосуда.

Почти прямые пути рис. 3 и 4 (табл. II) (полная длина сфотографированной части пути равна приблизительно 4 см.), очевидно, принадлежатъ β -частицѣ въ первые моменты свободнаго существованія, такъ какъ скорость ея еще очень велика. На это указываетъ не только прямолинейность пути, но и весьма малая іонизація вдоль него. Распредѣленіе іонизаціи вдоль пути очень интересно. На значительныхъ разстояніяхъ іоны встрѣчаются, главнымъ образомъ, парами, но то въ томъ, то въ другомъ мѣстѣ они являются весьма плотно сближенными и образуютъ изъ себя группы въ 20 или 30 іоновъ (подобное же распредѣленіе видно и у второго, приблизительно прямого луча, который пересѣкаетъ первый). Эти группы обнаруживаютъ особенность, которая встрѣчается также на облачкахъ, конденсирующихся при достаточномъ расширеніи на катодныхъ лучахъ¹⁾, образуемыхъ X-лучами: въ то время, какъ отрицательные іоны даютъ начало плотному скопленію, положительные іоны увлекаются электрическимъ полемъ прежде, чѣмъ потеряютъ свою подвижность. Получающаяся картина имѣетъ видъ капелекъ, падающихъ изъ отрицательнаго облачка.

Если мы оставимъ въ сторонѣ скопленія, число іоновъ, образовавшихся на пути β -частицы, равняется приблизительно 32, т.-е. 16 парамъ; принимая же во

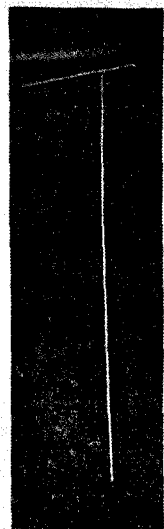
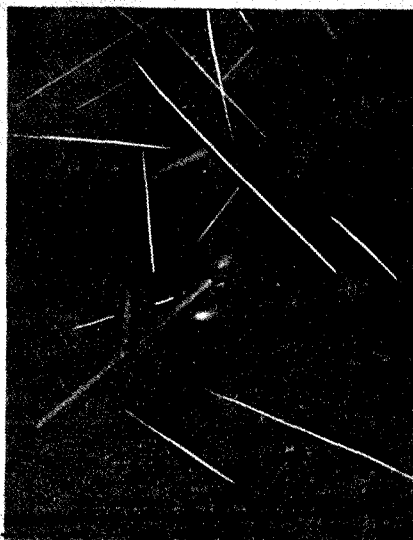
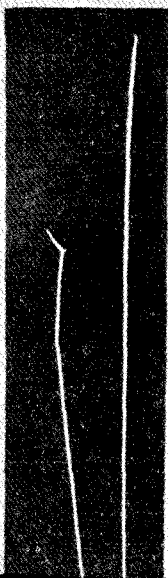
¹⁾ Во всѣхъ случаяхъ, когда авторъ въ дальнѣйшемъ говоритъ о катодныхъ лучахъ, рѣчь идетъ о такъ наз. вторичныхъ катодныхъ лучахъ, т.-е. электронахъ съ малой сравнительно скоростью, выбрасываемыхъ газами и твердыми тѣлами подѣйствіемъ Рѣнтгеновыхъ лучей. (Прим. перев.).



1

2

7758/111



7758

Библиотека
 Института
 Биологической Академии
 № _____

Ленинград
 1917

Библиотечка
 № ~~7758~~

вниманіе эти скопленія, число ихъ, грубо говоря, удваивается, что даетъ величину, немногимъ меньшую, чѣмъ 48 паръ іоновъ на сантиметръ, число, полученное Ивомъ 1) посредствомъ косвенныхъ методовъ.

Образованіе группъ или скопленій іоновъ на пути β -частицъ можетъ быть истолковано, какъ указаніе на то, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ электронъ, освобождаемый изъ атома быстродвижущейся β -частицею, можетъ имѣть достаточно энергіи, чтобы самому ионизовать газъ на очень маломъ разстояніи. β -лучи на рис. 2, (II табл.) очевидно, обладаютъ меньшей скоростью, такъ какъ они образуютъ гораздо больше іоновъ на сантиметръ и гораздо сильнѣе отклоняются.

Еще меньшую скорость имѣютъ частицы, дающія рѣзко обрывающіеся, загнутые слѣды, которые видны на рис. 1 и 3 (II табл.). Этиокончанія β -лучей не отличимы отъ катодныхъ лучей, образуемыхъ въ воздухѣ Рентгеновыми лучами, которые изображены на дальнѣйшихъ рисункахъ.

Слѣдуетъ отмѣтить, что фотографированные β -лучи не обнаруживаютъ, подобно α -лучамъ, рѣзкихъ изломовъ, но, за исключеніемъ времени, когда они движутся съ очень большой скоростью, постепенно изгибаются, результатомъ чего являются весьма значительныя отклоненія. Разбрасываніе β -лучей поэтому преимущественно или всецѣло относится къ „сложному“ типу, являясь результатомъ большого числа послѣдовательныхъ отклоненій, изъ которыхъ каждое въ отдѣльности незамѣтно.

Ионизація Рентгеновыми лучами (рис. 5 и 6 въ текстѣ).

Рентгенова трубка приводилась въ дѣйствіе въ больши́нствѣ случаевъ рядомъ Лейденской банки, прокакивавшимъ **Лейденъ** образомъ, что лучи пронизы-

Бирюкова
Стар.
Учитель

ПЕРВЫЙ МАГНИЗАРЪ, 1911
НОВАЯ ИДЕЯ ВЪ ФИЗИКѢ СЪ. VII.
№ 2660

Д. О. Б.

вали іонизаціонную камеру непосредственно послѣ расширенія воздуха, т.-е., когда газъ находился въ пересыщенномъ состояніи. Поэтому іоны имѣли лишь крайна малое время для диффузіи прежде, чѣмъ на нихъ сконденсировалась вода.

Зажимы верхняго искрового промежутка Q (рис. 3) соединяются съ внутренними обкладками двухъ Лейденскихъ банокъ, внѣшнія обкладки которыхъ соединены съ Круксовой (Рѣнтгеновой) трубкой. Кромѣ того, внутреннія обкладки присоединены также, черезъ наполненныя водой стеклянныя трубки, къ полюсамъ машины Вимшерста. Стальной шарикъ при своемъ паденіи сперва вызываетъ разрядъ въ Рентгеновой трубкѣ, затѣмъ въ служащемъ для освѣщенія ртутномъ искровомъ промежуткѣ; трубки съ водой имѣютъ достаточное сопротивленіе, чтобы не допустить проскакиванія освѣщающей искры при прохожденіи шарика черезъ верхній искровой промежутокъ, но не препятствуютъ обѣимъ батареямъ Лейденскихъ банокъ одновременно заряжаться отъ машины Вимшерста.

Промежутокъ времени между прохожденіемъ разряда въ Рѣнтгеновой трубкѣ и расширеніемъ воздуха въ камерѣ регулируется измѣненіемъ длины нитки, на которой подвѣшенъ стальной шаръ. Были сдѣланы опыты, чтобы опредѣлить длину нити, при которой α -лучи образуются одновременно съ расширеніемъ газа: ясно, что если нить будетъ короче найденной длины, X-лучи будутъ проходить черезъ воздухъ послѣ его расширенія. Чтобы произвести это измѣненіе, Рѣнтгенова трубка была удалена и идущіе къ ней провода были сообщены съ ртутнымъ искровымъ промежуткомъ: черезъ ртутный паръ проходили двѣ искры во время паденія шарика, и промежутокъ между ними былъ, при данной длинѣ нити, тотъ же самый, что и между освѣщающей искрой и образованіемъ X-лучей при обыч-

ной установкѣ. Былъ произведенъ рядъ снимковъ при различныхъ длинахъ нити, приче́мъ фотографическая камера, расположенная горизонтально, была фокуссирована на указателѣ, прикрѣпленномъ къ поршню; если на фотографической пластинкѣ получалось одно изображеніе указателя, это указывало, что расширение закончилось до прохожденія первой искры, второе же изображеніе служило признакомъ того, что первая искра проскочила до окончанія расширения. Эти фотографіи дали также указанія относительности скорости расширения: оно заканчивалось приблизительно въ $\frac{1}{50}$ секунды.

Круксова трубка была установлена на разстояніи, измѣнявшемся отъ 30 до 70 см., отъ отверстія въ стѣнкѣ іонизаціонной камеры, діаметръ котораго былъ 1—2 см.: оно закрывалось кварцевой пластинкой, толщиной въ 0,38 мм. Кварцевое окно примѣнялось потому, что оно оказалось удобнымъ для другой цѣли. Лучи проходили по узкому цилиндрическому каналу, въ большинствѣ случаевъ съ отверстіемъ въ 2 мм., черезъ свинцовую пластинку около 5 см. толщиной, помѣщенную вплотную около кварцеваго окна. Для защиты отъ лучей остальныхъ частей іонизаціонной камеры были установлены свинцовые экраны. Фотографическая камера занимала положеніе (а) рис. 4. Горизонтальный цилиндрическій пучокъ X-лучей проходилъ, такимъ образомъ, черезъ іонизаціонную камеру въ ея центрѣ. Онъ находился на такомъ разстояніи отъ фотографической камеры, что линейное увеличеніе было 2,45 раза. Чтобы избѣжать искаженія снимковъ вслѣдствіе цилиндричности стѣнки прибора, часть стѣнки, длиной въ 5 см., была удалена и замѣнена плоской параллельной стеклянной пластинкой.

Фотографіи нѣкоторыхъ типичныхъ облачковъ,

образованныхъ X-лучами, изображены на рис. 5 (въ текстѣ). Во всѣхъ случаяхъ лучи проходили сквозь пересыщенный воздухъ. Порядокъ явленій былъ таковъ: 1) производилось пересыщеніе воздуха внезапнымъ его расширеніемъ; 2) разрядъ Лейденскихъ банокъ проходилъ черезъ Круксову трубку и вызывалъ іонизацію въ іонизаціонной камерѣ; 3) вода конденсировалась на іонахъ, и 4) проскакивала освѣщающая искра, давая изображеніе образовавшихся облачковъ.

Разность потенциаловъ между крышкой и дномъ іонизаціонной камеры равнялась въ однихъ случаяхъ 40 вольтамъ, въ другихъ же только 4, причемъ крышка всегда была положительной.

Въ большинствѣ случаевъ величина расширения воздуха въ камерѣ заключалась между 1.33 и 1.36, т. е. она значительно превосходила минимумъ (приблизительно 1.31), необходимый для того, чтобы вызвать іонизацію какъ на положительныхъ, такъ и на отрицательныхъ іонахъ (въ послѣднемъ случаѣ минимумъ равенъ 1.25), но была меньше необходимой, чтобы вызвать образованіе густыхъ облачковъ при отсутствіи іоновъ (1.38). При такихъ условіяхъ, какъ показываютъ снимки, пути катодныхъ и β -частицъ, образуемыхъ въ газахъ X-лучами, очень рѣзко очерчены, такъ какъ іоны останавливаются, благодаря конденсаціи на нихъ воды, прежде чѣмъ они успѣютъ диффундировать или смѣститься подъ вліяніемъ электрической силы на сколько-нибудь замѣтную величину.

Главныя особенности значительнаго числа полученныхъ фотографій, примѣромъ которыхъ является рис. 5 въ текстѣ, таковы.

1. Катодные или β -лучи выходятъ изъ слѣда первичнаго пучка X-лучей, но многіе изъ нихъ отходятъ отъ него на значительныя разстоянія.

2. Нѣтъ никакихъ указаній на какое-либо другое

дѣйствіе X-лучей на газъ, кромѣ вызываемаго ими корпускулярнаго излученія; путь первичнаго ихъ пучка можно открыть лишь какъ мѣсто, гдѣ берутъ начало β -лучи. Правда, на нѣкоторыхъ снимкахъ видны разсѣянные по всей освѣщенной области капельки, которыя можно было бы считать за іоны, образованные непосредственно X-лучами; однако, нѣтъ никакого скопленія этихъ капелекъ вдоль первичнаго пучка лучей и, болѣе того, капельки появляются въ такомъ же самомъ количествѣ на фотографіяхъ, снятыхъ при тождественныхъ условіяхъ, но безъ X-лучей. Я думаю, нельзя сомнѣваться, что эти отдѣльныя капельки конденсировались на незаряженныхъ центрахъ (nuclei), сходныхъ по характеру съ тѣми, которые образуются слабымъ ультрафіолетовымъ свѣтомъ и нѣкоторыми металлами и требуютъ подобнаго же расширенія газа, чтобы на нихъ произошла конденсація. Какъ кажется, они обязаны своимъ происхожденіемъ химическому процессу, въ которомъ существенную роль играютъ слѣды всякаго рода загрязненій, такъ какъ число такихъ центровъ сильно увеличивается, если незадолго до того въ приборъ былъ введенъ свѣжій воздухъ.

Такимъ образомъ, какъ и предполагалъ Брэггъ, іонизація X-лучами всецѣло является вторичнымъ процессомъ, съ тѣмъ лишь исключеніемъ, что обра-



Рис. 5.

зование каждаго катоднаго луча въ газѣ можно считать образованіемъ пары іоновъ непосредственнымъ дѣйствіемъ X-лучей.

3. Число катодныхъ лучей, производимыхъ въ воздухѣ на опредѣленной длинѣ ограниченнымъ пучкомъ X-лучей, легко можетъ быть сосчитано при этомъ методѣ.

4. Употреблявшіеся до сихъ X-лучи неоднородны. Поэтому, можно предполагать, что образуемые ими катодные лучи должны имѣть различную длину. Одна изъ наиболѣе частыхъ длинъ, приведенная къ атмосферному давленію, равнялась $\frac{5}{4}$ — 1 см. при измѣреніи вдоль пути и приблизительно половинѣ этой величинѣ при измѣреніи по прямой линіи отъ начала до конца пути. Тѣмъ не менѣе, иногда встрѣчались и пути длиной въ 2 см.

5. Лучи обнаруживаютъ два различныхъ рода отклоненій въ результатѣ столкновеній съ атомами газа— „простое“ и „сложное“ разбрасываніе (scattering) по Рѣтзерфорду. Однако, постепенное или суммарное отклоненіе, благодаря послѣдовательному наложенію крайне малыхъ толчковъ, несомнѣнно, является въ этомъ случаѣ гораздо болѣе важнымъ факторомъ «разбрасыванія»: всѣ лучи обнаруживаютъ значительную кривизну, тогда какъ лишь очень небольшая часть ихъ имѣетъ рѣзкіе изгибы. Когда же такія рѣзкія отклоненія происходятъ, они имѣютъ часто значительную величину, 90° и больше.

6. Лучи становятся все болѣе и болѣе изогнутыми при приближеніи къ концу своего пути. Этотъ конецъ расширенъ въ своего рода головку, которая, возможно, обязана своимъ происхожденіемъ крайней неправильности формы пути частицы, приобретаемой ею въ концѣ пробѣга.

7. На многихъ фотографіяхъ слѣды частицъ, по

крайней мѣрѣ, въ части ихъ пути, находятся достаточно близко къ фокусу, такъ что можно различить отдѣльныя капельки и, благодаря этому, сосчитать число іоновъ, на которомъ капельки конденсировались. Увеличеніе подобнаго снимка представляетъ собою рис. 6. Число іоновъ на см. этого пути равны 278, что соотвѣтствуетъ 376 іонамъ или 188 парамъ ихъ при атмосферномъ давленіи. Число это представляется весьма характернымъ для среднихъ частей пути, т.е. приблизительно въ 5 мм. отъ его конца. Въ 12 по-



Рис. 6.

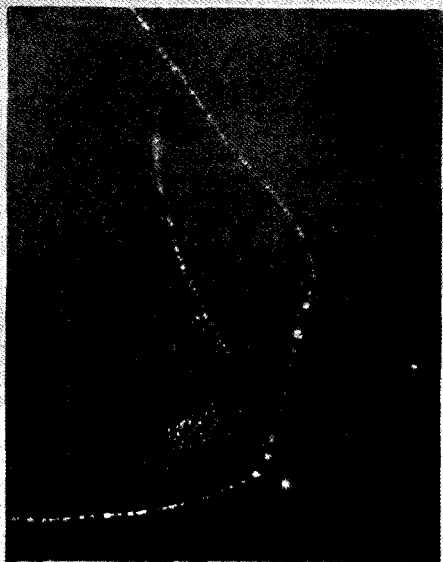
добныхъ счетахъ наименьшее полученное число было 150 паръ на см. (при атмосферномъ давленіи)—оно наблюдалось въ началѣ пути—наибольшее же 2160 паръ на см., наблюдавшееся на послѣднихъ $\frac{1}{2}$ мм. пути.

8. Катодные лучи представляются выбрасываемыми по всѣмъ направленіямъ. Я еще не дѣлалъ попытокъ къ какому-либо статистическому изученію этого вопроса, которое необходимо для опредѣленія относительной частоты различныхъ направленій въ зависимости отъ направленія Рентгеновыхъ лучей.

Когда величина расширенія меньше чѣмъ 1.33, облачка на путяхъ катодныхъ лучей начинаютъ терять свою рѣзкость. При величинѣ расширенія между 1.31 и 1.33 положительные іоны увлекаются электрическимъ полемъ, прежде чѣмъ потеряютъ подвижность, давая этимъ начало завѣсѣ изъ капелекъ, падающей изъ cadaго слѣда, положеніе

котораго отличается отрицательными іонами. Когда расширение имѣетъ величину, меньшую необходимой для фиксаціи положительныхъ іоновъ, то же самое явление происходитъ подѣ дѣйствіемъ поля съ отрицательными іонами и наконецъ, когда расширение едва достаточно для того, чтобы вызвать конденсацію на отрицательныхъ іонахъ, облачка перестаютъ давать какое-либо изображеніе истиннаго пути электрона. Для того, чтобы получить путь іонизирующей частицы такъ точно, какъ только возможно, величина расширения должна превосходить 1.33, но, съ другой стороны, для счета іоновъ малыя расширения имѣютъ свои преимущества. Расширеніе, почти недостаточное для конденсацій на положительныхъ іонахъ, является, быть-можетъ, наиболѣе удобнымъ для счета іоновъ: только на фотографіяхъ, полученныхъ при такихъ условіяхъ, можно измѣрить іонизацію на концѣ путей частицъ.

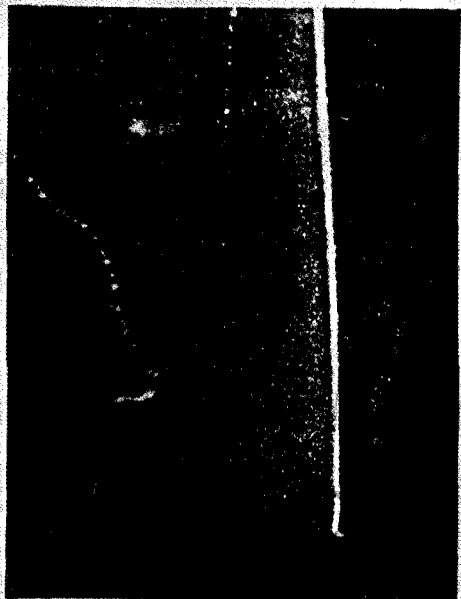
Когда Рентгеновы лучи проходятъ сквозь іонизаціонную камеру передъ расширеніемъ воздуха, получаютъ двойные размытые слѣды, такъ какъ положительные и отрицательные іоны отдѣляются другъ отъ друга электрическимъ полемъ, и въ тѣхъ и другихъ имѣетъ мѣсто диффузія. Было бы интересно получить этимъ вполнѣ непосредственнымъ методомъ доказательство равенства числа образующихся положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ или, иначе говоря, равенство зарядовъ у іоновъ обоихъ знаковъ—вопросъ, который былъ поднятъ нѣкоторыми изслѣдованіями Таунсенда. Къ сожалѣнію, мнѣ удалось получить до сихъ поръ лишь очень короткія части такихъ двойныхъ путей, которыя въ то же время были бы точно въ фокусѣ и свободны отъ осложнений, вызываемыхъ наложеніемъ слѣдовъ другихъ частицъ. Эти короткіе отрѣзки могутъ, однако, показать равенства числа положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ: по-



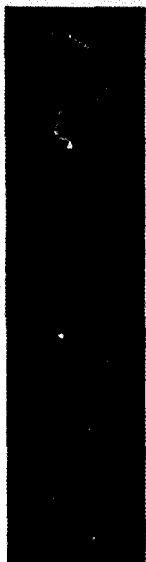
2



4



1



3

ложительныя и отрицательныя облачка, напр., содержатъ каждое отъ 30 до 31 капель, причемъ въ одномъ или двухъ случаяхъ нельзя быть увѣреннымъ, соотвѣтствуетъ ли изображеніе на пластинкѣ одной или двумъ каплямъ.

Эти опыты были выполнены въ Кэвендишской лабораторіи въ Кэмбриджѣ.

Описаніе рисунковъ на таблицахъ.

Эти рисунки представляютъ собою снимки съ фотографій облачковъ, конденсировавшихся на іонахъ, которые освобождаются при прохожденіи лучей разнаго рода сквозь влажный газъ. Въ послѣдующемъ ρ_1 обозначаетъ плотность воздуха передъ расширеніемъ (по отношенію къ насыщенному водянымъ паромъ воздуху при 15° Ц. и 760 мм.), ρ_2 — плотность послѣ расширенія, $\frac{v_2}{v_1}$ — величину расширенія, V — разность потенциаловъ между крышкой и дномъ ионизаціонной камеры въ вольтахъ, M — увеличеніе фотографическаго аппарата. Во всѣхъ случаяхъ крышка камеры была положительна, такъ что отрицательные іоны двигались вверхъ, положительные же — внизъ.

Ионизація α - лучами.

Ось фотографической камеры вертикальна; горизонтальный слой, глубиной въ 2 см., освѣщается ртутной искрой.

Рис. 1 (табл. 1) α - лучи радія. Одни изъ α - частицъ прошли сквозь воздухъ до расширенія, другія — послѣ него.

$$\rho_1 = 0.98, \quad v_2/v_1 = 1.36, \quad \rho_2 = 0.72, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 1/2.18.$$

Рис. 2 (табл. I) α - лучи радія. Всѣ α - частицы прошли сквозь воздухъ послѣ расширенія.

$$\rho_1 = 0.97, \quad v_2/v_1 = 1.33, \quad \rho_2 = 0.73, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 1.05.$$

Рис. 3 (табл. I) α - лучи радія. Увеличеніе части рис. 2.

$$\rho_1 = 0.97, \quad v_2/v_1 = 1.33, \quad \rho_2 = 0.73, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 2.57.$$

Рис. 4 (табл. I). α -лучи радіевой эманации и активнаго осадка.

$$\rho_1 = 1.00, \quad v_2/v_1 = 1.36, \quad \rho_2 = 0.74, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 1/124.$$

Рис. 5 (табл. I). Полный путь α -частицы, выброшенной радіевой эманацией.

$$\rho_1 = 0.97, \quad v_2/v_1 = 1.36, \quad \rho_2 = 0.71, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 1.16.$$

Ионизация α - и β -лучами. Источникъ лучей — на рисункахъ справа. Ось фотографической камеры — горизонтальна (установка [a] рис. 4 въ текстѣ).

Рис. 1 (табл. II). α - и β -лучи радія.

$$\rho_1 = 0.98, \quad v_2/v_1 = 1.33, \quad \rho_2 = 0.74, \quad V = 30 \text{ в.}, \quad M = 6.0.$$

Рис. 2 (табл. II). β -лучи, вызванные γ -лучами.

$$\rho_1 = 1.00, \quad v_2/v_1 = 1.34, \quad \rho_2 = 0.75, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 6.0.$$

Рис. 3 (табл. II). β -лучи радія.

$$\rho_1 = 0.99, \quad v_2/v_1 = 1.31, \quad \rho_2 = 0.76, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 2.45.$$

Рис. 4 (табл. II). β -лучи. Увеличение части рис. 8.

$$\rho_1 = 0.99, \quad v_2/v_1 = 1.31, \quad \rho_2 = 0.76, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 6.0.$$

Ионизация Рѣнтгеновыми лучами.

Ось фотографической камеры горизонтальна. Лучи проходятъ справа направо. Въ обоихъ случаяхъ они пропускаются черезъ воздухъ послѣ расширения.

Рис. 5 въ текстѣ. Ионизация цилиндрическимъ пучкомъ X-лучей около 2 мм. діаметромъ.

$$\rho_1 = 1.00, \quad v_2/v_1 = 1.35, \quad \rho_2 = 0.74, \quad V = 4 \text{ в.}, \quad M = 2.45.$$

Рис. 6 въ текстѣ. Увеличенная часть фотографіи, на которой видны отдѣльные іоны, образовавшіеся вдоль части пути катодной частицы. (Рисунокъ повернуть на 90°).

$$\rho_1 = 1.00, \quad v_2/v_1 = 1.36, \quad \rho_2 = 0.74, \quad V = 40 \text{ в.}, \quad M = 14.7.$$

Переводъ С. Покровскаго.

А. А. Таргонскій.

Каналовые (положительные) лучи.

§ 1. Если въ трубкѣ, снабженной электродами и наполненной какимъ-либо газомъ, уменьшать давленіе и одновременно пропускать разрядъ отъ индукціонной катушки или электрической машины, то имѣютъ мѣсто слѣдующія явленія: сперва вдоль стѣнокъ трубки проскакиваютъ отдѣльныя искры, затѣмъ образуется свѣтящаяся нить, постепенно расширяющаяся и заполняющая всю трубку. Передъ катодомъ наблюдается перерывъ въ свѣченіи, такъ называемое „темное пространство Фарадея“, которое при пониженіи давленія постепенно передвигается къ аноду и исчезаетъ. При давленіи въ 1—3 мм. яркость свѣченія наибольшая; при дальнѣйшемъ уменьшеніи давленія яркость убываетъ, а около катода вновь начинается образовываться темное пространство (Крукса) ¹⁾. вмѣстѣ съ тѣмъ трубка начинаетъ фосфоресцировать зеленымъ цвѣтомъ подѣ дѣйствіемъ катодныхъ лучей, то-есть потока электроновъ, вылетающихъ изъ катода перпендикулярно къ его поверхности. Наконецъ, при давленіяхъ, меньшихъ, чѣмъ 0,001 мм., свѣченіе значительно

¹⁾ Въ дальнѣйшемъ рѣчь будетъ идти только о Круксовомъ темномъ пространствѣ.

ослабѣваетъ, затѣмъ исчезаетъ, и разрядъ перестаетъ проходить, такъ какъ газы одинаково не пропускаютъ разрядъ, какъ при большомъ (около атмосфернаго) давленія, такъ и при весьма маломъ (меньше, чѣмъ 0,00001 мм.)

Какъ уже было сказано, при маломъ давленіи и высокомъ напряженіи (не менѣе нѣсколькихъ сотъ вольтъ) изъ катода вылетаютъ электроны, несущіеся съ громадной скоростью (отъ $\frac{1}{100}$ до $\frac{1}{10}$ скорости свѣта), и хотя масса ихъ весьма мала (приблизительно въ 2000 разъ менѣе массы атома водорода), но, благодаря большой скорости, они обладаютъ значительной кинетической энергіей, такъ что, сталкиваясь съ атомами и молекулами, они могутъ іонизировать ихъ, т. е. расщеплять на противоположно заряженныя части. И такъ въ данномъ случаѣ въ трубкѣ будутъ находиться заряженные атомы и молекулы. Тѣ изъ этихъ атомовъ и молекулъ, которые окажутся положительно заряженными, будутъ двигаться подѣ дѣйствіемъ электрическаго поля между анодомъ и катодомъ, по направленію къ катоду. Если снабдить катодъ отверстіями, то потокъ положительно заряженныхъ частицъ, устремляющихся къ катоду, долженъ пройти черезъ отверстія. Такое явленіе впервые наблюдалось Гольдштейномъ ¹⁾. Полагая, что открытые имъ лучи возникаютъ внутри отверстій (каналовъ) катода, онъ назвалъ ихъ „канальными лучами“ (по-русски употребляется также названіе „закародные лучи“). Въ послѣднее время сэръ Джозефъ Томсонъ ввелъ въ употребленіе названіе „положительные лучи“, въ виду того, что частицы этихъ лучей, какъ будетъ показано ниже, заряжены преимущественно положительно.

Всякаго рода электрическіе лучи (катодные, каналовые, анодные, α -и β -лучи) характеризуются слѣдую-

¹⁾ E. Goldstein. W. A. 64 p. 38, 1898.

щими величинами: e —зарядъ частицы, m —ея масса, v —ея скорость. Эти величины можно опредѣлить, изучая отклоненіе лучей отъ прямолинейнаго пути, когда на нихъ дѣйствуютъ электрическія и магнитныя силы. Но отклоненіе, какъ мы увидимъ ниже, пропорціонально отношенію $\frac{e}{m}$; ясно, что частицы канальныхъ лучей, какъ обладающія большой сравнительно массой m , должны отклоняться во много разъ меньше, чѣмъ частицы катодныхъ лучей. Поэтому Гольдштейнъ, пользовавшійся слабымъ магнитомъ, не могъ замѣтить никакого вліянія магнитнаго поля на канальные лучи, что впервые удалось только В. Вину ¹⁾. Оказалось, однако, что составъ канальныхъ лучей значительно сложнѣе, нежели лучей катодныхъ: тогда какъ узкій катодный пучокъ отклоняется магнитнымъ полемъ въ видѣ узкаго же пучка, пучокъ канальныхъ лучей отклоняется въ видѣ вѣера, а часть лучей вовсе не отклоняется. Это указываетъ, что въ составъ канальныхъ лучей входятъ частицы не только съ различными зарядами, массами и скоростями, но также и частицы незаряженныя, нейтральныя. Поэтому опредѣленіе характерныхъ величинъ $\frac{e}{m}$ и v долгое время нельзя было произвести съ достаточной точностью и только въ 1911 г. фонъ-Дехенду и Гаммеру ²⁾ удалось найти для частицъ водородныхъ канальныхъ лучей число ($e/m=10400$), достаточно близкое къ числу, извѣстному для электролитическаго іона водорода ($e/m=9.600$). Выясненію природы канальныхъ лучей были посвящены многочисленныя изслѣдованія Вина ³⁾, Кенигс-

1) W. Wien. W. A. 65 p. 440, 1898.

2) H. v. Dechend u. W. Hammer, Ph. Zs. 12 p. 1077, 1911.

3) W. Wien. An. Ph. 23 p. 428, 1907; 27 p. 1025, 1908; 30 d. 749, 1909; 33 p. 871, 1910; 39 p. 519, 1912.

бергера, и въ особенности Дж. Дж. Томсона, замѣчательныя работы котораго изложены въ дальнѣйшемъ ¹⁾.

§ 2. Дѣйствіе электростатическаго и магнитнаго поля на каналовые лучи.—Назовемъ разрядной трубкой ту часть, которая находится между анодомъ и катодомъ; за катодной частью—то пространство, гдѣ проходятъ каналовые лучи. Катодъ обычно снабжается длинной и узкой трубкой, изъ которой лучи выходятъ въ видѣ рѣзко-ограниченнаго пучка. Далѣе лучи проходятъ между двумя параллельными пластинками, которымъ сообщена нѣкоторая разность потенциаловъ (въ нѣкоторыхъ опытахъ Томсона паденіе потенциала между пластинками на протяженіи 1 см. доходило до 10.000 вольтъ), и между полюсами сильнаго электромагнита. Наконецъ, лучи падаютъ на флюоресцирующій экранъ или фотографическую бумагу, чернѣющую подъ дѣйствіемъ каналовыхъ лучей. Дальнѣйшія подробности объ устройствѣ трубки читатель найдетъ въ статьѣ Томсона „Лучи положительнаго электричества“.

Если электростатическое и магнитное поля не возбуждены, то лучи доходятъ до экрана въ видѣ тонкаго пучка и образуютъ на немъ рѣзко ограниченное пятно. Если же возбудить поля, то каждая частица, заряженная положительно или отрицательно, подъ дѣйствіемъ полей отклонится отъ своего прямолинейнаго пути. Обыкновенно располагаютъ оба поля параллельно, такъ какъ въ этомъ случаѣ магнитное отклоненіе перпендикулярно къ электрическому.

Представимъ себѣ, что на экранѣ проведены прямоугольные координаты, причемъ за начало взята та точка, гдѣ на экранъ попадаютъ лучи неотклоненные; за ось Y

¹⁾ Обзоръ работъ до 1911 г. можно найти: H. v. Deschend u. W. Hammer, Jahrb. d. Rad. 8 p. 34, 1911.

взято направлѣніе линий силъ электростатическаго и магнитнаго полей; ось Z перпендикулярна къ нимъ и лежитъ въ плоскости экрана; ось X перпендикулярна къ экрану и совпадаетъ съ направлѣніемъ неотклоненныхъ лучей. Поля ориѣнтируютъ такъ, чтобы ось Y была горизонтальна. Тогда электростатическое отклоненіе происходитъ параллельно оси Y , а магнитное—параллельно оси Z . Легко вывести ¹⁾ выраженіе для электрическаго отклоненія—

$$y = \frac{e}{mv^2} A, \dots \dots \dots (1)$$

и для магнитнаго отклоненія—

$$z = \frac{e}{mv} B \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ e , m , v имѣютъ указанная выше значенія, а A и B величины, зависящія отъ силы поля, его длины, и расстоянія между полемъ и экраномъ ²⁾. Если возбудить оба поля одновременно, то, очевидно, мѣсто встрѣчи какой-нибудь частицы съ экраномъ опредѣлится координатами (1) и (2). Если частицы обладаютъ различными зарядами, массами и скоростями, то на экранѣ должны получиться нѣкоторыя кривыя, общее уравненіе которыхъ дано совокупностью выраженій (1) и (2).

Пусть оба поля остаются неизмѣнными во все время опыта; тогда A и B постоянныя. Комбинируя (1) и (2), легко получаемъ:

$$\frac{z^2}{y} = \frac{B^2}{A} \frac{e}{m} \dots \dots \dots (3)$$

1) И. И. Борганъ. Новыя идеи въ физикѣ, сбор. I, стр. 102.

2) Остроумный способъ, которымъ Томсонъ опредѣлилъ величины A и B , изложенъ въ статьѣ Б. Горбунова. Вопросы физики, 5, стр. 92, 143, 1911; 6, стр. 67, 1912. Тамъ же подробно изложены болѣе старыя работы Томсона (до 1911 г.).

$$\frac{z}{y} = \frac{B}{A} v \dots \dots \dots (4)$$

Иными словами, если величина $\frac{e}{m}$ неизмѣнна, то отноше-
 ніе $\frac{z^2}{y}$ есть величина постоянная, то-есть, если на
 экранѣ появляется парабола (уравненіе параболы:
 $z^2 = cy$, гдѣ c постоянное), то среди частицъ есть такія,
 у которыхъ одинаковое отношеніе $\frac{e}{m}$, но различная
 скорость (выраженіе (3) отъ скорости не зависитъ).
 Выраженіе (4) показываетъ, что если скорость по-
 стоянна, то величина $\frac{z}{y}$ тоже постоянна; слѣдова-
 тельно, частицы съ одинаковой скоростью, но съ различ-
 ными $\frac{e}{m}$, расположатся на одной прямой (уравненіе
 прямой: $z = cy$). Очевидно, что, измѣряя на экранѣ всѣ
 прямыя и параболы, можно опредѣлить какъ $\frac{e}{m}$, такъ и
 v для всѣхъ заряженныхъ частицъ, входящихъ въ
 составъ каналовыхъ лучей.

Частицы пріобрѣтаютъ свою кинетическую энергію
 отъ того, что передъ катодомъ онѣ въ заряженномъ
 состояніи проходятъ нѣкоторую разность потенці-
 аловъ V ; затраченная электрическая энергія должна
 равняться пріобрѣтенной кинетической, то-есть—

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \dots \dots \dots (5)$$

Исключая $\frac{e}{m}$ изъ (1) и (5), находимъ—

$$y = \frac{A}{2v} \dots \dots \dots (6)$$

т.-е. для частицъ, прошедшихъ въ разрядной трубкѣ одинаковую разность потенциаловъ, электрическія отклоненія одинаковы: всѣ такія частицы должны находиться на одномъ и томъ же разстояніи отъ вертикали (оси OZ).

Система линій и пятенъ, получающихся на экранѣ, можетъ быть наблюдаема различными способами. Томсонъ первоначально поступалъ слѣдующимъ образомъ: онъ покрывалъ экранъ флюоресцирующимъ веществомъ (лучше всего измельченнымъ минераломъ виллемитомъ или же обманкой Сидо), а затѣмъ отмѣчалъ на противоположной сторонѣ экрана положеніе линій тушью и измѣрялъ ихъ. Можно также фотографировать экранъ вмѣстѣ съ пятнами. Но наилучшіе, безспорно, результаты получаются при замѣнѣ экрана фотографической бумагой.

Методъ Томсона (наблюденіе линій и пятенъ на экранѣ) не является единственнымъ способомъ изученія отклоненія каналовыхъ лучей въ магнитномъ и электростатическомъ полѣ. Винъ, напримѣръ, помѣщалъ на пути лучей термоэлектрической столбикъ; отклоняя лучи и продвигая столбикъ вдоль отклоненнаго пучка, онъ могъ непосредственно находить кинетическую энергію частицъ въ различныхъ частяхъ пучка. Многіе изслѣдователи заставляли лучи попадать въ фарадеевскій цилиндръ, соединенный съ гальванометромъ, что давало возможность измѣрить количество электричества, перенесеннаго лучами. Этотъ довольно грубый методъ былъ удачно видоизмѣненъ Томсономъ (см. § 3).

§ 3. Природа каналовыхъ лучей по работамъ Томсона ¹⁾ и др.—Первоначально думали, что

¹⁾ Sir J. J. Thomson. Phil. Mag. 13 p. 561, 1907; 14 p. 225, 1907; 16 p. 657, 1908; 18 p. 821, 1909; 19 p. 424, 1910; 21 p. 752, 1910; 21 p. 225, 1911; 23 p. 449, 1912; 24 p. 209, 1912; 24 p. 668, 1912. Proc. Roy. Soc. 89 p. 1, 1913.

каналовые лучи состоятъ изъ частицъ металла катода, и что они возникаютъ внутри отверстій катода. Это предположеніе оказалось, однако, невѣрнымъ и едва ли можно сомнѣваться въ правильности гипотезы, впервые высказанной Вилльямомъ и гласящей, что каналовые лучи образуются изъ іоновъ газа, іонизированнаго катодными лучами въ темномъ пространствѣ. Что каналовые лучи, дѣйствительно, образуются въ темномъ пространствѣ, доказывается слѣдующими двумя опытами. Венельтъ помѣщалъ между анодомъ и катодомъ узкій подвижной экранъ; если экранъ находился внутри темнаго пространства, то на катодѣ была видна его тѣнь съ нѣсколькими размытыми краями; тѣнь становилась неясной, когда экранъ находился внѣ темнаго пространства. Во всѣхъ случаяхъ каналовые лучи выходили только изъ непокрытыхъ тѣнью отверстій катода. Второй опытъ принадлежитъ Дж. Дж. Томсону. Какъ и въ предыдущемъ опытѣ, внутри трубки помѣщался экранъ, но покрытый солью литія, флюоресцирующей подѣ дѣйствіемъ каналовыхъ лучей. Пока экранъ находился внутри темнаго пространства, сторона его, обращенная къ аноду, свѣтилась, но свѣченіе прекращалось, какъ только экранъ переходилъ границу темнаго пространства.

Далѣе оказалось, что начала всѣхъ параболъ (см. ниже), наблюдаемыхъ на экранѣ при разложеніи лучей въ электростатическомъ и магнитномъ поляхъ, находятся на одинаковомъ разстояніи отъ вертикали (ср. рис. 16 въ статьѣ Томсона). Формула (6) показываетъ, что въ такомъ случаѣ наибольшая разность потенциаловъ, пройденная частицами (наибольшая разность потенциаловъ соотвѣтствуетъ, очевидно, наибольшей скорости, т.-е. наименьшему отклоненію), одинакова для всѣхъ родовъ частицъ. При измѣреніи разстоянія параболъ отъ вертикали было найдено,

что соотвѣтствующая разность потенциаловъ равняется катодному паденію потенциала ¹⁾. Ясно, что если и не всѣ, то хоть нѣкоторыя частицы образуются въ началѣ темнаго пространства. Такимъ образомъ, вслѣдствіе іонизаціи газа катодными лучами, а отчасти и самими канальовыми лучами (см. статью Томсона), передъ катодомъ образуются въ большомъ количествѣ положительно заряженныя частицы. Подъ дѣйствіемъ электрическаго поля онѣ стремятся къ катоду, нѣкоторыя отряжаются отъ катода (см. § 6), остальные же проходятъ черезъ отверстие катода и продолжаютъ летѣть по инерціи.

Винъ, а впослѣдствіи и Томсонъ, нашли, что канальовые лучи отнюдь не однородны по составу. Томсонъ подраздѣляетъ слѣдующимъ образомъ канальовые лучи: 1. Нейтральныя частицы, не отклоняемыя ни магнитнымъ, ни электростатическимъ полемъ; ихъ масса, атомный вѣсъ и скорость неизвѣстны. 2. Характеристическіе или первичные лучи, образующіе на экранѣ параболы, что указываетъ [форм. (3)] на постоянство отношенія e/m для каждой отдѣльной параболы. Эти лучи возникаютъ передъ катодомъ вслѣдствіе іонизаціи газа; ихъ максимальная скорость зависитъ отъ катоднаго паденія потенциала. 3. Вторичныя лучи, образующіе на экранѣ прямыя линіи, т.-е. обладающіе приблизительно постоянной скоростью [форм. (4)], не зависящей отъ разности потенциаловъ на электродахъ и равной $2 \cdot 10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, то-есть $\frac{1}{150}$ скоро-

¹⁾ Паденіе потенциала внутри трубки между электродами происходитъ неравномѣрно, оно особенно велико вблизи катода: разность потенциаловъ на электродахъ лишь немного превышаетъ разность потенциаловъ между катодомъ и границей темнаго пространства; соотвѣтствующее паденіе потенциала называется катоднымъ паденіемъ.

сти свѣта. Наконецъ, встрѣчаются отрицательно заряженные частицы, образующія какъ параболы, такъ и прямыя линіи.

Если лучи образуются въ темномъ пространствѣ, а это сомнѣнію не подлежитъ, то направляться къ катоду могутъ только частицы, положительно заряженные. Штаркъ и Ми предложили гипотезу, объясняющую, почему въ закатодной части, кромѣ положительныхъ частицъ, встрѣчаются нейтральныя, отрицательныя, а также такія, скорость которыхъ не зависитъ отъ напряженія. Названные ученые высказали мысль, что положительныя частицы на своемъ пути непрерывно сталкиваются съ электронами и молекулами газа и при этомъ могутъ нейтрализоваться или мѣнять зарядъ. Этотъ процессъ непрерывной диссоціи былъ подробно выясненъ работами Вина и въ особенности блестящими изслѣдованіями Томсона. Вину принадлежитъ такой опытъ: лучи проходили въ закатодной части черезъ два отклоняющихъ магнитныхъ поля, помѣщенныхъ одно за другимъ. Первое поле выдѣляло изъ пучка всѣ заряженныя частицы, такъ что во второе поле попадали исключительно частицы, прошедшія первое поле въ нейтральномъ состояніи. Однако, и второе поле, въ свою очередь, раздѣляло лучи на два пучка: отклоненный и неотклоненный. Очевидно, нѣкоторыя изъ частицъ, нейтральныхъ въ первомъ полѣ, успѣли зарядиться до вступленія во второе поле.

Нѣсколько иначе показалъ диссоцію Томсонъ. Онъ пользовался также двумя послѣдовательными магнитными полями, но только перпендикулярными между собой. Отъ дѣйствія одного только перваго поля на экранѣ получалась горизонтальная полоса; одно только второе поле давало вертикальную полосу. Можно было бы ожидать, что совмѣстное дѣйствіе

обоихъ полей дастъ полосу, наклоненную подъ угломъ въ 45° къ прежнимъ полосамъ. Оказалось, однако, что на экранѣ наблюдается не полоса, а четырехугольникъ. Ясно, что нѣкоторыя частицы, нейтральныя въ одномъ полѣ, проходили другое въ заряженномъ состояніи, и что процессъ нейтрализаціи и диссоціаціи происходитъ и внутри полей.

Доказавъ правильность гипотезы Штарка-Ми, Томсонъ обратился къ детальному изученію различныхъ лучей (неотклоняемыхъ, характеристическихъ и вторичныхъ).

Изъ положительныхъ частицъ, образовавшихся передъ катодомъ, нѣкоторыя проходятъ всю закатодную часть безъ столкновенія, а, слѣдовательно, и безъ перемѣны заряда, и даютъ на экранѣ характеристическія параболы; скорость этихъ частицъ не одинакова, такъ какъ онѣ образуются въ разныхъ частяхъ темнаго пространства, и, значитъ, проходятъ неодинаковую разность потенциаловъ. Нѣкоторыя изъ положительныхъ частицъ присоединяютъ къ себѣ электронъ и становятся нейтральными (неотклоняемые лучи); нѣкоторыя же могутъ присоединить къ себѣ нѣсколько электроновъ и зарядиться отрицательно (отрицательныя линіи). Процессъ нейтрализаціи происходитъ, надо думать, главнымъ образомъ въ длинной и тонкой трубкѣ катода, гдѣ, вѣроятно, имѣетъ мѣсто скопленіе электроновъ. Однако, изслѣдованіе Кенигсбергера и Кучевского ¹⁾, помѣщавшихъ отклоняющее магнитное поле передъ катодомъ, показали, что нейтрализація происходитъ отчасти и въ темномъ пространствѣ.

Вторичные лучи возникаютъ также вслѣдствіе нѣ-

¹⁾ J. Königsberger u. J. Kutschewski. Phys. Zs. 11, p. 379, 1910.

котораго процесса диссоціаціи, происходящей въ закатодной части. Дѣйствительно, когда отклоняющія поля были длиною болѣе сантиметра, то вторичныя линіи на экранѣ получались интенсивными, но не рѣзкими; когда же Томсонъ уменьшилъ длину полей до 1 мм. (соотвѣтственно увеличивъ ихъ силу), вторичныя линіи стали слабыми и рѣзкими, тогда какъ видъ первичныхъ линіи не мѣнялся. Измѣненіе условій въ разрядной трубкѣ вліяло на первичные лучи, но не на вторичные. Слѣдовательно, образованіе вторичныхъ лучей происходитъ не въ разрядной трубкѣ, а внутри отклоняющаго поля, то-есть въ закатодной части. Наличие же диссоціаціи была доказана аналогично тому, какъ и для первичныхъ лучей. Основной вопросъ—происходятъ ли вторичные лучи отъ диссоціаціи летящихъ частицъ, или же отъ диссоціаціи неподвижныхъ молекулъ газа, — былъ рѣшенъ Томсономъ слѣдующимъ опытомъ. Вся трубка наполнялась парами ртути, и на экранѣ наблюдалась линія, соотвѣтствующая частицамъ ртути. Затѣмъ пары ртути удалялись посредствомъ угля, охлаждаемаго жидкимъ воздухомъ: 1) изъ одной только закатодной части, 2) изъ одной только разрядной трубки. Въ первомъ случаѣ въ закатодной части были летящія частицы ртути, но не было неподвижныхъ; во второмъ случаѣ — наоборотъ. Оказалось, что во второмъ случаѣ ртутная линія ослаблялась гораздо больше, нежели въ первомъ, то-есть вторичныя линіи образовались преимущественно летящими частицами, а не молекулами газа.

Диссоціація летящихъ частицъ, очевидно, можетъ происходить двоякимъ путемъ: летящія частицы взаимодействуютъ либо съ неподвижными молекулами, либо съ электронами. Въ первомъ случаѣ, вслѣдствіе массы молекулъ, летящія частицы должны были бы послѣ столкновенія нѣсколько измѣнить направленіе

своего движениа, что сдѣлало бы линіи на экранѣ размытыми; между тѣмъ, линіи обыкновенно весьма рѣзки и отчетливы. Это приводитъ къ заключенію, что взаимодѣйствіе имѣетъ мѣсто между летящими частицами и электронами, массы которыхъ такъ малы, что столкновеніе съ ними не можетъ вліять на характеръ движениа частицъ ¹⁾.

Скорость вторичныхъ лучей не только постоянна, но, что особенно замѣчательно, почти не зависитъ отъ разности потенціаловъ на электродахъ трубки, то-есть отъ скорости первичныхъ лучей. Передъ катодомъ былъ помѣщенъ экранъ съ небольшимъ отверстіемъ; изъ котораго выходитъ узкій пучокъ катодныхъ лучей, проходящій затѣмъ черезъ отклоняющее магнитное поле и падающій на фосфоресцирующій экранъ; каналовые лучи проходили черезъ другое отклоняющее поле и также падали на экранъ. Сила обоихъ полей оставалась все время неизмѣнной, но разность потенціаловъ на электродахъ мѣнялась въ широкихъ предѣлахъ (отъ 3000 вольтъ до 40000 вольтъ); пятно, образованное на экранѣ катодными лучами, при этомъ значительно перемѣщалось, тогда какъ пятно каналовыхъ лучей не передвигалось замѣтнымъ образомъ, т.-е. скорость ихъ не мѣнялась. Это постоянство скорости легко понять, если допустить, что вторичные лучи образуются путемъ диссоціаціи. Въ самомъ дѣлѣ, если скорость частицы меньше нѣкотораго предѣла, то она не обладаетъ достаточной кинетической энергіей, чтобы диссоціироваться при встрѣчѣ съ электро-

¹⁾ Такое заключеніе справедливо лишь въ случаѣ весьма низкаго давленія: въ этомъ случаѣ число неподвижныхъ молекулъ мало, и столкновенія съ ними рѣдки; однако, при давленіяхъ болѣе высокихъ, чѣмъ тѣ, которыми обыкновенно пользовался Томсонъ, столкновенія съ молекулами учащаются и линіи на экранѣ перестаютъ быть рѣзкими.

номъ; съ другой стороны, если скорость ея весьма велика, то она столь быстро пролетаетъ мимо электрона, что взаимодѣйствіе между ними не имѣетъ мѣста; слѣдовательно, скорость диссоціированныхъ частицъ должна заключаться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Если оба предѣла, верхній и нижній, близки другъ къ другу, то скорость вторичныхъ лучей оказывается независимой отъ напряженія.

Особыми опытами Томсонъ (см. его статью) установилъ, что вторичные лучи образуются, какъ при нейтрализаціи заряженныхъ частицъ, такъ и при диссоціаціи нейтральныхъ.

Выяснивъ природу каналовыхъ лучей, Томсонъ въ послѣднее время (начиная съ 1911 г.) примѣнилъ свой методъ къ анализу различныхъ газовъ. Измѣряя параболы на экранѣ, можно опредѣлить по форм. (3) и (4) не только атомный и молекулярный вѣсъ элементовъ и соединеній, входящихъ въ составъ газа, наполняющаго трубку, но также и электрическое состояніе частицъ. Подробное изложеніе замѣчательныхъ результатовъ, достигнутыхъ Томсономъ въ этой области, читатель найдетъ въ его статьѣ. Я ограничусь однимъ примѣромъ, указывающимъ необыкновенную чувствительность метода; кислородъ былъ найденъ Томсономъ въ слѣдующихъ семи различныхъ видахъ: атомъ съ однимъ и съ двумя положительными зарядами, и съ однимъ отрицательнымъ; молекула съ положительнымъ зарядомъ; озонъ съ положительнымъ зарядомъ; полимеръ, состоящій изъ шести атомовъ съ однимъ зарядомъ; существованіе соединенія O_6 подозрѣвалось и раньше, но было доказано только Томсономъ:

Методъ Томсона, чрезвычайно чувствительный для качественного анализа, не можетъ, однако, дать столь же точныхъ количественныхъ результатовъ, такъ какъ

дѣйствіе различныхъ частицъ на флюоресцирующей экранъ зависитъ отъ ихъ химической природы. Это обстоятельство привело Томсона въ первый періодъ его работъ (1907—1909 г.г.), когда онъ еще пользовался экраномъ, къ ошибочному заключенію, что при низкихъ давленіяхъ, независимо отъ состава газовъ, наполняющихъ трубку, каналовые лучи состоятъ только изъ водорода и гелія. Такой парадоксальный результатъ объясняется просто особой чувствительностью экрана къ дѣйствию частицъ легкихъ газовъ, благодаря чему Томсонъ не могъ замѣтить линий, соответствующихъ болѣе тяжелымъ газамъ; съ другой стороны, почернѣніе фотографической бумаги не вполне пропорціонально числу падающихъ на нее частицъ и также зависитъ отъ ихъ химической природы. Для устранения этого недостатка Томсонъ въ послѣднее время придумалъ методъ едва ли не болѣе чувствительный, чѣмъ фотографическій. Въ экранѣ, на который падаетъ разложенный полемъ пучокъ лучей, сдѣлано небольшое отверстіе, за которымъ помѣщенъ цилиндръ, соединенный съ электроскопомъ. Въ цилиндръ, вслѣдствіе малости отверстія, попадаютъ частицы только вполне опредѣленного состава, то-есть съ однимъ и тѣмъ же атомнымъ вѣсомъ и зарядомъ. Непрерывно измѣняя силу разлагающаго поля, Томсонъ заставлялъ всѣ линии и пятна на экранѣ передвигаться мимо отверстія. Если вычертить кривую показаній электроскопа, то непосредственно можно опредѣлить количество электричества, перенесеннаго частицами.

§ 4. Спектральное изученіе каналовыхъ лучей.—Каналовые лучи, возбуждаемые въ какомъ-либо газѣ, при давленіяхъ не слишкомъ низкихъ, вызываютъ свѣченіе газа вдоль своего пути. Методъ Томсона, столь плодотворный при изученіи происхо-

ждения и состава каналовыхъ лучей, ничего не можетъ дать при изученіи явленій лучеиспусканія, хотя бы по тому одному, что для Томсоноваго метода существенна полная невидимость лучей (то-есть, весьма малое давленіе), такъ какъ видимые лучи, очевидно, непосредственно дѣйствовали бы на фотографическую бумагу. Пришлось поэтому обратиться къ изученію спектра каналовыхъ лучей. Свѣченіе газа можетъ происходить, очевидно, различными способами: лучеиспускають либо летящія частицы, либо неподвижныя молекулы, либо и тѣ и другія. Если лучеиспускающими центрами являются подвижныя частицы, то, согласно принципу Допплера-Физо, линіи спектра должны быть смѣщены къ фіолетовому концу, если частицы летятъ навстрѣчу наблюдателю, и къ красному концу, если частицы удаляются отъ наблюдателя. Смѣщеніе линіи, какъ извѣстно, выражается формулой

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \dots \dots \dots (7)$$

гдѣ λ -длины волны данной линіи, $\Delta \lambda$ -измѣненіе длины волны, то-есть смѣщеніе, v -скорость источника свѣта, въ данномъ случаѣ частицы, c -скорость свѣта. И дѣйствительно, такое „явленіе Допплера“ было найдено Штаркомъ ¹⁾ въ спектрѣ каналовыхъ лучей. Однако, на ряду съ линіями смѣщенными всегда наблюдаются и линіи не смѣщенные; иными словами, лучеиспускають не только движущіяся частицы, но также и не подвижныя молекулы. Явленію Допплера было посвящено огромное количество изслѣдованій ¹⁾.

¹⁾ J. Stark An. Ph. 21 p. 401, 1906.

См. также: Д. Бизюкинъ. Вопр. физ. 1908 г. стр. 169.

¹⁾ Подробную литературу см. Fulcher Jahrb. d. Rad. 10 p. 82, 1913.

Наиболѣе вѣроятно слѣдующая картина лучеиспускающаго газа. Летящія частицы, непрерывно сталкиваясь (напомню, что лучеиспускание имѣетъ мѣсто при сравнительно высокомъ давленіи), съ неподвижными молекулами, или же близко пролетая мимо нихъ, взаимодействуютъ съ ними. Взаимодействие, вѣроятно, заключается въ томъ, что электроны, какъ частицы, такъ и молекулы, приходятъ въ колебаніе, слѣдствіемъ чего является лучеиспускание. Летящія частицы даютъ смѣщенные линіи, неподвижныя же образуютъ обычный спектръ съ несмѣщенными линіями. Если мы впустимъ каналовые лучи какого-нибудь газа, напримѣръ водорода, въ атмосферу другого газа, напримѣръ, азота, то мы должны ожидать, что въ спектрѣ увидимъ водородныя линіи только смѣщенными, а азотныя—только не смѣщенными, что и было подтверждено опытами Вильсара ¹⁾.

Изъ опытовъ Томсона извѣстно, что въ каналовыхъ лучахъ встрѣчаются не только заряженныя частицы, но и нейтральныя. Вопросъ о томъ, лучеиспускаютъ ли положительныя или же нейтральныя частицы, нельзя считать вполне рѣшеннымъ. Штаркъ ²⁾ полагаетъ, что лучеиспускать способны только положительныя частицы, но опыты Вина и Бервальда заставляютъ думать, что главная роль принадлежитъ нейтральнымъ частицамъ.

Въ форм. (7) *c* извѣстно, $\Delta\lambda$ и λ могутъ быть измѣрены, и можно, слѣдовательно опредѣлить скорость *v* частицъ. Комбинируя форм. (7) и (5), получаемъ зависимость между смѣщеніемъ спектральной линіи и отношеніемъ $\frac{e}{m}$.

1) H. Wilsar. Phys. Zs. 12 p. 1091, 1911.

2) J. Stark. Jahrb. d. Rad 8 p. 231, 1911.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{2 \frac{e}{m} V}}{c} \dots \dots \dots (8)$$

Казалось бы, что изъ форм. (7) и (8) можно опредѣлить, какъ скорость, такъ и $\frac{e}{m}$ частицъ. Однако, спектральное изслѣдованіе мало дало для выясненія природы каналовыхъ лучей. Причина заключается въ томъ, что по смѣщенію линіи можно опредѣлить скорость частицъ, но не ихъ электрическое состояніе, какъ въ методъ Томсона. Далѣе, въ форм. (8) входитъ величина V , то-есть та разность потенціаловъ, которую частицы прошли передъ катодомъ. Но вслѣдствіе частыхъ столкновеній, нейтрализацій и перемѣнъ заряда нельзя точно опредѣлить величину V , а тѣмъ самымъ становится недостовѣрнымъ вычисленіе отношенія $\frac{e}{m}$. По-

этому, несмотря на все обиліе изслѣдованій, только въ послѣднее время удалось Штарку ¹⁾ путемъ спектральнаго анализа добиться тѣхъ же результатовъ, которые уже задолго до того были найдены Томсономъ.

§ 5. Свойства каналовыхъ лучей. Каналовые лучи обладаютъ многими свойствами, сближающими ихъ съ катодными и иными электрическими лучами. Такъ на примѣръ, они, какъ мы видѣли, ионизируютъ газъ, черезъ который проходятъ; они способны вызывать нѣкоторыя химическія реакціи, на примѣръ, окисленія; многія вещества подъ вліяніемъ этихъ лучей фосфоресцируютъ, въ томъ числѣ и стекло; падая на твердыя тѣла, лучи отчасти отражаются и вызываютъ вторичное, состоящее изъ электроновъ, излученіе, аналогичное медленнымъ катоднымъ лучамъ. Любопытно

¹⁾ J. Stark. Phys. Zs. 14 p. 861, 1913.

механическое дѣйствіе лучей: если покрыть стеклянную пластинку тонкимъ слоемъ золота и подвергнуть ее дѣйствію каналовыхъ лучей, то вслѣдствіе непрерывныхъ ударовъ частицъ стекло совершенно очищается отъ золота. Поверхности нѣкоторыхъ веществъ, напримеръ, каменной соли, слюды и др., отъ дѣйствія быстрыхъ каналовыхъ лучей покрываются небольшими трещинами и углубленіями, что объясняется частичнымъ проникновеніемъ лучей внутрь изслѣдуемаго тѣла ¹⁾).

Нельзя не отмѣтить сходство между канальовыми лучами и α -лучами. α -лучи, излучаемые радиоактивными веществами, а, можетъ-быть, и нѣкоторыми другими, состоятъ изъ положительно заряженныхъ атомовъ гелія, несущихся съ весьма большой скоростью (около 10^9 $\frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ или около $\frac{1}{10}$ скорости свѣта) ²⁾. Такъ какъ

канальовые лучи отчасти состоятъ изъ положительно заряженныхъ частицъ и скорость ихъ, хотя и меньше, чѣмъ у α -лучей, но все же весьма велика, то является вопросъ, не обладаютъ ли какъ одни, такъ и другіе лучи какими-либо общими свойствами. Опытъ вполне подтвердилъ такое предположеніе.

Падая на фосфоресцирующій экранъ, α -лучи заставляютъ его свѣтиться, причемъ каждая частица вызываетъ особую искорку на экранѣ; на этомъ свойствѣ основанъ сцинтилляціонный способъ счета α -частицъ. Совершенно такое же явленіе наблюдали фонъ-Дехендъ и Гаммеръ для частицъ канальовыхъ лучей.

α -лучи, проходя черезъ какой-либо газъ, не за-

¹⁾ J. Stark. и G. Wendt. An. Phys. 38 p. 921, 1912.

²⁾ Болѣе подробныя свѣдѣнія объ альфа-лучахъ читатель найдетъ въ статьѣ Э. Рѣтсерфорда. Новыя идеи въ физ. Сборникъ I.

ставляютъ его свѣтиться по той, вѣроятно, причинѣ, что α -частицы столь быстро пролетаютъ мимо молекулъ газа, что не успѣваютъ возбудить въ нихъ колебанія, достаточныя для возникновенія лучеиспусканія. Съ другой стороны, если каналовые лучи образуются при большомъ давленіи и малой разности потенциаловъ, то-есть, если ихъ скорость сравнительно не велика, то яркость возбуждаемаго ими свѣченія довольно велика, но по мѣрѣ увеличенія разности потенциаловъ, то-есть скорости лучей, ихъ яркость все уменьшается, и, наконецъ, при тѣхъ скоростяхъ, при которыхъ Томсонъ производилъ свои наблюденія, то-есть около $2 \cdot 10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, лучи становятся невидимыми и только ихъ способность вызывать флюоресценцію возрастаетъ.

α -лучи, благодаря своей скорости и большой кинетической энергіи, въ состояніи пронизывать насквозь атомы и молекулы и продолжать свой путь, такъ что α -лучи способны, напримѣръ, проникать на нѣсколько сантиметровъ въ газъ, даже при атмосферномъ давленіи, и проходить черезъ тонкія пластинки различныхъ твердыхъ веществъ ¹⁾. Извѣстны опыты Рётсерфорда и Ройдса, пропускавшихъ α -лучи черезъ стеклянную пластинку, толщиною въ 0,01 мм., и изслѣдовавшихъ полученный такимъ образомъ газъ, оказавшійся гелиемъ. Первые попытки заставить пройти каналовые лучи черезъ тонкія пластинки были безуспѣшны: Кенигсбергеръ и Кучевскій нашли, что слой желатины въ 0,003 мм. вполне непрозраченъ для лучей. Положительный же результатъ былъ полученъ Гольдсмитомъ ²⁾. Онъ помѣщалъ за катодомъ пластинку

¹⁾ Аналогичными свойствами обладаютъ и катодные лучи.

²⁾ A. N. Goldsmith. Phys. Rev. 2 p. 16, 1913.

слюды толщиной въ 0,002 мм.; эта пластинка раздѣляла трубку на двѣ совершенно разобщенныя между собой камеры. Каналовые лучи падали на пластинку, проходили черезъ нее и попадали во вторую камеру, гдѣ газъ былъ по возможности выкачанъ; вторая камера была снабжена электродами и газъ, накопившійся въ ней, вслѣдствіе проникновенія частицъ, время отъ времени изслѣдовался спектроскопически. До начала разряда въ первой камерѣ, во второй былъ виденъ только слабый спектръ воздуха (отъ остатковъ невыкачаннаго воздуха). Если первая камера была наполнена водородомъ и къ ея электродамъ была приложена разность потенциаловъ въ 35000 вольтъ, то во второй камерѣ, черезъ 1½ часа послѣ начала разряда въ первой камерѣ, появлялся спектръ водорода; при напряженіи въ 25000 вольтъ первые слѣды водороднаго спектра появлялись только черезъ 2 часа; наконецъ, при 8000 вольтъ даже черезъ 5 ч. нельзя было замѣтить линій водорода. Зависимость между скоростью лучей и ихъ способностью къ проникновенію вполне очевидна. Подобный же результатъ дали каналовые лучи, когда они образовывались въ гелиѣ. Атомы же другихъ газовъ (кислорода, азота, аргона) оказались неспособными проникать черезъ слюдяную пластинку.

Изъ предыдущаго ясно, что каналовые лучи весьма сходны съ α -лучами, если только атомный вѣсъ частицъ достаточно малъ, а скорость достаточно велика.

§ 6. Различнаго рода положительные лучи.

Каналовые лучи, движущіеся отъ анода къ катоду, не являются единственными представителями положительныхъ лучей. Мы видѣли, что процессъ нейтрализаціи имѣетъ мѣсто и въ темномъ пространствѣ. Очевидно, что нѣкоторыя частицы могутъ не только нейтрализоваться, но даже пріобрѣсти отрицательный зарядъ. Въ этомъ случаѣ онѣ должны подѣйствию

электрическаго поля измѣнить свое направленіе и полетѣть къ аноду; причемъ нѣкоторыя изъ нихъ могутъ вновь зарядиться положительно. Нѣкоторыя изъ нейтральныхъ частицъ могутъ удариться объ катодъ и, отразившись, полетѣть обратно. Получается потокъ частицъ положительныхъ, нейтральныхъ и отрицательныхъ, движущихся отъ катода къ аноду, то-есть противоположно направленію движенія каналовыхъ лучей. Этотъ потокъ былъ изслѣдованъ Томсономъ и названъ возвратными лучами (retrograde rays). Онъ воспользовался тою же трубкой, что и для каналовыхъ лучей, но только измѣнилъ направленіе разряда въ трубкѣ. Возвратные лучи, образовавшіеся у катода (прежняго анода), проходили черезъ трубку анода (прежняго катода), отклонялись магнитнымъ и электростатическимъ полемъ и попадали на экранъ. Оказалось, что по составу эти лучи мало отличаются отъ каналовыхъ, но число отрицательныхъ частицъ въ нихъ естественно больше, чѣмъ въ каналовыхъ лучахъ.

Каналовые лучи образуются въ темномъ пространствѣ, гдѣ паденіе потенциала больше, чѣмъ въ какой-либо иной части трубки. Герке и Рейхенгеймъ ¹⁾ нашли, что присутствіе въ трубкѣ паровъ іода и фосфора уменьшаетъ катодное паденіе потенциала, но зато вызываетъ образованіе аноднаго паденія потенциала. При этомъ изъ анода выходитъ пучокъ яркихъ лучей, состоящій изъ положительныхъ частицъ того вещества, изъ котораго приготовленъ анодъ. Эти анодные лучи отклоняются магнитомъ, даютъ явленіе Доплера и вызываютъ флюоресценцію совершенно такъ же, какъ и каналовые лучи. Любопытно то,

¹⁾ E. Gehrcke и O. Reichenheim. An. Phys. 25 877, 1907. O. Reichenheim. An. Phys. 33 p. 747, 1910.

что анодные лучи по составу, вообще говоря, болѣе однородны, чѣмъ лучи каналовые. Можно, напримѣръ, получить анодные лучи, состоящiе исключительно изъ положительно заряженныхъ частицъ; въ спектрѣ же наблюдается явленiе Допплера въ чистомъ видѣ, то-есть видны однѣ только смѣщенные линiи безъ не смѣщенныхъ.

Остается упомянуть ¹⁾, что, если на катодъ падаютъ ультрафиолетовые лучи, то при нѣкоторыхъ условiяхъ изъ него выдѣляются положительно заряженные частицы и образуются фотоэлектрическiе каналовые лучи.

¹⁾ Н. Demer, An. Ph. 30 p. 137, 1909.

Сэръ Дж. Дж. Томсонъ.

Лучи положительнаго электричества ¹⁾.

Въ 1886 г. Гольдштейнъ замѣтилъ, что въ трубкѣ съ разрѣженнымъ газомъ и съ катодомъ, снабженнымъ отверстиями, электрической разрядъ не останавливается у катода: за катодомъ наблюдаются свѣтлые пучки, выходящiе изъ отверстiй, какъ показано на рис. 1.

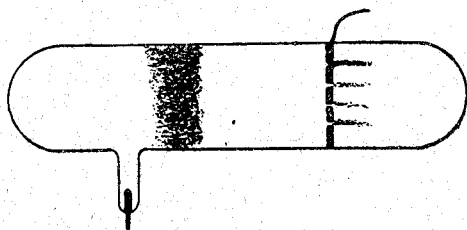


Рис. 1.

По мнѣнiю Гольдштейна, эти пучки обязаны своимъ происхожденiемъ лучамъ, проходящимъ черезъ отверстiя катода въ ту часть газа, которая находится за катодомъ; эти лучи, вслѣдствiе своей связи съ отверстiями (каналами) катода, были названы Гольдштейномъ *каналовыми лучами*. Цвѣтъ лучей за катодомъ

¹⁾ Sir I. I. Thomson. Bakarian Lecture. Rays of Positive Electricity. Proc. Roy. Soc. 89 p. 1 (1913).

зависитъ отъ газа, наполняющаго трубку: въ воздухѣ лучи желтаго цвѣта, въ водородѣ—розоваго; въ неонѣ явленіе весьма эффектно, и лучи обладаютъ великолѣпнымъ краснымъ цвѣтомъ. Лучи, встрѣчаясь со стѣнками трубки, заставляютъ фосфоресцировать стекло; они дѣйствуютъ также на фотографическую пластинку. Гольдштейнъ помѣщалъ вблизи трубки постоянный магнитъ, но онъ не могъ замѣтить какого-либо отклоненія каналовыхъ лучей. Однако, въ 1898 г. Винъ, пользуясь весьма сильными магнитными полями, отклонилъ лучи и показалъ, что эти лучи отчасти положительно заряжены; измѣряя электрическое и магнитное отклоненія, онъ указалъ, что массы частицъ, изъ которыхъ составлены лучи, сравнимы съ массой атомовъ водорода, и что онѣ болѣе, чѣмъ въ тысячу разъ, превосходятъ массу частицъ катодныхъ лучей. Составъ этихъ положительныхъ лучей значительно болѣе сложенъ, нежели составъ катодныхъ лучей, такъ какъ эти послѣдніе состоятъ изъ частицъ только одного рода, тогда какъ въ положительныхъ лучахъ встрѣчается нѣсколько различныхъ родовъ частицъ. Существуетъ, однако, методъ, посредствомъ котораго можно отдѣлить другъ отъ друга различныя частицы и опредѣлить ихъ характеръ и скорости.

Пусть пучокъ лучей движется параллельно оси X и встрѣчаетъ плоскость, перпендикулярную къ направленію лучей, въ точкѣ O ; если раньше, чѣмъ лучи встрѣтятъ плоскость, подвергнуть ихъ дѣйствію электрической силы, параллельной оси Y , то частицы будутъ отклонены вдоль оси Y и встрѣтятъ плоскость не въ O , а на разстояніи y отъ этой точки, причемъ эта величина y выражается чрезъ

$$y = \frac{e}{mc^2} A.$$

Здѣсь e есть зарядъ частицы, m —ея масса, v —ея скорость; величина A является постоянной и зависитъ отъ силы электрическаго поля и длины пути частицъ, но совершенно не зависитъ отъ e , m , v .

Если на частицу дѣйствуетъ магнитная сила, параллельная оси Y , то частица отклонится параллельно оси Z и встрѣтитъ плоскость на разстоянїи z отъ точки O , причемъ

$$z = \frac{e}{mv} B.$$

Величина B зависитъ отъ силы магнитнаго поля и длины пути частицы, но не зависитъ отъ e , m , w . Если же одновременно дѣйствуютъ, какъ электрическая, такъ и магнитная силы, то для величины отклоненїя частицы мы получимъ слѣдующїя выраженїя (точка O принята за начало координатъ):

$$x = 0; y = \frac{e}{mv^2} A; z = \frac{e}{mv} B (1)$$

Двѣ различныя частицы могутъ встрѣтить плоскость въ одной и той же точкѣ только въ томъ случаѣ, когда значенїя величинъ $\frac{e}{m}$ и v одинаковы для нихъ. Зная величины y и z , мы можемъ вычислить изъ ур-їй (1) какъ v , такъ и $\frac{e}{m}$, т.-е. можемъ опредѣлить скорость и характеръ частицъ, входящихъ въ составъ положительныхъ лучей.

Изъ уравненїй (1) можно вывести, что

$$z^2 = \frac{e}{m} y \frac{B^2}{A}; z = y \cdot v \frac{B}{A} (2)$$

Слѣдовательно, всѣ частицы съ однимъ и тѣмъ же

значением $\frac{e}{m}$ пересекают плоскость по параболѣ. За-
мѣнивъ плоскость фотографической пластинкой, можно
получить фотографію этой параболы. Каждый отдѣль-
ный родъ частицъ даетъ особую параболу, такъ что,
разсматривая фотографію, можно непосредственно опре-
дѣлить число различныхъ родовъ частицъ, изъ кото-
рыхъ состоятъ лучи; измѣряя параболы и пользуясь
ур-ями (2), можно найти соотвѣтствующія значенія ве-
личинъ $\frac{m}{e}$ и такимъ образомъ вполне проанализиро-
вать газъ, въ которомъ наблюдаются положительные
лучи. Для сравненія величины $\frac{e}{m}$ различныхъ параболъ
достаточно сравнить соотвѣтствующее значеніе z при
одномъ и томъ же y . Изъ ур-ія (2) видно, что величина
 $\frac{e}{m}$ пропорціональна квадрату z . Слѣдовательно, зная
величину $\frac{e}{m}$ для одной какой-либо параболы, безъ тру-
да найдемъ значенія $\frac{e}{m}$ и для всѣхъ другихъ пара-
болъ. Парабола атома водорода фактически наблю-
дается на всѣхъ фотографіяхъ и легко узнается, такъ
какъ она является наиболѣе отклоненной изъ всѣхъ
параболъ. Итакъ, легко опредѣлить значенія $\frac{e}{m}$ для
всѣхъ другихъ частицъ. На рис. 2 и 3 (табл. I) даны
фотографіи положительныхъ лучей, послѣ того, какъ
они были отклонены электрическимъ и магнитнымъ
полями. На рис. 4 изображенъ приборъ, которымъ я
пользовался для фотографирования лучей.

Разрядъ производился въ шаровидномъ сосудѣ А,
емкостью въ 1—2 литра, катодъ С помѣщался въ гор-
лышкѣ сосуда. Яркость лучей и распредѣленіе ско-

ростей между частицами въ значительной мѣрѣ зависятъ отъ положенія передней части катода въ сосудѣ и отъ формы того мѣста, гдѣ сосудъ переходитъ въ

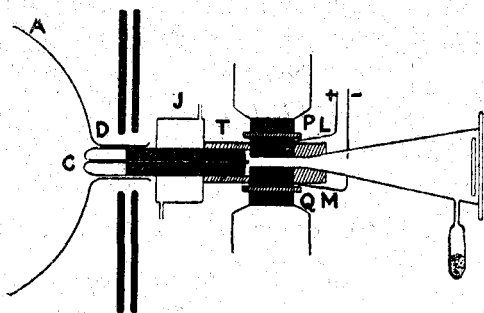


Рис. 4.

горлышко *D*. Если катодъ выдается внутрь сосуда, то при наибольшей яркости лучей давленіе газа, напол-

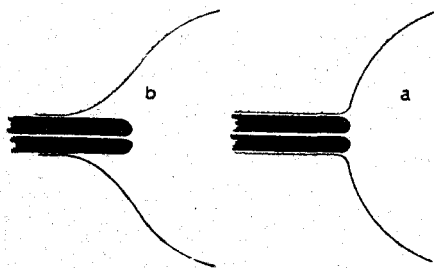


Рис 5.

няющаго сосудъ, должно быть чрезвычайно малымъ, что практически очень неудобно; то же самое наблюдается, когда сосудъ переходитъ въ горлышко постепенно, а не сразу, хотя бы при этомъ катодъ цѣликомъ находился внутри горлышка. Я нашелъ, что для полученія наилучшихъ результатовъ необходимо, чтобы переходъ отъ горлышка къ сосуду былъ какъ

можно болѣе рѣзкимъ, и чтобы передняя поверхность катода находилась какъ-разъ въ мѣстѣ соединенія горлышка съ сосудомъ, какъ показано на рис. 5а; расположеніе, изображенное на рис. 5b, даетъ худшіе результаты.

На рис. 4 представлена форма катода, при которой получается наилучшій пучокъ лучей. Передняя часть катода состоитъ изъ алюминія, обточенного строго симметрично относительно оси; этотъ кусокъ, просверленный насквозь, соединенъ съ цилиндромъ изъ мягкаго желѣза, снабженнымъ также отверстіемъ; катодъ сдѣланъ изъ желѣза, съ цѣлью защитить лучи, проходящіе по отверстію, отъ дѣйствія магнитной силы. Къ желѣзному цилиндру придѣланъ маленькій ящичекъ, снабженный длинной и узкой трубкой, служащей каналомъ, черезъ который лучи входятъ въ закатодную часть. Эта трубка является важнѣйшей частью прибора; если получается недостаточно хорошій пучокъ лучей, то причина, вообще говоря, лежитъ въ неправильности этой трубки. Такъ какъ длина трубки весьма велика по сравненію съ ея діаметромъ (я пользовался обыкновенно трубками длиною въ 6 см., діаметромъ отъ 0,1 мм. до 0,5 мм.), то она должна быть совершенно прямой, чтобы лучи могли пройти безъ задержки. Кусокъ тонкой мѣдной трубки вытягивался до тѣхъ поръ, пока діаметръ ея не становился достаточно малымъ; затѣмъ отрѣзывался кусокъ нужной длины и прокатывался между двумя плоскими пластинками, пока оптическое изслѣдованіе не показывало, что пучокъ свѣта беспрепятственно проходитъ черезъ отверстіе трубки; никакой опытъ съ положительными лучами не можетъ удался, если только трубка не вполне прямая. Кромѣ того, лучи оказываютъ распыляющее дѣйствіе на металлъ трубки; при продолжительномъ дѣйствіи метал-

лическая пыль можетъ накопиться въ такомъ количествѣ, что трубка засоряется и лучи не въ состояніи пройти. Катодъ прикрѣпленъ къ стеклянному сосуду посредствомъ небольшого количества сургуча; соединеніе сдѣлано настолько плотно, что разрядная часть и закатодная часть могутъ сообщаться только черезъ трубку катода. Сургучъ, въ избѣжаніе нагрѣванія разрядомъ, окруженъ водянымъ охлажденіемъ *I*. Способы возбужденія электрическаго и магнитнаго полей указаны на рис. 4. Изъ эбонита приготовлена трубка такъ, какъ изображено на рисункѣ; *L* и *M*—два куска мягкаго желѣза съ совершенно плоскими поверхностями, параллельные между собой и соединенные съ батареей небольшихъ аккумуляторовъ; этимъ путемъ создается электрическое поле. *P* и *Q*—полюсы электромагнита, изолированные отъ *L* и *M* эбонитомъ; когда электромагнитъ приведенъ въ дѣйствіе, между *L* и *M* создается сильное магнитное поле; линіи магнитной силы параллельны линіямъ электрической силы; кромѣ того, электрическое и магнитное поле вполне совпадаютъ. Такъ былъ устроенъ приборъ для особаго изслѣдованія, для котораго необходимо было, чтобы концы обоихъ полей вполне точно совпадали; во многихъ случаяхъ, напр., для анализа газовъ, содержащихся въ трубкѣ, это условіе не является существеннымъ и вполне отвѣчаетъ цѣли болѣе простое приспособленіе, изображенное на рис. 6. Здѣсь эбонитъ удаленъ, электрическое поле получается между двумя параллельными металлическими пластинками *P*₁ и *P*₂, а магнитное поле образуется электромагнитомъ, полюса котораго расположены у двухъ противоположныхъ стѣнокъ трубки. Такое расположеніе, предложенное г. Астономъ ¹⁾, употреблялось при фотографированіи лучей. Между

1) *Aston. Phil. Mag.* 21, p. 227, 1911.

электромагнитомъ и разрядной трубкой были помѣщены пластинки мягкаго желѣза, съ цѣлью защитить разрядъ отъ дѣйствія магнитнаго поля.

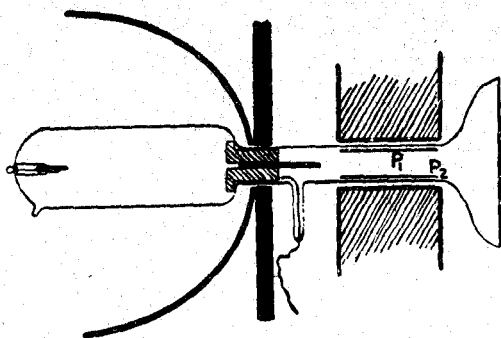


Рис. 6.

Въ закатодной части необходимо поддерживать весьма низкое давленіе, что достигается трубкой съ углемъ, охлаждаемой жидкимъ воздухомъ. Давленіе въ разрядной трубкѣ значительно выше.

На рис. 7 (табл. I) воспроизведена типическая фотографія, полученная съ описаннымъ приборомъ.

Нужно замѣтить, что, кромѣ параболическихъ линий, происхожденіе которыхъ было выше объяснено, наблюдается еще система линий, приблизительно прямыхъ. Эти прямыя линіи обязаны своимъ происхожденіемъ частицамъ, обладавшимъ зарядомъ не во все время своего прохожденія черезъ электрическое и магнитное поле и, слѣдовательно, менѣе отклоненнымъ, чѣмъ частицы, прошедшія все поле въ заряженномъ состояніи и образовавшія параболы. Нѣкоторыя частицы вступаютъ въ поле заряженными, но теряютъ свой зарядъ раньше, чѣмъ выйти изъ поля; другія же частицы входятъ незаряженными, но на своемъ пути внутри поля приобрѣтаютъ зарядъ. Различить эти два

рода частицъ можно слѣдующимъ образомъ. Пусть магнитное поле M (рис. 8) длиннѣе электрическаго

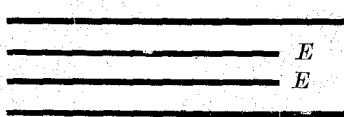
 M поля E , такъ что въ пространствѣ EM частицы подвержены магнитнымъ M силамъ, но не электрическимъ. Частица, бывшая незаряженной и при-

Рис. 8.

обрѣтающая зарядъ только въ пространствѣ EM , испытываетъ отклоненіе магнитное, но не электрическое; слѣдъ такихъ частицъ, получающихъ зарядъ, на фотографіи напоминаетъ рис. 9, *a*.

Разсмотримъ теперь заряженную частицу, теряющую свой зарядъ внутри поля. Вступая въ область, гдѣ дѣйствуетъ одно только магнитное отклоненіе, она

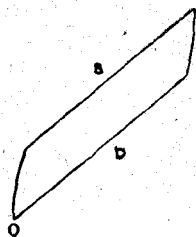


Рис. 9.

оказывается уже сильно отклоненной; слѣдовательно, одно только магнитное отклоненіе должно сказаться въ наиболѣе удаленной части линіи и, значитъ, линія на фотографіи будетъ имѣть видъ 9, *b*. Подобное явленіе показано на рис. 10 (табл. I).

Если давленіе въ закатодной части трубки не очень мало, то лишь немногія частицы могутъ пройти черезъ электростатическое и магнитное поля въ заряженномъ состояніи: параболы исчезнутъ, останутся только прямыя линіи вторичныхъ лучей.

Такъ какъ параболы опредѣляются отношеніемъ $\frac{e}{m}$, то атомы съ однимъ зарядомъ образуютъ такую же параболу, какъ и молекулы изъ двухъ атомовъ, но съ двойнымъ зарядомъ. Существуетъ, однако, способъ различать параболы частицъ съ однимъ зарядомъ

отъ параболъ частицъ съ нѣсколькими зарядами.

На фотографіяхъ наблюдаются не полныя параболы, а только части ихъ, начинающіяся на нѣкоторомъ опредѣленномъ разстояніи отъ вертикали, причемъ это разстояніе, согласно ур-ю (1) обратно пропорціонально максимальной кинетической энергіи частицъ. Эта максимальная кинетическая энергія приобрѣтается частицей, если она въ заряженномъ состояніи проходитъ въ разрядной трубкѣ все паденіе потенціала между анодомъ и катодомъ. Возьмемъ теперь частицу съ двойнымъ зарядомъ; въ разрядной трубкѣ она приобрѣтетъ кинетическую энергію вдвое большую, нежели частица съ однимъ зарядомъ. Нѣкоторыя изъ этихъ частицъ теряютъ одинъ изъ своихъ зарядовъ во время прохожденія черезъ длинную и узкую трубку катода и выйдутъ изъ нея съ однимъ только зарядомъ; но ихъ кинетическая энергія будетъ все-таки вдвое больше, чѣмъ у частицъ, все время обладавшихъ только однимъ зарядомъ. Пучокъ частицъ съ однимъ зарядомъ, выходящій изъ трубки катода, будетъ неоднороденъ, такъ какъ нѣкоторыя частицы будутъ обладать двойной кинетической энергіей; эти послѣдніе встрѣтятъ пластинку ближе къ вертикали, чѣмъ частицы съ меньшей кинетической энергіей; соотвѣтствующія дуги параболъ будутъ длиннѣе обычныхъ дугъ, образуемыхъ частицами съ однимъ зарядомъ ¹⁾. Какъ примѣръ, можетъ служить явленіе, изображенное на рис. 11 (табл. I). Здѣсь линія α (атомъ кисло-

¹⁾ Такимъ образомъ, если какая-либо парабола подходит къ вертикали въ n разъ ближе, чѣмъ обыкновенно, то это указываетъ, что должна существовать парабола, для которой $\frac{m}{e}$ въ n разъ меньше, т.-е. зарядъ соотвѣтствующихъ частицъ въ n разъ больше.

рода съ однимъ зарядомъ, для котораго $\frac{m}{e} = 16$) продолжается влѣво и подходитъ вдвое ближе къ вертикали, чѣмъ обычно. Линія β на томъ же рисункѣ даетъ $\frac{m}{e} = 8$, откуда мы заключаемъ, что она принадлежитъ атому кислорода съ двумя зарядами; если же кислородная линія α не была бы продолжена, то мы заключили бы, что линія β принадлежитъ частицамъ съ однимъ зарядомъ и атомнымъ вѣсомъ 8.

Если атомъ пріобрѣтаетъ болѣе двухъ зарядовъ, то соотвѣтствующая линія еще ближе придвигается къ вертикали. Такъ, на примѣръ, если атомы обладаютъ восемью зарядами, то разстояніе начала линіи отъ вертикали будетъ въ восемь разъ меньше нормальнаго. На рис. 12 (табл. II) линія α принадлежитъ атомамъ ртути съ однимъ зарядомъ; она приближается къ вертикали на $\frac{1}{8}$ нормальнаго разстоянія; теорія подтверждается тѣмъ, что на фотографіи замѣтны линіи β , γ , δ ..., соотвѣтствующія атомамъ ртути съ 2, 3, 4, 5, 6, 7 зарядами. Линія, соотвѣтствующая восьми зарядамъ, не была замѣчена, но съ увеличеніемъ количества зарядовъ интенсивность линій убываетъ, и позволительно думать, что при помощи болѣе чувствительнаго прибора можно будетъ открыть линію атомовъ съ восемью зарядами.

Описанный способъ различенія частицъ съ однимъ и съ нѣсколькими зарядами приводитъ къ слѣдующей классификаціи частицъ, образующихъ параболы на фотографической пластинкѣ:

1. Атомы съ однимъ положительнымъ зарядомъ.
2. Молекулы съ однимъ положительнымъ зарядомъ.
3. Атомы съ нѣсколькими положительными зарядами.
4. Атомы съ отрицательнымъ зарядомъ.

5. Молекулы съ отрицательнымъ зарядомъ.

Для того, чтобы молекула зарядилась, достаточно, чтобы отъ нея отдѣлилась одна корпёсль ¹⁾; для образованія же заряженнаго атома необходимо, чтобы молекула диссоциировалась, а образовавшіеся атомы приобрѣли зарядъ. Въ виду такого различія естественно спросить, одинаковъ ли механизмъ приобрѣтенія заряда какъ для молекулы, такъ и для атома. Мнѣ кажется совершенно очевиднымъ, что заряженные атомы и заряженныя молекулы образуются различными способами. Часто наблюдаются характерныя особенности въ нѣкоторыхъ параболахъ, на примѣръ, внезапныя измѣненія интенсивности. Такъ, на рис. 13 и 13А (табл. I) многія линіи внезапно расширяются въ точкахъ, лежащихъ на одной вертикали, т.-е. частицы, соотвѣтствующія расширеніямъ, обладаютъ одной и той же кинетической энергіей. Это показываетъ, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ разрядной трубки такія частицы образуются въ аномально большомъ количествѣ. Такое явленіе, однако, наблюдается только на нѣкоторыхъ параболахъ, тогда какъ ширина другихъ приблизительно равномерна. Равномерныя параболы, какъ показываютъ измѣренія, принадлежатъ атомамъ, параболы же съ расширеніями образуются молекулами. Такимъ образомъ, въ темномъ Круксовомъ пространствѣ существуютъ такія мѣста, гдѣ образованіе заряженныхъ молекулъ подвержено значительнымъ измѣненіямъ, тогда какъ количество образующихся заряженныхъ атомовъ не измѣняется. Это доказываетъ, я думаю, что оба рода частицъ образуются различными способами.

Другимъ доводомъ въ пользу вышесказаннаго мо-

¹⁾ Сэръ Дж. Томсонъ обозначаетъ электроны терминомъ „корпёсль“.

жетъ служить значительное измѣненіе относительной интенсивности атомныхъ и молекулярныхъ линій одного и того же элемента при незначительномъ измѣненіи условій въ разрядной трубкѣ. Я ограничусь линіями атомовъ и молекулъ водорода. Измѣняя положеніе катода въ шейкѣ разрядной трубки, мы можемъ атомную линію сдѣлать болѣе или менѣе интенсивною по сравненію съ линією молекулы. Такъ, если катодъ находится цѣликомъ внутри шейки, то атомная линія сильнѣе молекулярной; если же выдвинуть катодъ внутрь разрядной трубки, то становится сильнѣе молекулярная линія. Примѣръ такого различія линій обнаруживается на рис. 14 и 15 (табл. I). Измѣненіе положенія катода влечетъ за собой измѣненіе давленія газа, такъ какъ при положеніи катода внутри шейки лучи хорошо развиваются только при бѣльшемъ давленіи; повидимому, уменьшеніе давленія болѣе благоприятствуетъ образованію заряженныхъ молекулъ, чѣмъ заряженныхъ атомовъ.

Въ разрядной трубкѣ имѣются катодные лучи, положительно заряженные атомы и молекулы, а также лучи, аналогичные мягкимъ лучамъ Рентгена; всѣ эти лучи, какъ извѣстно, проходя черезъ газъ, ионизируютъ его. Изъ моихъ наблюденій надъ свойствами положительныхъ лучей можно заключить, что частицы катодныхъ лучей вызываютъ образованіе положительно заряженныхъ молекулъ, а движущіяся положительныя частицы вызываютъ образованіе положительно заряженныхъ атомовъ. Я не хочу этимъ сказать, что дѣйствіе катодной частицы ни при какихъ условіяхъ не можетъ образовать положительно заряженный атомъ; это, вѣроятно, имѣетъ мѣсто, когда молекула, подъ дѣйствіемъ катодной частицы, теряетъ корпёсль, соединяющую оба атома молекулы между собой. Однако, этимъ способомъ разрушается значительно меньше молекулъ, чѣмъ отъ дѣйствія положительныхъ лучей, такъ что,

если бы единственнымъ источникомъ іонизаціи были только катодные лучи, то число заряженныхъ атомовъ было бы значительно меньше числа заряженныхъ молекулъ. Это, однако, не наблюдается, и мы должны допустить, что движущіея положительно заряженные атомы и молекулы могутъ также вызывать диссоціацію, вслѣдствіе которой образуются положительно заряженные атомы, входящіе въ составъ положительныхъ лучей.

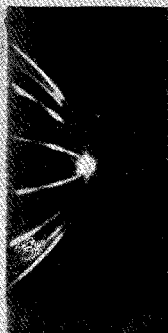
Я перейду теперь къ разсмотрѣнію другого весьма интереснаго типа положительныхъ лучей, а именно атомовъ съ нѣсколькими зарядами. Я говорю объ атомахъ, такъ какъ существованіе въ положительныхъ лучахъ многократно заряженныхъ молекулъ сомнительно. Многократный зарядъ узнается по тому, что линія частицъ съ однимъ зарядомъ ненормально близко подходитъ къ вертикали. Я наблюдалъ только въ одномъ случаѣ такое приближеніе къ вертикали въ линіи, соответствующей молекулѣ. Этотъ случай представляетъ линія, соответствующая $\frac{m}{e} = 28$, т. е. молекула азота или окиси углерода. Можно, однако, сомнѣваться въ томъ, что это соответствуетъ молекулярной линіи, такъ какъ для атома алюминія $\frac{m}{e} = 27,3$ и нѣкоторое количество атомовъ алюминія могло перейти съ катода въ разрядную трубку; итакъ, приближеніе къ вертикали можно приписать скорѣе атомной линіи алюминія, чѣмъ молекулярной линіи азота.

Незначительность количества молекулъ съ двумя зарядами указываетъ, повидимому, на то, что столкновеніе, при которомъ образуется двойной зарядъ, настолько сильно, что молекулы диссоціируются въ атомы. Равномѣрная же ширина параболъ многократно заряженныхъ атомовъ доказываетъ, что свой много-

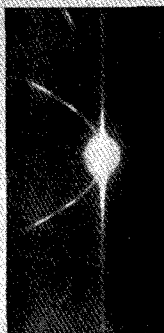
кратный зарядъ атомы приобрѣтаютъ сразу, а не посредствомъ нѣскольکو разъ повторяющейся іонизаціи на пути къ катоду.

Валентность атомовъ или какія-либо иныя химическія свойства, повидимому, не вліяютъ на появленіе многократныхъ зарядовъ. Изъ всѣхъ изученныхъ мною элементовъ, только водородъ и газъ X_3 никогда не появлялись съ двойнымъ зарядомъ. Элементы, химически столь различные, какъ углеродъ, азотъ, кислородъ, хлоръ, гелій, неонъ, новый газъ съ атомнымъ вѣсомъ 22, аргонъ, криптонъ, ртуть—всѣ даютъ многократно заряженные атомы. Если бы на это явленіе вліяли какіе-либо химическіе процессы, то въ инертныхъ газахъ не могли бы, я думаю, столь часто встрѣчаться многократно заряженные атомы.

Всѣ наблюденія приводятъ къ заключенію, что появленіе и величина многократнаго заряда зависитъ скорѣе отъ массы атома, чѣмъ отъ его валентности или химическихъ свойствъ. Такъ, на примѣръ, атомъ ртути, наиболѣе тяжелый изъ всѣхъ, наблюдавшихся мною, можетъ имѣть до восьми зарядовъ, криптонъ до пяти, аргонъ до трехъ, неонъ до двухъ и т. д. Нѣтъ сомнѣнія, что при появленіи многократнаго заряда іонизація происходитъ такъ, что атомъ сначала имѣетъ или одинъ зарядъ или же максимальное число зарядовъ; такъ, на примѣръ, при іонизаціи паровъ ртути, атомъ ртути обладаетъ сперва либо однимъ зарядомъ, либо восемью, а частицы, образующія параболы атомовъ съ пятью зарядами, имѣли сперва восемь зарядовъ, а затѣмъ потеряли изъ нихъ три во время прохожденія черезъ трубку катода. Интенсивность линій, образуемыхъ многократно заряженными атомами, въ значительной степени зависитъ отъ незначительныхъ, повидимому, измѣненій въ условіяхъ разряда: небольшое измѣненіе давленія или положенія катода можетъ



2.



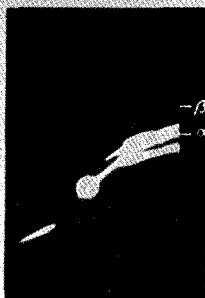
3.



7.



10.



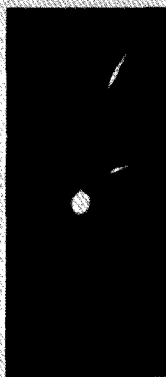
11.



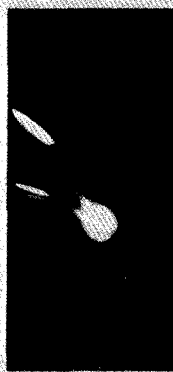
13.



13A.



14.



15.

сдѣлать различія между линиями весьма сильными или же почти незамѣтными.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнiю отрицательно заряженныхъ частицъ, встрѣчаемыхъ въ положительныхъ лучахъ. Онѣ обладаютъ приблизительно такой же энергiей, какъ и положительныя частицы; дѣйствительно въ разрядной трубкѣ онѣ заряжены положительно; пройдя катодъ, онѣ нейтрализуются, а затѣмъ, раньше, чѣмъ дойти до электрическаго или магнитнаго полей, онѣ заряжаются отрицательно, притягивая къ себѣ корпѣсли. Такъ какъ онѣ пролетаютъ мимо корпѣслей съ весьма большой скоростью, доходящей иногда до $2 \cdot 10^3 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, то, очевидно, притяженiе ими кор-

пѣслей должно быть весьма значительнымъ, иначе онѣ не могли бы ихъ присоединить къ себѣ и прочно удержать при такихъ условiяхъ. Способность частицы заряжаться отрицательно можетъ служить указаниемъ на силу электрическаго поля, окружающаго ее: если это электрическое поле слабое, т.-е. если химическiя сродства частицы насыщены, то она не будетъ въ состоянiи присоединить къ себѣ корпѣсли и зарядиться отрицательно; но она можетъ прiобрѣсти отрицательный зарядъ, если химическiя сродства ненасыщены и поле вокругъ частицы сильное.

Но мнѣ ни разу не удавалось наблюдать отрицательный зарядъ на молекулахъ сложнаго газа, и только въ двухъ, разобранныхъ ниже, случаяхъ я нашелъ отрицательный зарядъ на молекулахъ элементарнаго газа. Далѣе, существуютъ элементы, атомы которыхъ въ положительныхъ лучахъ никогда не наблюдались съ отрицательнымъ зарядомъ; сюда относятся: азотъ, гелiй, неонъ, аргонъ, криптонъ, пары ртути, тогда какъ въ водородѣ, углеродѣ, кислородѣ, сѣрѣ, хлорѣ встрѣчаются отрицательныя частицы. Параболы, соот-

вѣтствующія отрицательно заряженнымъ атомамъ, особенно сильны для кислорода; примѣромъ можетъ служить фотографія (рис. 11 табл. I), полученная при употребленіи трубки, наполненной чистымъ кислородомъ.

Какъ я уже упомянулъ, отрицательно заряженные молекулы элемента наблюдались въ двухъ случаяхъ, именно для кислорода и углерода. Отрицательныя молекулы кислорода встрѣчаются лишь изрѣдка, и условія ихъ появленія въ точности еще не установлены; вѣроятно, необходимымъ условіемъ является наличность нѣкоторыхъ кислородныхъ соединеній особаго типа въ разрядной трубкѣ; съ другой стороны, отрицательныя атомы кислорода наблюдаются всегда, когда кислородъ имѣется въ трубкѣ. Химическія свойства кислорода позволяютъ думать, что существуютъ такія соединенія кислорода, въ которыхъ два атома кислорода соединены такъ, что остаются ненасыщенныя сродства; къ числу такихъ соединеній относится, быть-можетъ, перекись водорода.

Условія появленія отрицательно наэлектризованныхъ молекулъ углерода были хорошо изучены и оказались весьма интересными. Эти молекулы не появляются въ болотномъ газѣ, окиси углерода, углекислотѣ, фосгенѣ и т. п., то-есть въ соединеніяхъ, содержащихъ только одинъ атомъ углерода. Съ другой стороны, онѣ встрѣчаются въ ацетиленѣ, этиленѣ, этанѣ и т. п. соединеніяхъ, въ которыхъ имѣются два атома углерода, связанныхъ между собой одной или нѣсколькими связями. Этотъ фактъ весьма любопытенъ съ химической точки зрѣнія, такъ какъ онъ показываетъ, что въ подобныхъ соединеніяхъ оба атома углерода соединяются настолько прочно, что связь не нарушается даже тогда, когда молекулы разрушаются разрядомъ; ясно также, что система изъ двухъ атомовъ углерода является далеко

не насыщенной, такъ какъ электрическое поле, окружающее ее, настолько сильно, что, несмотря на быстроту движенія, можетъ захватывать корпёсль. Въ парахъ бензола встрѣчаются отрицательно заряженныя триплеты атомовъ углерода, и я даже думалъ, что удастся найти отрицательный квартетъ.

Положительные лучи, какъ средство химическаго анализа.

Такъ какъ каждая парабола на фотографіяхъ указываетъ на присутствіе въ разрядной трубкѣ частицъ съ опредѣленнымъ отношеніемъ $\frac{m}{e}$, и такъ какъ посредствомъ описанныхъ выше методовъ можно опредѣлить, сколько элементарныхъ зарядовъ содержится въ величинѣ e , то, измѣряя параболы, можно опредѣлить массы всѣхъ частицъ, находящихся въ трубкѣ, и тѣмъ самымъ анализировать газъ, наполняющій трубку, разумѣется, въ предѣлахъ нашихъ свѣдѣній объ атомныхъ и молекулярныхъ вѣсахъ. Такимъ образомъ, фотографируя положительные лучи, можно всѣ элементы и соединенія, находящіеся въ трубкѣ, распределить по ихъ атомнымъ и молекулярнымъ вѣсамъ. Этотъ методъ обладаетъ нѣкоторыми преимуществами по сравненію съ спектральнымъ анализомъ, особенно для открытія новыхъ веществъ, такъ какъ, найдя новую линію, мы тотчасъ же можемъ опредѣлить атомный или молекулярный вѣсъ соответствующихъ частицъ. Спектральный анализъ былъ бы значительно болѣе удобнымъ и дѣйствительнымъ, если бы мы, зная длину волны какой-либо линіи спектра, могли бы опредѣлить атомный вѣсъ соответствующаго элемента; именно къ этому-то и приводитъ методъ положительныхъ лучей.

Далѣе, при спектральномъ анализѣ во многихъ случаяхъ весьма важна степень чистоты газа, такъ какъ примѣси иногда оказываютъ значительное вліяніе на спектръ; для метода же положительныхъ лучей это обстоятельство является, вообще говоря, несущественнымъ, такъ какъ присутствіе постороннихъ газовъ играетъ лишь незначительную роль.

Что касается чувствительности метода положительныхъ лучей, то я еще не пробовалъ выработать типъ трубокъ, дающій наибольшую чувствительность, но съ трубками, которыми я пользуюсь въ настоящее время, можно легко обнаружить присутствіе количества гелія, содержащагося въ кубическомъ сантиметрѣ воздуха, даже, когда онъ смѣшанъ съ другими газами; я не имѣю ни малѣйшаго сомнѣнія въ томъ, что достигнуть большей чувствительности можно безъ особаго труда.

Я хочу привести нѣсколько примѣровъ примѣненія изложеннаго метода. Можно, на примѣръ, обнаружить въ атмосферѣ рѣдкіе газы. Сэръ Джемсъ Дьюаръ любезно предоставилъ мнѣ нѣкоторое количество газа, полученнаго въ качествѣ остатка при испареніи жидкаго воздуха. Первая порція, благодаря соотвѣтственной обработкѣ, содержала болѣе тяжелые газы. На фотографіи (рис. 17, табл. II) замѣтны линіи ксенона, криптона, аргона и слабая линія неона; никакихъ новыхъ линій на фотографіи нѣтъ, и мы можемъ заключить, что въ атмосферѣ не содержится никакихъ тяжелыхъ газовъ, количество которыхъ было бы сравнимо съ количествомъ ксенона. Вторая порція, полученная отъ сэра Джемса Дьюара, состояла изъ болѣе легкихъ газовъ. На фотографіи (рис. 18, табл. II), кромѣ линій гелія неона, замѣтна еще линія, соотвѣтствующая газу съ атомнымъ вѣсомъ 22. Этотъ газъ былъ найденъ во всѣхъ изслѣдованныхъ порціяхъ неона, въ томъ числѣ и въ порціи, весьма тщательно приготовленной

и очищенной г. Э. О. Уатсономъ и въ порціи, любезно предоставленной г. Клодомъ изъ Парижа. Фотографія (рис. 19, табл. III) этой порціи замѣчательна тѣмъ, что на ней, кромѣ названной линіи и линіи гелія, замѣтна еще линія, соотвѣтствующая атомному вѣсу 3, о которой подробно будетъ сказано ниже. Вещество, дающее линію 22, встрѣчается также съ двойнымъ зарядомъ (линія, для которой $\frac{m}{e} = 11$). Едва ли можно сомнѣваться, что газъ, называемый неономъ, въ дѣйствительности состоитъ изъ двухъ газовъ, причемъ атомный вѣсъ одного около 20, а другого—около 22. Парабола болѣе тяжелаго газа всегда значительно слабѣе параболы болѣе легкаго газа, такъ что тяжелый газъ, повидимому, является лишь незначительной примѣсью болѣе легкаго.

Другимъ примѣненіемъ метода было изслѣдованіе газа, содержащагося внутри небольшой стеклянной трубки, въ которой въ теченіе болѣе десяти лѣтъ сохранялось 30 mgr. бромистаго радія. Фотографія показываетъ, что, кромѣ гелія, трубочка содержала значительное количество неона, или газа, съ тѣмъ же, приблизительно, атомнымъ вѣсомъ, нѣкоторое количество упомянутаго выше газа, съ атомнымъ вѣсомъ 3, и слѣды аргона; этого послѣдняго было нѣсколько больше, чѣмъ я могъ ожидать по сравненію съ объемомъ воздуха, заключеннаго въ трубочкѣ, но разница была не велика. Фотографія дана на рис. 20, табл. III.

Послѣднимъ примѣненіемъ метода, о которомъ я хочу сообщить, является изслѣдованіе газа, для котораго $\frac{m}{e} = 3$. Удобнѣе всего добывать этотъ газъ, заставляя катодные лучи бомбардировать твердыя тѣла. Для этой цѣли служило расположеніе приборовъ, изображенное на рис. 21. Сосудъ А посредствомъ

трубки сообщается съ шарообразнымъ сосудомъ *B*, въ которомъ получались положительные лучи. Трубка снабжена краномъ, позволяющимъ прерывать сообще-
 ніе между обоими сосудами. Сосудъ *A* снабженъ
 вогнутымъ катодомъ, подобно рентгеновскимъ труб-
 камъ, такъ что катодные лучи собираются въ фокусъ
 на пластинкѣ, на которой помѣщается вещество, под-
 вергаемое дѣйствию катодныхъ лучей. Послѣ того,

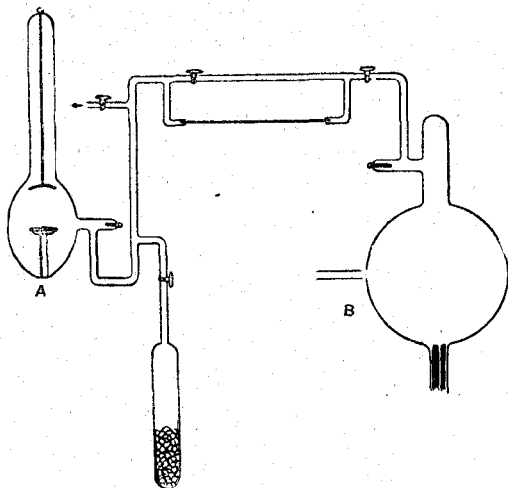


Рис. 21.

какъ изслѣдуемое вещество было положено на пла-
 стинку, кранъ между *A* и *B* устанавливался
 такъ, что оба сосуда не сообщались; изъ *A* выка-
 чивался воздухъ до тѣхъ поръ, пока давленіе не ста-
 новилось настолько низкимъ, что могли образовываться
 катодные лучи; въ сосудѣ *A* возбуждались катодные
 лучи, которые и бомбардировали помѣщенное въ немъ
 вещество. Черезъ весьма короткій промежутокъ
 времени изъ вещества выдѣлялось столько газовъ,

особенно углекислоты и водорода, что катодные лучи вследствие повысившагося давления не могли болѣе образовываться. Для пониженія давления съ сосудомъ *A* была сообщена трубка, наполненная углемъ и охлаждаемая жидкимъ воздухомъ; уголь поглощалъ газы, выдѣленные при началѣ бомбардировки; когда первая порція выдѣленнаго газа была поглощена, трубка съ углемъ отдѣлялась отъ *A* краномъ.

Для анализа выдѣленныхъ веществомъ газовъ, производилось предварительно фотографированіе въ то время, когда кранъ между *A* и *B* былъ закрытъ. Послѣ того, какъ фотографированіе было окончено и бомбардировка происходила въ теченіе нѣкотораго времени (до нѣсколькихъ часовъ), кранъ поворачивался и изъ *A* впускалось немного газа въ *B*, положительные лучи вновь фотографировались; линіи, оказавшіяся только на второй фотографіи, соответствовали, очевидно, газамъ, выдѣленнымъ при бомбардировкѣ. Исслѣдованы были: платина, свинецъ (отъ обоихъ металловъ имѣлись какъ старые куски, такъ и химически-чистые, полученные отъ Кальбаума), золото, серебро, мѣдь, желѣзо, никкель, окись никкеля, цинкъ, алюминій, магній, уранъ, палладій, графитъ, кальцій-карбидъ, алмазная пыль, слюда, хлористый литій, поташъ, іодистый кали, хлористый кали, плавиковый шпатель, два куска метеоритовъ, моназитовый песокъ, вулканическая пыль. За исключеніемъ двухъ послѣднихъ веществъ, при бомбардировкѣ катодными лучами всегда выдѣлялся газъ съ атомнымъ вѣсомъ 3. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ соответствующая парабола была весьма интенсивна, какъ, на примѣръ, на фотографіи рис. 22, табл. III, полученной съ газами, выдѣленными платиной (линія X_3 —третья сверху); изъ всѣхъ изслѣдованныхъ веществъ наиболѣе сильную линію, соответствующую газу съ атомнымъ вѣсомъ 3, который

я въ дальнѣйшемъ буду обозначать черезъ X_3 , давали платина, хлористый литій и поташъ. Выдѣленіе этого газа не прекращается даже тогда, когда бомбардировка длится нѣсколько часовъ; но во всѣхъ случаяхъ, какъ я нашелъ, этотъ газъ перестаетъ выдѣляться, если бомбардировка продолжается нѣсколько дней (въ теченіе рабочихъ часовъ): металлъ доходитъ до такого состоянія, что при дальнѣйшей бомбардировкѣ выдѣленіе X_3 прекращается. Предварительное нагрѣваніе металла до высокой температуры не уменьшаетъ значительно количество газа, выдѣляемаго дѣйствіемъ катодныхъ лучей; однако, мѣдная сѣтка изъ весьма тонкой проволоки, нагрѣваемая въ пустотѣ до краснаго каленія въ кварцевой трубкѣ въ теченіе приблизительно 40 часовъ, была доведена до такого состоянія, что перестала выдѣлять X_3 подѣ дѣйствіемъ бомбардировки.

При бомбардировкѣ твердыхъ тѣлъ катодными лучами въ нѣкоторыхъ случаяхъ, кромѣ X_3 , выдѣлялся гелій, а иногда и неонъ, или газъ съ тѣмъ же, приблизительно, атомнымъ вѣсомъ. Почти всѣ изслѣдованныя вещества выдѣляли гелія достаточно, чтобы можно было открыть его присутствіе методомъ положительныхъ лучей. Однако, послѣ предварительной бомбардировки выдѣленіе гелія прекращалось, вообще говоря, значительно ранѣе, нежели выдѣленіе X_3 . Въ этомъ нѣтъ ничего удивительнаго, такъ какъ во многихъ случаяхъ количество X_3 значительно превышаетъ количество гелія. Въ такихъ минералахъ, какъ торіанитъ, моназитъ, два изслѣдованныхъ мною метеорита, въ вулканической пыли, гелій находится въ избыткѣ, въ моназитѣ и торіанитѣ гелія гораздо болѣе, чѣмъ X_3 . Этотъ методъ весьма удобенъ для анализа газовъ, содержащихся въ минералахъ. Замѣчу, кстати, что небольшое количество гелія часто встрѣчается въ дру-

гихъ газахъ въ видѣ примѣси. Я нашелъ какъ гелій, такъ и X_3 въ кислородѣ, взятомъ изъ бомбы. Я не хочу, однако, этимъ сказать, что такой кислородъ всегда содержитъ гелій.

Что касается газовъ, выдѣляемыхъ при бомбардировкѣ, то можно предположить, что они уже имѣются въ бомбардируемомъ тѣлѣ, а не образуются подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей; подтвержденіемъ этого можетъ служить то, что выдѣленіе газа прекращается послѣ продолжительной бомбардировки и что тонкая мѣдная проволока продолжительнымъ нагреваніемъ можетъ быть доведена до того, что газъ перестаетъ выдѣляться. Является вопросъ: поглощаютъ ли тѣла эти газы подобно тому, какъ вода поглощаетъ воздухъ, или же эти газы входятъ въ составъ атомовъ и молекулъ, диссоціируемыхъ катодными лучами. Эти газы удивительно прочно удерживаются металлами: единственный случай, когда я могъ избавиться отъ нихъ, имѣлъ мѣсто при нагреваніи до-красна тонкой мѣдной проволоки въ теченіе недѣли. Я нагреваль въ пустотѣ свинець до тѣхъ поръ, пока двѣ трети его не выкипѣли, и все-таки остатокъ подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей выдѣлилъ нѣкоторое количество гелія и X_3 . Я изслѣдовалъ газы, выдѣленные свинцомъ при нагреваніи, и нашелъ въ нихъ слѣды X_3 , а также гелія, однако, въ количествѣ, несравненно меньшемъ, чѣмъ при дѣйствіи катодныхъ лучей.

Если газы поглощаются твердыми тѣлами, то, казалось бы, растворяя тѣло въ водѣ или кислотѣ и выпаривая растворъ до-суха, можно было бы освободиться отъ этихъ газовъ; однако, въ нѣкоторыхъ случаяхъ такая обработка тѣла не уменьшала количество выдѣленныхъ катодными лучами газовъ. Хорошимъ примѣромъ можетъ служить хлористый литій:

послѣ того, какъ онъ подѣ дѣйствиемъ катодныхъ лучей выдѣлялъ гелій и X_3 , онъ былъ растворенъ въ водѣ и растворъ выпаренъ; свѣжій остатокъ выдѣлялъ вновь гелій и X_3 столь же обильно, какъ и до растворенія, а линія гелія, казалось, даже усилилась. Этотъ процессъ былъ повторенъ девять разъ безъ замѣтнаго уменьшенія количества выдѣляемыхъ газовъ. Подобный же результатъ былъ полученъ при замѣнѣ хлористаго литія ѣдкимъ кали и воды алкоголемъ. Кажется невѣроятнымъ, чтобы газъ, абсорбированный тѣломъ или заключенный въ немъ, могъ противостоятъ такой обработкѣ, которая, однако, не была бы въ состоянни удалить растворимую часть газовъ. Такая стойкость при раствореннн наводитъ на мысль, что газъ находится въ состояннн химическаго соединенія, а не абсорбированъ въ обычномъ смыслѣ этого слова. X_3 , какъ будетъ показано ниже, способенъ входить въ химическія соединенія, и подобныя соединенія, надо полагать, могутъ содержаться въ твердомъ тѣлѣ. Такъ какъ хлористый литій послѣ растворенія выдѣляетъ не только X_3 , но и гелій, то, допуская, что при раствореннн и послѣдующемъ выпариваннн, нѣкоторая часть гелія выдѣляется въ свободномъ состояннн, необходимо предположить, что или хлористый литій подѣ вліаннмъ катодныхъ лучей образуетъ гелій, или же существуютъ соединенія, настолько прочныя, что для нихъ растворенія не сопровождаются диссоціаціей.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, но, какъ мы уже видѣли, не во всѣхъ, раствореніе переводитъ металлъ въ такое состояннн, что онъ не выдѣляетъ ни гелія, ни X_3 при бомбардировкѣ катодными лучами. Такъ, газы не выдѣляются изъ свинца, только-что отложившагося въ видѣ „свинцоваго дерева“ ¹⁾ далѣе, желѣзо перестаетъ

¹⁾ При электролизѣ растворовъ, содержащихъ соли свинца,

выдѣлять газы послѣ растворенія и осажденія изъ раствора. Платина, послѣ того какъ была пять разъ растворена въ кислотѣ, а затѣмъ переведена въ губчатое состоянiе, хотя и не перестала выдѣлять газы при бомбардировкѣ, но количество ихъ было значительно меньше, чѣмъ раньше. Всѣ эти различныя влiянiя растворенiя на различные металлы могутъ быть легко поняты, если допустить, что газы образуютъ съ разными металлами соединенiя съ различными свойствами.

Хотя наибольшее количество X_3 получается при бомбардировкѣ катодными лучами, однако, существуетъ другой способъ полученiя этого газа. Такъ, при разрядѣ въ эвакуированной трубкѣ съ катодомъ Венельта ¹⁾ образуется, какъ X_3 , такъ и гелiй. Я наблюдалъ также соотвѣтствующую линiю на фотографической пластинкѣ во многихъ случаяхъ, задолго до того, какъ я перешелъ къ методу бомбардировки; появленiе этой линiи, однако, было совершенно случайнымъ, и хотя мною было изслѣдовано значительное количество газовъ, я до тѣхъ поръ не могъ получать эту линiю по своему желанiю, пока послѣ продолжительныхъ опытовъ не перешелъ къ методу бомбардировки твердыхъ тѣлъ катодными лучами.

Я опишу теперь опыты, произведенные съ цѣлью выяснитъ природу вещества X_3 .

Наиболѣе естественнымъ было бы предположенiе, что X_3 состоитъ изъ атомовъ углерода съ четырьмя зарядами. Отъ этого, однако, приходится отказаться

этотъ послѣднiй иногда отлагается въ видѣ вѣточекъ и иглъ, называемыхъ „свинцовымъ деревомъ“.

Прим. пер.

¹⁾ Катодъ Венельта состоитъ изъ окисей щелочно-земельныхъ металловъ; если такой катодъ накаленъ, то разрядъ въ трубкѣ происходитъ при значительно меньшей разности потенциаловъ, чѣмъ обыкновенно.

Прим. пер.

по слѣдующимъ соображеніямъ. Мы видѣли, что присутствіе многократно заряженныхъ атомовъ влечетъ за собой увеличеніе длины линіи, соответствующей атому съ однимъ зарядомъ; если атомъ обладаетъ четырьмя зарядами, то первичная линія должна быть продолжена до одной четверти нормального разстоянія отъ вертикали. Но я никогда не замѣчалъ, чтобы линія атома углерода была продолжена болѣе, чѣмъ на половину нормального разстоянія, что соответствуетъ атому съ двойнымъ зарядомъ; линія такого атома часто замѣчалась на пластинкахъ, но была всегда слабѣе первичной линіи. Далѣе на многихъ пластинкахъ, гдѣ линія X_3 весьма сильна, линія углероднаго атома не имѣетъ продолженія, а линія атома съ двойнымъ зарядомъ отсутствуетъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ линія X_3 сильнѣе первичной углеродной линіи и всегда сильнѣе (если только газъ получается при бомбардировкѣ) линіи атома углерода съ двойнымъ зарядомъ. Это соображеніе физическаго характера; можно, однако, прійти къ тому же заключенію, если стать на химическую точку зрѣнія. Газъ X_3 можетъ быть сохраняемъ и испытываемъ много недѣль послѣ того, какъ бомбардировка имѣла мѣсто. Если соответствующая линія принадлежитъ атому углерода съ четырьмя зарядами, то должно существовать такое углеродное соединеніе, которое, введенное въ разрядную трубку, дало бы значительное количество атомовъ углерода съ четырьмя зарядами. Тѣмъ не менѣе, я не могъ открыть даже и слѣда линіи X_3 , когда я вводилъ въ трубку всѣ доступныя мнѣ газообразныя соединенія углерода, а именно: болотный газъ, углекислота, окись углерода, четырехъ-хлористый углеродъ, фолень, сѣроуглеродъ, синеродъ, ацетиленъ, этиленъ, этанъ, пары различныхъ алкоголей и эфира, бензинъ, свѣтильный газъ.

Далѣе, на X_3 не дѣйствуютъ нагрѣтая окись мѣди и поташъ, которые должны были бы устранить углеродныя соединенія. По этимъ причинамъ, я думаю, приходится отказаться отъ мысли, что X_3 обязанъ своимъ происхожденіемъ углероду.

Если X_3 не является ни новымъ элементомъ, ни атомами углерода съ четырьмя зарядами, то необходимо допустить, что онъ представляетъ собою трехатомный водородъ. Съ физической точки зрѣнія, можно многое сказать въ пользу такого предположенія; такъ, на примѣръ, когда во время бомбардировки обильно образуется X_3 , то одновременно всегда выдѣляется значительное количество водорода; можно, однако, получить значительныя количества водорода и безъ X_3 . Но химическія свойства X_3 совершенно не сходны со свойствами водорода, такъ что, если X_3 и образуется изъ водорода, то взаимное отношеніе этихъ двухъ газовъ должно быть инымъ, чѣмъ у кислорода и озона. Опытами были установлены слѣдующія свойства X_3 :

Этотъ газъ можетъ быть въ теченіе нѣсколькихъ недѣль сохраняемъ надъ ртутью; однако, съ теченіемъ времени его количество уменьшается.

Нагрѣваніе въ кварцевой трубкѣ въ продолженіе нѣсколькихъ часовъ не измѣняетъ его замѣтнымъ образомъ, хотя бы кварцъ былъ нагрѣтъ до-красна.

X_3 не разрушается, если пропускаютъ искру черезъ смѣсь его съ кислородомъ или фосфоромъ.

X_3 , проходя надъ нагрѣтымъ металлическимъ натріемъ, не взаимодействуетъ съ нимъ; точно также, при нагрѣваніи онъ не соединяется съ парами натрія.

X_3 не поддается дѣйствию нагрѣтой до-красна мѣди и поташа. Этотъ опытъ былъ повторенъ семь разъ: въ двухъ случаяхъ наблюдалось замѣтное уменьшеніе количества X_3 ; въ остальныхъ случаяхъ—нѣтъ. Оба

исключительныхъ случая, я склоненъ думать, надо приписать возстановленію нѣкотораго количества мѣди, такъ какъ X_3 способенъ соединяться съ нагрѣтой мѣдью. На рис. 23 (3), табл. III, дана фотографія газа, прошедшаго надъ нагрѣтой окисью мѣди; фотографія 23 (2) и (4) получена съ тѣмъ же газомъ, но до прохождения надъ мѣдью, фотографія 23 (1) получена до впуска газа: на этой послѣдней фотографіи нѣтъ 3-ей линіи (гелія), которая должна была находиться какъ-разъ подъ сильной линіей наверху (молекулы водорода).

X_3 можетъ стоять надъ поташемъ нѣсколько дней и не поглощается при этомъ.

Всѣ эти свойства позволяютъ причислить X_3 къ веществамъ недѣятельнымъ, между тѣмъ какъ у аллотропическаго видоизмѣненія водорода мы могли бы ожидать иныхъ свойствъ. Я нашелъ, однако, два случая, когда X_3 способенъ входить въ соединенія:

1) Онъ соединяется съ парами ртути, если посылать разрядъ черезъ эту смѣсь.

2) Онъ до нѣкоторой степени соединяется съ нагрѣтой до-красна мѣдью. Это явленіе подмѣчается на рис. 24; (1) — фотографія, полученная до введенія газа; (2) и (4) — отъ газа, не прошедшаго надъ мѣдью; (3) — отъ газа, прошедшаго надъ мѣдью; какъ видно на этой послѣдней фотографіи, 3-я линія слабѣе, чѣмъ на (2) и (4).

Вышесказанное приводитъ къ заключенію, что X_3 элементъ — весьма сходный съ инертными газами: геліемъ и аргономъ, но химически нѣсколько болѣе дѣятельный. Отсутствіе параболъ, соответствующихъ $\frac{m}{e} = 1,5$ и $\frac{m}{e} = 6$, показываетъ, что X_3 — газъ одноатомный.

Менделѣевъ предсказалъ существованіе элемента съ атомнымъ вѣсомъ, равнымъ 3, и приписалъ ему свойства, подобныя свойствамъ фтора, но еще болѣе активныя. Но

X_3 химически слишком недѣтеленъ, чтобы считать его родственнымъ фтору. Если X_3 родствененъ такому элементу, то атомный вѣсъ этого элемента долженъ равняться 2, а не 3, самъ X_3 долженъ быть какимъ-нибудь прочнымъ соединеніемъ этого элемента съ водородомъ. Если это такъ на самомъ дѣлѣ, то линія, соответствующая новому элементу, должна совпадать съ линіей молекулы водорода, всегда находимой на фотографіяхъ, а поэтому, изучая линіи, образуемая положительно заряженными частицами, трудно будетъ доказать существованіе такого элемента. Можно, однако, ожидать, что элементъ, обладающій сильною химической активностью Менделѣвскаго элемента, будетъ въ состояніи присоединить къ себѣ отрицательный зарядъ и образовать на отрицательной сторонѣ фотографіи линію, для которой $\frac{m}{e} = 2$. Я не могъ, однако, до сихъ поръ открыть такую линію. Далѣе, за исключеніемъ водорода, бора и азота, всѣ атомные вѣса, меньшіе, чѣмъ 40, имѣютъ видъ $4n$ или $4n + 3$; мы имѣли бы еще одно исключеніе изъ этого закона, если бы атомный вѣсъ X_3 равнялся бы 2.

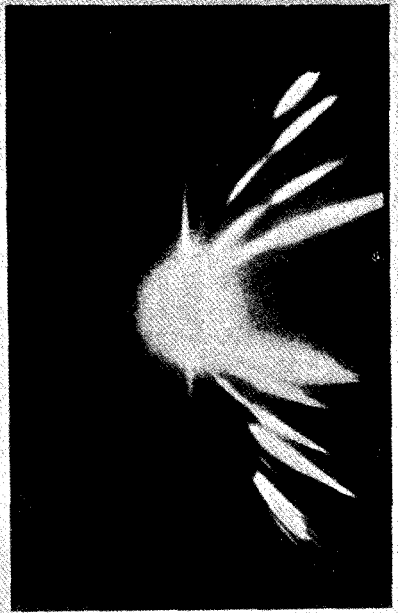
Я съ величайшимъ удовольствіемъ приношу свою благодарность г. Ф. В. Астону, изъ Тринити-колледжа, и г. Е. Эверетту за ихъ неоцѣненную помощь, оказанную въ этихъ опытахъ.

(Замѣтка отъ 14-го іюня 1913 г.). Въ вышеописанныхъ опытахъ, выдѣленіе X_3 и гелія подѣйствіемъ бомбардировки металловъ катодными лучами было во многихъ случаяхъ слабѣе, когда металлъ былъ только-что осажденъ и растворъ выпаренъ до-суха, чѣмъ въ противномъ случаѣ. Количество гелія, полученнаго при бомбардировкѣ, указывало, что онъ былъ поглощенъ металломъ и выдѣленъ бомбардировкой. Въ одномъ, однако, случаѣ раствореніе не влекло за собой уменьшеніе количества выдѣляемаго гелія, а именно

для хлористаго литія. Это побудило меня въ послѣднее время изучить дѣйствіе бомбардировки катодными лучами солей щелочныхъ и щелочно-земельныхъ металловъ, и эти опыты убѣдили меня, что соли *Li*, *Na*, *K* и *Rb* подъ дѣйствіемъ бомбардировки катодными лучами выдѣляютъ X_3 и гелій, причемъ происходитъ образованіе газовъ въ соли, а не выдѣленіе абсорбированныхъ газовъ; наибольшее количество газовъ выдѣляется изъ калия. Названные элементы давали значительно больше гелія, чѣмъ какое-либо другое изъ изслѣдованныхъ мною тѣлъ, за исключеніемъ минераловъ, подобныхъ моназитовому песку, торіаниту, вулканической золы и метеоритовъ, содержащихъ, какъ извѣстно, гелій въ свободномъ состояніи. Съ другой стороны, соли кальція, аммонія и серебра выдѣляли лишь незначительное количество гелія, не болѣе, чѣмъ можно было бы ожидать отъ абсорбированнаго газа; но X_3 выдѣлялось обильно.

Предпочтительнѣе изслѣдовать соли металловъ, чѣмъ самые металлы, такъ какъ посредствомъ растворенія въ водѣ или алкогольѣ и выпариванія до-суха можно освободиться отъ абсорбированнаго гелія и X_3 . Изслѣдованы были соли: *Li Cl*, *Li OH*, *Li₂ CO₃*, *Na Cl*, *KNO₃*, *KJ*, *KCl*, *BbJ*, *NH₄ Cl*, *Ca Cl₂*, *CaO* (кусочекъ калильной сѣтки) и *Ag Cl*. Соли литія, натрія, калия и рубидія давали интенсивную линію гелія, особенно калиевыя соли; только съ минералами, завѣдомо содержащими гелій, можно было получать столь же сильную линію гелія, какъ съ іодистымъ кали. Повторныя растворенія и выпариванія не ослабляли эту линію; иногда она даже усиливалась. Я думаю, это усиленіе надо приписать тому, что при этомъ соль освобождалась отъ газовъ, обычно абсорбируемыхъ солью, какъ то CO_2 и H_2 . Вслѣдствіе этого соль при бомбардировкѣ выдѣляла меньшее количество газовъ, отъ чего давленіе въ

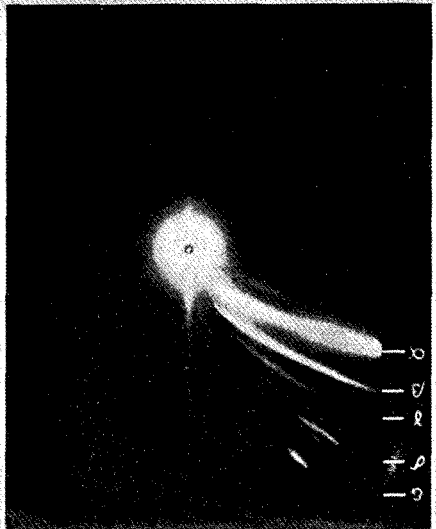
17.



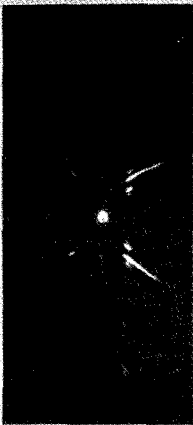
18.



19.



16.



трубокъ, гдѣ производилась бомбардировка, удерживалось меньшимъ, и катодные лучи получались болѣе быстрыми и болѣе активными. Нельзя предположить, что гелій выдѣляется изъ электродовъ, такъ какъ *CaO* и *AgCl* бомбардировались съ тѣми же электродами при одинаковомъ давленіи и въ теченіе такого же промежутка времени, тѣмъ не менѣе, гелій либо вовсе не выдѣлялся, либо выдѣлялся въ самомъ незначительномъ количествѣ. Въ видѣ предосторожности, поверхность катода время отъ времени соскабливалась. Всѣ изслѣдованные мною образчики солей давали одни и тѣ же результаты. Поэтому мнѣ кажется невѣроятнымъ, чтобы явленіе можно было объяснить присутствіемъ какого-либо минерала, содержащаго гелій, на примѣръ, моназитоваго песка. Я растворялъ нѣкоторое количество соли въ алкогольъ и фильтровалъ растворъ, но количество гелія не уменьшалось, между тѣмъ какъ примѣсь, содержащая гелій, должна была бы раствориться въ алкогольъ. На фотографіи, гдѣ линія гелія особенно сильна (фотографія получена съ іодистымъ кали), я замѣтилъ весьма слабую линію, соотвѣтствующую атомному вѣсу 35, приблизительно. Можетъ-быть, тутъ играли нѣкоторую роль слѣды примѣси хлористаго кали къ іодистому. Однако, эта линія не усилилась при замѣнѣ *KJ* черезъ *KCl*. Я не могъ получить эту линію достаточно интенсивной, чтобы измѣрить ее и рѣшить, въ точности ли равенъ атомный вѣсъ соотвѣтствующихъ частицъ разности атомныхъ вѣсовъ калия и гелія.

Выдѣленіе большихъ количествъ гелія изъ щелочныхъ металловъ интересно въ томъ отношеніи, что калий, какъ показалъ г. Кэмпбеллъ, радиоактивенъ. Я склоненъ примѣнить къ этому случаю разсужденія, уже ранѣе мною изложенныя ¹⁾, а именно, что не только

¹⁾ Nature, Feb. 13, 1913.

радій, торій и т. п. элементы, но и другіе могутъ испускать α -частицы (атомы гелія). Въ обыкновенныхъ элементахъ эти частицы не обладаютъ достаточной энергіей, чтобы покинуть атомъ, но онѣ могутъ быть освобождены и выдѣлены энергичной бомбардировкой катодными лучами.

Я разсмотрю теперь вліяніе растворенія и послѣдующаго выпариванія на X_3 , обильно выдѣляемый всѣми солями, въ томъ числѣ и солями кальція, аммонія и серебра. Раствореніе и выпариваніе Li_2CO_3 , KJ , KCl замѣтно уменьшаетъ выдѣленіе X_3 ; меньше вліяніе на $LiCl$, $LiOH$, KOH , $CaCl_2$. Нужно замѣтить, что эти послѣднія соли весьма легко расплываются¹⁾, чего нельзя сказать о соляхъ, на которыя раствореніе вліяетъ. Это наводитъ на мысль, что уменьшеніе количества X_3 можетъ быть обязано выдѣленію воды, выдѣляемой солями, когда онѣ сильно нагрѣваемы послѣ выпариванія, тогда какъ соли расплывающіяся успѣваютъ вновь присоединить къ себѣ воду еще до начала бомбардировки. X_3 выдѣляется изъ солей и тогда, когда катодные лучи не достаточно быстры, чтобы освободить гелій.

Вышеизложенное показываетъ, я думаю, что X_3 , выдѣленный изъ растворенныхъ солей, не абсорбируется ими, а либо образуется изъ водорода въ присутствіи воды, либо выдѣляется изъ атомовъ одного изъ элементовъ, входящихъ въ составъ соли, причемъ присутствіе воды является существеннымъ, а можетъ, быть, и необходимымъ условіемъ для образованія X_3 при разрушеніи атома. Если допустить, что X_3 образуется изъ водорода, то соль важна постольку, поскольку она доставляетъ воду въ соотвѣтствующемъ видѣ. X_3 образуется, когда разрядъ отъ катода Веллента проходитъ черезъ газъ, находящійся подъ низ-

1) Названныя соли весьма гигроскопичны.

кимъ давленіемъ, хотя въ этомъ случаѣ бомбардировка стѣнокъ трубки катодными лучами слаба; этотъ фактъ, а также случайность появленія X_3 въ разрядныхъ трубкахъ становятся понятными, если допустить, что X_3 образуется изъ водяного пара.

(Замѣтка отъ 10-го іюля, 1913). Я нашель, что X_3 исчезаетъ, если черезъ смѣсь его съ водородомъ и достаточнымъ количествомъ кислорода пропускать разрядъ такъ, чтобы произошелъ сильный взрывъ.

Дополненія ¹⁾.

Методы измѣренія числа положительно заряженныхъ частицъ.

Фотографическая пластинка является превосходнымъ средствомъ для обнаруженія различныхъ родовъ положительныхъ частицъ, но она, однако, не-пригодна для измѣренія дѣйствительнаго числа этихъ частицъ, содержащихся въ данномъ пучкѣ положительныхъ лучей. Хотя интенсивность линіи на фотографіяхъ и зависитъ отъ числа частицъ, но это число не является единственнымъ факторомъ, вліяющимъ на интенсивность. Для примѣра рассмотримъ линіи, образуемая ¹⁾ весьма легкими частицами, на примѣръ, атомами водорода, и ²⁾ весьма тяжелыми, на примѣръ, атомами ртути. Если оба рода частицъ приобрѣли одинаковую энергію, находясь въ электрическомъ полѣ передъ катодомъ, то скорость водородныхъ частицъ будетъ приблизительно

¹⁾ Заимствованія изъ книги Sir J. J. Thomson, Rays of positive electricity and their application to chemical analyses.

Настоящія „Дополненія“ имѣютъ цѣлью иллюстрировать многообразныя и плодотворныя примѣненія метода положительныхъ лучей въ различныхъ областяхъ физики.

въ четырнадцать разъ больше скорости частицъ ртути; можно, слѣдовательно, ожидать, что водородныя частицы глубже проникнутъ въ чувствительный слой фотографической пластинки и окажутъ большее фотографическое дѣйствіе, нежели ртутныя. Если такое предположеніе справедливо, — а это будетъ показано въ дальнѣйшемъ, — то, очевидно, фотографическое дѣйствіе не можетъ служить мѣриломъ числа положительно заряженныхъ частицъ.

Къ болѣе точнымъ результатамъ можно прійти посредствомъ слѣдующаго метода. Предположимъ, что фотографическая пластинка замѣнена пластинкой металлической, снабженной подвижной параболической щелью. Если щель поставлена такъ, чтобы она совпадала съ одной изъ параболъ на фотографической пластинкѣ, то положительно заряженные частицы будутъ проходить черезъ щель; собравъ эти частицы и измѣривъ ихъ общій зарядъ, мы сможемъ судить о числѣ положительно заряженныхъ частицъ. Если будемъ постепенно перемѣщать щель вдоль пластинки, то заряженные частицы будутъ проникать черезъ щель только тогда, когда она будетъ совпадать съ одной изъ параболъ. Какъ только щель дойдетъ до параболы, тотчасъ же положительно заряженные частицы начнутъ проходить черезъ нее, и наблюденный зарядъ дастъ мѣру числа частицъ, прошедшихъ черезъ щель. Если же, вмѣсто того, чтобы передвигать параболическую щель, мы оставимъ ее неподвижной, а будемъ постепенно усиливать магнитное поле, отклоняющее частицы, то мы заставимъ проходить мимо щели параболы, причемъ первой пройдетъ парабола водородныхъ атомовъ, какъ наиболѣе отклоненныхъ, послѣдней — парабола атомовъ ртути; заряды же, прошедшіе черезъ щель, будутъ пропорціональны числу частицъ.

Изложенный методъ былъ осуществленъ на прак-

тикѣ посредствомъ прибора, изображеннаго на рис. 25. Лучи, прошедшіе электрическое и магнитное поле, вмѣсто того, чтобы попадать на фотографическую пластинку, падаютъ на конецъ цилиндрической коробки *B*. Ближайшая къ катоду сторона этой коробки снабжена

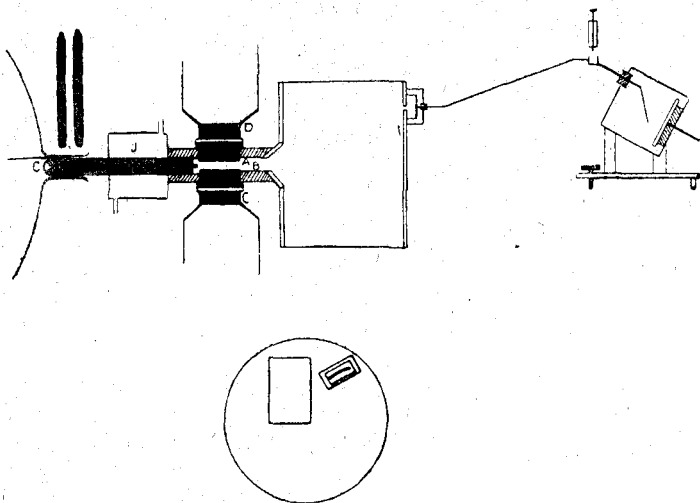


Рис. 25.

параболическою щелью, шириною въ 1 мм.; вершина параболы находится въ той точкѣ, гдѣ проходятъ лучи неотклоненные, касательная же къ вершинѣ параболы параллельна направленію отклоненія частицъ подѣйствіемъ одного только магнитнаго поля. Лучи могутъ проникнуть въ коробку только черезъ эту щель. Непосредственно за щелью находится длинный узкій изолированный сосудъ, помѣщенный такъ, чтобы всякая частица, прошедшая черезъ щель, падала въ этотъ сосудъ. Сосудъ соединенъ съ электрометромъ Вильсона, посредствомъ котораго измѣряется перенесенный зарядъ.

Часть поверхности коробки вырѣзана и прорѣзъ закрытъ виллемитовымъ экраномъ. Отклоненные положительные лучи попадаютъ на экранъ и наблюдается яркость флюоресценціи; это позволяетъ убѣдиться въ томъ, находится ли трубка въ такомъ состояніи, чтобы можно было приступить къ измѣреніямъ. При встрѣчѣ съ поверхностью коробки лучей, не прошедшихъ черезъ щель, образуются медленно движущіеся катодные лучи; эти послѣдніе могутъ проникнуть черезъ щель, попасть въ фарадѣевскій цилиндръ и препятствовать измѣреніямъ. Чтобы избѣгнуть этого, надо помѣстить около щели небольшой магнитъ. Этого достаточно, чтобы отклонить катодные лучи, какъ болѣе подвижные, не вліявъ въ то же время на положительно заряженные атомы. Давленіе газа между коробкой и катодомъ должно быть по возможности меньше; для пониженія давленія лучшимъ способомъ является поглощеніе газа углемъ, охлаждаемымъ жидкимъ воздухомъ. Этотъ методъ не даетъ хорошаго вакуума, если трубка наполнена геліемъ; точно также и для водорода получаются худшіе результаты, чѣмъ для тяжелыхъ газовъ, для которыхъ давленіе легко можетъ быть доведено до 0,003 мм.

Наблюденія съ описаннымъ приборомъ производятся слѣдующимъ образомъ: положительные лучи отклоняются постояннымъ электрическимъ полемъ такъ, чтобы начала всѣхъ параболъ находились на одной прямой съ концомъ щели. Силу магнитнаго поля постепенно увеличиваютъ и измѣряютъ отклоненія электроскопа Вильсона за десять секундъ. Если же одна изъ параболъ не совпадаетъ со щелью, то электроскопъ замѣтно не отклоняется; но какъ только магнитная сила отклонитъ лучи настолько, что какая-нибудь парабола совпадетъ со щелью, тотчасъ же въ электроскопѣ наблюдается значительное отклоненіе,

исчезающее, когда парабола, вследствие дальнѣйшаго увеличенія магнитной силы, сойдетъ со щели. Отклоненія въ электроскопѣ появляются и исчезаютъ необыкновенно рѣзко, такъ что весьма близкія параболы могутъ быть замѣчены и отдѣлены. На рис. 26 изображена запись, полученная описаннымъ способомъ.

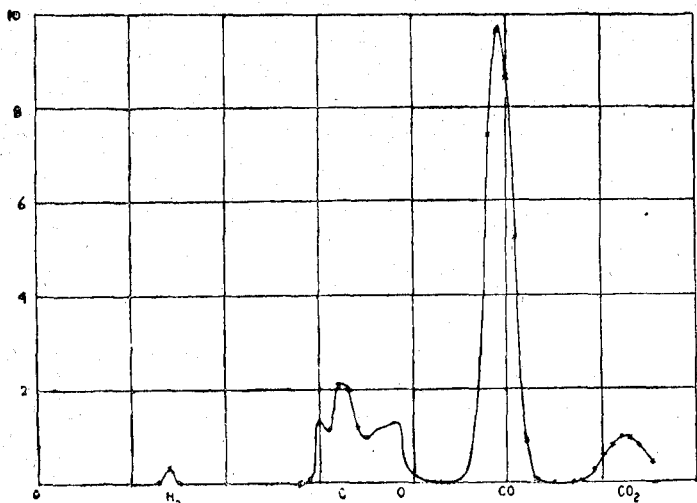


Рис. 26.

На оси абсциссъ отложены величины напряженія магнитнаго поля, отклоняющаго лучи; на оси ординатъ отложены отклоненія электроскопа Вильсона за десять секундъ. Трубка была наполнена окисью углерода.

Сравненіе этой кривой съ фотографіей отклоненныхъ лучей, при разрядѣ черезъ тотъ же самый газъ, приводитъ къ нѣкоторымъ интереснымъ заключеніямъ. На фотографіи наиболѣе рѣзки линіи, соответствующія атомамъ и молекуламъ водорода. Кривая же показываетъ, что число частицъ окиси углерода во много разъ превышаетъ число водородныхъ частицъ. Всѣ кривыя,

полученныя посредствомъ этого метода, указываютъ на необыкновенную чувствительность фотографической пластинки къ водороднымъ атомамъ по сравненію съ молекулами и атомами другихъ газовъ. Частицы водо

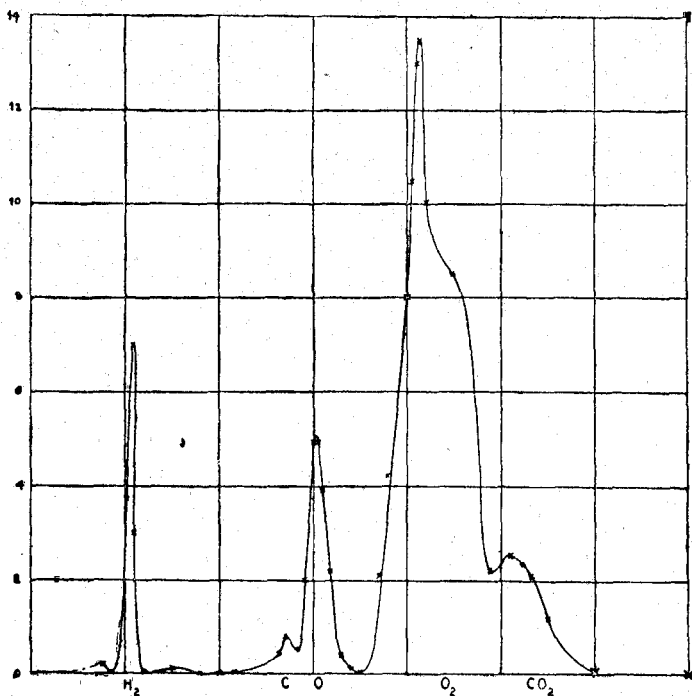


Рис. 27.

рода оказываютъ на фотографическую пластинку значительно большее вліяніе, чѣмъ такое же количество болѣе тяжелыхъ частицъ; но на виллемитовомъ экранѣ то же явленіе наблюдается еще въ большей степени: даже въ томъ случаѣ, когда измѣренія, произведенныя съ электроскопомъ описаннымъ образомъ, показываютъ, что число водородныхъ частицъ составляетъ лишь нѣсколько процентовъ числа частицъ

окси углерода, на виллемитовомъ экранѣ линия окиси углерода все-таки различима лишь съ трудомъ, тогда какъ водородныя линии весьма ярки.

Фотографіи не даютъ возможности судить объ относительномъ количествѣ различныхъ газовъ, когда разрядная трубка наполнена смѣсью различныхъ газовъ; такъ, если, напримѣръ, въ трубкѣ находится смѣсь водорода и кислорода, то процентное содержаніе обоихъ газовъ можно мѣнять въ широкихъ предѣлахъ, между тѣмъ какъ относительная интенсивность водородныхъ и кислородныхъ линий на фотографіи не мѣняется замѣтнымъ образомъ. Электроскопическій же методъ приводитъ къ несравненно болѣе точнымъ результатамъ, какъ показываютъ рис. 27 и 28; на первомъ дана кривая для газа, состоящаго изъ $\frac{1}{3}$ водорода и $\frac{2}{3}$ кислорода; во второмъ случаѣ водородъ составляетъ $\frac{2}{3}$, а кислородъ $\frac{1}{3}$ всей смѣси.

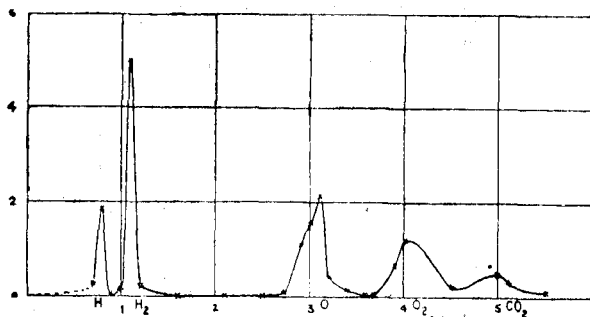


Рис. 28.

Повидимому, отрицательно заряженный атомъ водорода дѣйствуетъ на фотографическую пластинку въ столько же разъ сильнѣе другихъ отрицательно заряженныхъ атомовъ, какъ и положительный атомъ водорода по сравненію съ другими положительными атомами. На всѣхъ пластинкахъ линия отрицательнаго атома водорода хорошо замѣтна, а иногда даже почти

столь же интенсивна, какъ линия отрицательнаго атома кислорода. При электроскопическомъ же методѣ отрицательные атомы водорода едва могутъ быть замѣнены, тогда какъ отрицательные атомы кислорода

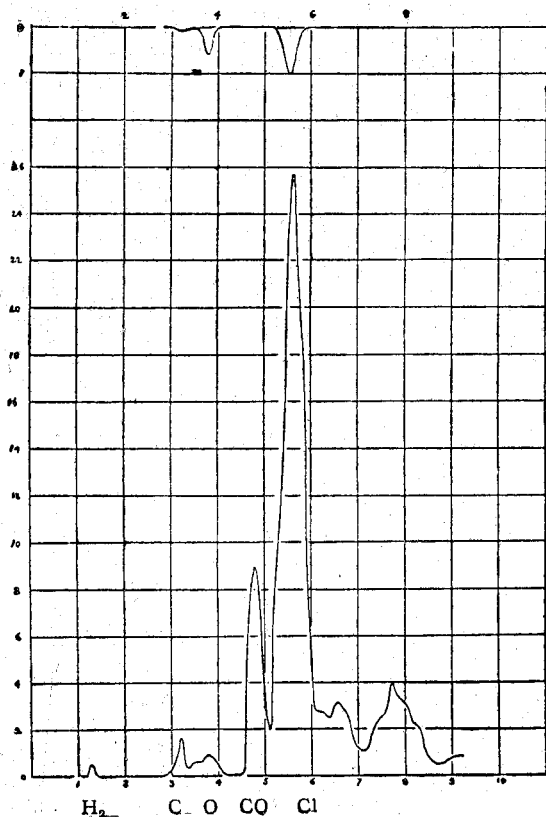


Рис. 29.

даютъ значительное отрицательное отклоненіе. На рис. 29 дана кривая, показывающая относительное количество различныхъ отрицательно заряженныхъ частицъ; трубка была наполнена фосгеномъ $COCl_2$; кривая въ верхней части рисунка даетъ число отрицатель-

ныхъ частицъ, въ нижней части — положительныхъ. Какъ видно изъ рисунка, электроскопическій методъ указываетъ на существованіе отрицательныхъ атомовъ углерода, кислорода и хлора, причемъ эти послѣдніе наиболѣе многочисленны. На фотографіи же линія отрицательныхъ атомовъ водорода почти столь же сильна, какъ и линія отрицательныхъ атомовъ хлора. Весьма интересно то, что на кривой, показывающей распределеніе положительно заряженныхъ атомовъ, можно найти значительное количество различныхъ атомовъ и молекулъ: мы находимъ атомы углерода, кислорода и хлора, а также молекулы CO , Cl_2 , CCl , $COCl_2$. Нужно отмѣтить, что лишь незначительная часть тока переносится свободными атомами кислорода и углерода, что указываетъ на то, что въ фоггенѣ атомы углерода и кислорода настолько прочно соединены, что ихъ связь не разрушается даже при диссоціаціи газа.

Заряжены ли атомы, входящіе въ молекулу сложнаго газа, электричествомъ противоположныхъ знаковъ?

Изученіе кривыхъ, полученныхъ посредствомъ электроскопическаго метода, бросаетъ нѣкоторый свѣтъ на электрическое состояніе обоихъ атомовъ, составляющихъ двуатомную молекулу простаго или сложнаго газа. Если мы припишемъ электрическое происхожденіе силамъ, связывающимъ оба атома, то естественно, является вопросъ, не будетъ ли одинъ изъ атомовъ, составляющихъ молекулу, на примѣръ, водорода, заряженъ положительно, а другой отрицательно; или не будетъ ли въ молекулѣ газообразной соляной кислоты водородный атомъ заряженъ положительно, а атомъ хлора — отрицательно; или не будетъ ли въ сложномъ соединеніи, на примѣръ, аммонія NH_3 , атомъ азота обладать тремя положительными зарядами и каждый изъ атомовъ водорода однимъ положительнымъ?

Разсмотримъ окись углерода; кривая (рис. 26) указываетъ относительное число положительныхъ атомовъ различного рода. Если молекула этого газа состоитъ изъ положительнаго атома углерода и отрицательнаго атома кислорода, то, если молекулы CO расщепляются на атомы при столкновении съ быстро движущейся положительной частицей, мы можемъ ожидать, что атомы углерода будутъ заряжены преимущественно положительно, а атомы кислорода—отрицательно, такъ что въ положительныхъ лучахъ долженъ наблюдаться избытокъ углеродныхъ атомовъ надъ кислородными. Изъ кривой (рис. 27) видно, что отношеніе числа положительно заряженныхъ атомовъ углерода къ числу такихъ же атомовъ кислорода равно 11 къ 7. Однако, число положительныхъ атомовъ, прошедшихъ черезъ катодъ, больше числа, находимаго посредствомъ кривой, такъ какъ нѣкоторые изъ этихъ атомовъ на своемъ пути пріобрѣтаютъ отрицательный зарядъ. Отклоненія электроскопа указываютъ на то, что отношеніе числа отрицательныхъ атомовъ кислорода къ числу положительныхъ равно 2 въ 7, тогда какъ число отрицательно заряженныхъ атомовъ углерода весьма мало по сравненію съ числомъ положительно заряженныхъ. Складывая числа какъ отрицательныхъ, такъ и положительныхъ атомовъ кислорода, находимъ, что количество прошедшихъ черезъ катодъ атомовъ углерода и кислорода находится въ отношеніи 11 и 9. Это отношеніе слишкомъ близко къ единицѣ, чтобы можно было допустить, что одинъ изъ атомовъ молекулы заряженъ положительно, другой отрицательно.

Кривая для фосгена (рис. 29) показываетъ, что относительное содержаніе положительно заряженныхъ атомовъ хлора въ положительныхъ лучахъ не различается замѣтно отъ содержанія хлора въ нормальномъ газѣ. Между тѣмъ, если различные атомы въ молекулахъ фос-

гена обладали бы опредѣленными зарядами, то мы должны были бы ожидать, что атомы хлора, элемента весьма электро-отрицательнаго, будутъ заряжены преимущественно отрицательно, то-есть въ положительныхъ лучахъ былъ бы замѣтенъ недостатокъ атомовъ хлора.

Указаніе на то, что каждый атомъ молекулы содержитъ столько же положительнаго электричества, сколько и отрицательнаго, можно найти и въ другихъ областяхъ физики. Если бы атомы въ молекулахъ какого-либо газа обладали опредѣленнымъ зарядомъ, то-есть если бы одни атомы были всегда заряжены положительно, а другіе всегда отрицательно, то при диссоціи газа на атомы эти послѣдніе оказались бы заряженными, и диссоциированный газъ сталъ бы хорошимъ проводникомъ электричества. Существуетъ нѣсколько газовъ, диссоциирующихъ при низкихъ температурахъ, на примѣръ: никкель-карбониль, въ значительной степени распадается при 100°C на никкель и CO . Если бы эти атомы были заряжены, то мы могли бы ожидать замѣтнаго возрастанія электрической проводимости, начиная отъ температуры въ 70°C , когда диссоціація становится замѣтной. Однако, зависимость проводимости никкель-карбонила отъ измѣненія температуры слѣдуетъ, какъ показалъ проф. Смитъ, тѣмъ же законамъ, какъ и проводимость газа недиссоциированнаго. Л. Блохъ¹⁾ показалъ, что диссоціація мышьяковистаго водорода, имѣющая мѣсто также при низкой температурѣ, не сопровождается возрастаніемъ электрической проводимости. Онъ же доказалъ, что многія химическія реакціи между газами, происходящія при низкихъ температурахъ, на примѣръ, окисленіе двуокиси азота, дѣйствіе хлора на мышьякъ, окисленіе

1) L. Bloch. Annales de Chimie et de Physique, XXII, p. 370, 441; XXIII, p. 28.

паровъ ээира, оказываютъ на проводимость или весьма малое вліяніе, или же никакого.

Химическія реакціи, если только онѣ происходятъ при низкихъ температурахъ, не вызываютъ появленія проводимости. Весьма энергичное соединеніе водорода съ хлоромъ подѣ дѣйствиємъ солнечнаго свѣта, повидимому, абсолютно не вліяетъ на проводимость смѣси, что является весьма вѣскимъ доводомъ въ пользу предположенія, что атомы въ молекулѣ не заряжены.

Не подлежитъ сомнѣнію, что вступившіе въ реакцію газы становятся хорошими проводниками въ томъ случаѣ, когда реакція настолько энергична, что температура значительно возрастаетъ, напримѣръ, при соединеніи водорода и кислорода въ пламени гремучаго газа, при окисленіи въ Бунзеновой горѣлкѣ, при сгораніи CO и т. д. Однако, новѣйшія изслѣдованія показываютъ, что проводимость является скорѣй слѣдствіємъ повышенія температуры при химической реакціи, чѣмъ самой реакціи. Проводимость не можетъ быть вызвана тѣмъ, что молекула распадается на положительно и отрицательно заряженные атомы: измѣренія подвижности отрицательно заряженныхъ частицъ въ пламенахъ и газахъ, находящихся при весьма высокой температурѣ, показали, что эта подвижность во много разъ превышаетъ ту, которую мы могли бы ожидать, если бы масса этихъ частицъ была сравнима съ массой даже наиболѣе легкихъ элементовъ. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ отрицательно заряженными являются не атомы, а корпёсли (электроны); газы при высокой температурѣ начинаютъ проводить не вслѣдствіе диссоціаціи на положительно и отрицательно заряженные атомы (какъ въ растворахъ), а вслѣдствіе распадёнія атомовъ и молекулъ на положительно заряженные атомы и отрицательно заряженные корпёсли. Проводимость нагрѣтыхъ газовъ является скорѣе слѣдствіємъ

испускания корпёслей нагрѣтыми тѣлами, чѣмъ химическихъ реакцій. Мы знаемъ, что если нагрѣть до высокой температуры твердыя тѣла, напимѣръ, металлы, или, еще лучше, нѣкоторыя окиси, то они выдѣляютъ корпёсли въ значительномъ количествѣ, такъ что проводимость пламенъ лучше объясняется предположеніемъ, что и газы обладаютъ подобными же свойствами, чѣмъ однимъ только вліяніемъ химической реакціи.

Все это приводитъ къ заключенію, что электрическія силы, соединяющія атомы въ молекулы, зависятъ отъ смѣщенія положительнаго и отрицательнаго электричества въ каждомъ отдѣльномъ атомѣ, а не отъ того, что одни атомы обладаютъ положительнымъ зарядомъ, а другіе отрицательнымъ. Такимъ образомъ, каждый атомъ дѣйствуетъ, какъ электрическій дублетъ, и притягиваетъ другой атомъ такимъ же образомъ, какъ одинъ магнитъ другой.

Примѣненіе положительныхъ лучей къ изученію строенія газовъ, природы и свойствъ молекулъ, и процесса іонизаціи въ разрядной трубкѣ.

Вышеизложенные результаты ясно показываютъ важность метода положительныхъ лучей при изслѣдованіи строенія газовъ и свойствъ молекулъ и атомовъ.

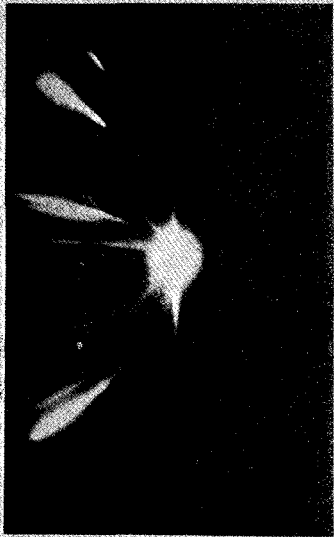
Прежде всего этотъ методъ даетъ непосредственное и простое доказательство молекулярнаго строенія газовъ. Мы видѣли, что положительные лучи какого-либо газа даютъ на фотографической пластинкѣ опредѣленное число раздѣльныхъ и рѣзкихъ параболъ. Такъ какъ каждая парабола соотвѣтствуетъ частицамъ съ вполне опредѣленными свойствами, то ясно, что въ разрядной трубкѣ имѣется конечное число различ-

ныхъ родовъ частицъ. Рѣзкость линій указываетъ, что всѣ частицы одного и того же химическаго элемента обладаютъ совершенно одинаковыми массами. Если бы, напримѣръ, атомы водорода обладали болѣе или менѣе различными массами, то параболы на фотографической пластинкѣ никогда не могли бы достигнуть той рѣзкости, которая наблюдается, если только отверстіе въ трубкѣ катода достаточно мало. Насколько намъ извѣстно, рѣзкость линій зависитъ исключительно отъ діаметра отверстія катода. Между тѣмъ, если бы масса атомовъ была подвержена колебаніямъ, то вмѣсто линій на пластинкѣ появлялись бы полосы, ограниченныя, съ одной стороны, параболами, соответствующими наиболѣе тяжелымъ атомамъ, съ другой стороны—параболами наиболѣе легкихъ атомовъ.

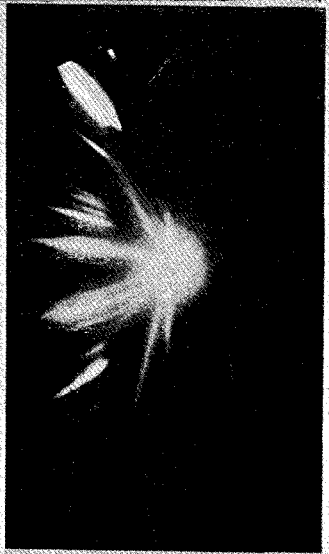
Далѣе, мы нашли, что въ положительныхъ лучахъ однихъ газовъ встрѣчаются какъ молекулы, такъ и атомы, въ другихъ—только атомы. Изучая линіи, мы можемъ заключить, что гелій—газь одноатомный, водородъ и кислородъ—двуатомны.

Изученіе лучей указываетъ также на то, что молекулы и атомы газовъ могутъ принимать электрической зарядъ, причемъ заряжаться положительно могутъ всѣ, отрицательно же только нѣкоторые атомы и молекулы. Въ положительныхъ лучахъ условія для пріобрѣтенія частицами отрицательнаго заряда весьма неблагоприятны, и если какіе-либо атомы и молекулы въ положительныхъ лучахъ не наблюдались съ отрицательнымъ зарядомъ, то отсюда мы еще не можемъ заключить, что при болѣе благоприятныхъ условіяхъ эти частицы не смогутъ зарядиться отрицательно.

Далѣе мы видѣли, что всѣ атомы, кромѣ водородныхъ, могутъ пріобрѣтать болѣе чѣмъ одинъ отрицательный зарядъ. Наибольшее же число зарядовъ зави-



19.



20.



22.



23.



24.

силь, повидимому, отъ атомнаго вѣса; такъ, напримѣръ, наиболѣе тяжелый изъ всѣхъ изслѣдованныхъ атомовъ, атомъ ртути, можетъ удерживать до восьми зарядовъ; атомъ криптона—четыре или пять зарядовъ, кислорода—два и т. д. Двойной зарядъ ни разу съ достовѣрностью не наблюдался на молекулахъ ни элементовъ, ни соединений. Положительные лучи доказываютъ также существованіе не только атомовъ и молекулъ извѣстныхъ элементовъ, но также и радикаловъ и иныхъ соединений, свободное существованіе которыхъ до сихъ поръ еще не было извѣстно. Такъ, напримѣръ, въ положительныхъ лучахъ болотнаго газа $СН_4$ были найдены, кромѣ атомовъ и молекулъ водорода и атомовъ углерода, также и соединенія $СН_1$, $СН_2$, $СН_3$, $СН_4$. Радикаль $ОН$ (гидроксиль) былъ найденъ съ отрицательнымъ зарядомъ въ присутствіи водяныхъ паровъ въ трубкѣ. Тотъ же методъ позволяетъ открыть существованіе переходныхъ, временныхъ соединений, если только они существуютъ во все время прохожденія частицъ отъ разрядной трубки до фотографической пластинки, то-есть менѣе одной милліонной доли секунды.

Кромѣ того, въ положительныхъ лучахъ соединений, содержащихъ два или болѣе атома углерода, соединенныхъ связями, были найдены частицы, состоящія изъ двухъ атомовъ углерода, а такъ какъ эти частицы встрѣчаются какъ съ положительнымъ, такъ и съ отрицательнымъ зарядомъ, то, очевидно, такое соединеніе двухъ атомовъ углерода не можетъ быть насыщеннымъ.

Посмотримъ теперь, что дало изученіе лучей для вопросовъ, связанныхъ съ іонизаціей. Разсматривая фотографіи, мы находимъ, что іонизація въ разрядной трубкѣ отнюдь не состоитъ въ одномъ только отдѣленіи корпёслей отъ нейтральныхъ молекулъ, такъ какъ при этомъ возникали бы только положительно

заряженныя молекулы. Фотографіи же показываютъ, что продукты іонизаціи гораздо сложнѣе: хотя мы и находимъ положительно заряженныя молекулы того газа, черезъ который проходилъ разрядъ, независимо отъ того, будетъ ли газъ элементарнымъ, какъ водородъ или кислородъ, или же сложнымъ, какъ окись углерода или углекислота, эти молекулы составляютъ лишь малую часть всѣхъ заряженныхъ частицъ, наблюдаемыхъ въ положительныхъ лучахъ, которые состоятъ преимущественно изъ заряженныхъ атомовъ. Мы находимъ не одинъ только родъ носителей положительнаго электричества, а нѣсколько: при одномъ опытѣ съ парами бензина я могъ насчитать до семнадцати различныхъ носителей положительнаго электричества. Разрядъ иногда до такой степени расщепляетъ газъ, что фотографіи положительныхъ лучей различныхъ углеводородовъ почти ничѣмъ не отличаются между собой. Такъ, напримѣръ, пары метил-алкоголя, этил-алкоголя, эфира (C_2H_5)₂O и диметил-эфира даютъ однѣ и тѣ же рѣзкія лініи; это указываетъ на то, что лучи состоятъ не изъ молекулъ, а изъ продуктовъ ихъ диссоціаціи на составныя части; лініи же молекулъ весьма слабы.

Итакъ, въ разрядной трубкѣ происходитъ не только отдѣленіе корпёслей отъ молекулъ, но такъ же и расщепленіе молекулъ на атомы.

Различнаго рода опыты привели къ заключенію, что іонизація въ трубкѣ производится слѣдующими факторами:

1. Катодными лучами, движущимися съ различной скоростью отъ катода.
2. Положительными лучами, движущимися по направлению къ катоду.
3. Лучами, аналогичными лучамъ Рентгена и образующимися при столкновеніи катодныхъ и положитель-

ныхъ лучей съ неподвижными молекулами газа, а также при воссоединеніи противоположно заряженныхъ іоновъ.

Непосредственнымъ результатомъ столкновения катоднаго луча съ молекулой является отдѣленіе корпёсли отъ молекулы. Если эта корпёсль принадлежитъ къ числу тѣхъ, притяженія которыхъ обусловливаютъ соединеніе атомовъ въ молекулу, то результатомъ іонизаціи будетъ распаденіе молекулъ на атомы; іонизація повлечетъ за собою диссоціацію и образуются положительно заряженные атомы. Но если корпёсль не является существенной для строенія молекулы, то молекула не распадается и образуется положительно заряженная молекула. Если бы іонизація происходила только этимъ путемъ, то мы могли бы ожидать, что число положительно заряженныхъ молекулъ значительно превыситъ число положительно заряженныхъ атомовъ. Однако, нужно считать мало вѣроятнымъ, чтобы іонизація производилась преимущественно быстрыми катодными лучами. Глассонъ ¹⁾ измѣрялъ іонизацію, производимую этими лучами, и нашелъ, согласно теоріи, что число іоновъ, образованныхъ катоднымъ лучемъ на протяженіи единицы длины пути, обратно пропорціонально кинетической энергіи луча. Оказалось, что каждый лучъ, движущійся со скоростью $4,7 \times 10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ въ воздухѣ при давленіи въ 1 мм., образуетъ на протяженіи одного сантиметра 1,5 паръ іоновъ. При опытахъ же съ положительными лучами, скорость быстрыхъ катодныхъ лучей значительно больше, чѣмъ $5 \cdot 10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$. Это увеличеніе скорости уменьшаетъ іонизацію при томъ же самомъ давленіи, но въ нашихъ опытахъ давленіе было меньше 0,01 мм., такъ что, пренебрегая даже уменьшеніемъ іонизаціи вслѣд-

1) Glasson. Phyl. Mag., October. 1911.

ствіе увеличенія скорости, мы можемъ сказать, что катодный лучъ образовывалъ 1,5 паръ іоновъ на протяженіи одного метра, что значительно превышаетъ размѣры трубки. Мы заключаемъ отсюда, что іонизація газа лишь въ малой степени является слѣдствіемъ дѣйствія быстрыхъ катодныхъ лучей, а производится, повидимому, медленными катодными лучами и положительными частицами. Положительные іоны, образующіеся въ области отрицательнаго свѣченія, обладаютъ при вступленіи въ темное пространство достаточной энергіей, чтобы іонизировать газъ, образуя, въ свою очередь, положительные іоны и корпёсли. Эти вторичныя корпёсли сперва будутъ двигаться медленно, такъ какъ онѣ находятся въ области сравнительно слабого электрическаго поля; но именно въ виду своей медленности онѣ окажутся энергичными іонизаторами; при столкновеніяхъ онѣ вызовутъ появленіе новыхъ корпёслей, которыя будутъ находиться въ нѣсколько болѣе слабомъ полѣ и, слѣдовательно, будутъ энергичнѣе іонизировать газъ; такъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока скорость катодныхъ частицъ не станетъ меньше скорости, соотвѣтствующей пройденному паденію потенциала въ 200 вольтъ, когда іонизація перестанетъ возрастать при дальнѣйшемъ уменьшеніи скорости. Такимъ образомъ въ анодномъ концѣ темнаго пространства число медленно движущихся катодныхъ лучей будетъ быстро возрастать, и газъ въ этомъ мѣстѣ будетъ состоять изъ молекулъ и сравнительно медленныхъ катодныхъ лучей. Эти лучи весьма медленны по сравненію съ тѣми, которые приобрѣли свою энергію, пройдя все паденіе потенциала въ темномъ пространствѣ; ихъ кинетическая энергія по величинѣ соотвѣтствуетъ энергіи движенія частицъ при весьма высокой температурѣ. Такъ на примѣръ, энергія корпёсли, движущейся со скоро-

стью $10^7 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$, соотвѣтствуетъ тепловому движенію при 0°C. ; скорость $10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ соотвѣтствуетъ уже 27000°C.

Скорость же $10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ пріобрѣтается корпёсляю, когда она проходитъ паденіе потенціала въ 3 или 4 вольта, такъ что скорость даже наиболѣе медленныхъ частицъ въ разрядной трубкѣ значительно превышаетъ 10^8 . Если энергія распределена хоть сколько-нибудь равномерно между этими корпёслями и корпёслями, связывающими атомы въ молекулы, то эти послѣднія корпёсли пріобрѣтутъ столько энергіи, что будутъ въ состояніи покинуть свое положеніе въ молекулѣ и выдѣлиться изъ нея. Результатомъ этого будетъ то, что молекулы распадутся на атомы и нѣкоторыя корпёсли внутри атомовъ пріобрѣтутъ значительную кинетическую энергію. Эта энергія можетъ быть настолько значительной, что корпёсль выдѣлится изъ атома, и этотъ послѣдній зарядится положительно: оба атома двуатомной молекулы могутъ этимъ путемъ пріобрѣсти положительный зарядъ. Такого рода іонизація будетъ имѣть мѣсто преимущественно въ ближайшемъ къ отрицательному свѣченію концѣ темнаго пространства, такъ что возникшія этимъ путемъ положительныя частицы пройдутъ все паденіе потенціала въ темномъ пространствѣ и пріобрѣтутъ наибольшую возможную кинетическую энергію; очевидно, такія частицы должны встрѣтить фотографическую пластинку въ самомъ началѣ соотвѣтствующихъ параболъ и, дѣйствительно, на многихъ фотографіяхъ начало параболъ значительно интенсивнѣе, чѣмъ остальные части тѣхъ же параболъ, что указываетъ на то, что въ этихъ случаяхъ большая часть частицъ прошла все паденіе потенціала, то-есть возникла въ концѣ темнаго пространства. Часто, однако, встрѣчаются слу-

чай, когда такого усиленія интенсивности линий въ одной точкѣ не наблюдается, параболы значительно длиннѣе, то-есть встрѣчаются частицы съ весьма различными кинетическими энергіями; равномерная же интенсивность линий доказываетъ, что частицы съ различными кинетическими энергіями встрѣчаются въ приблизительно одинаковомъ количествѣ.

Это различіе въ кинетической энергіи частицъ можетъ быть объяснено слѣдующими предположеніями:

1. Возможно, что всѣ заряженные частицы начинаютъ свое движеніе въ одной и той же области, а именно на границѣ темнаго пространства, но, не дойдя до катода, нейтрализуются и, слѣдовательно, не на всемъ своемъ пути испытываютъ дѣйствіе электрическаго поля.

2. Возможно, что іонизація, вызывающая появленіе положительныхъ частицъ, не происходитъ преимущественно на границѣ темнаго пространства, а отчасти имѣетъ мѣсто и въ другихъ частяхъ темнаго пространства.

3. Возможно, что нѣкоторыя частицы въ темномъ пространствѣ сталкиваются съ молекулами газа и при этомъ теряютъ часть своей кинетической энергіи.

Начнемъ съ перваго предположенія. Мы знаемъ, что если давленіе не очень мало, то нѣкоторыя частицы, пройдя катодъ, нейтрализуются и теряютъ свой зарядъ; иногда онѣ вновь пріобрѣтаютъ зарядъ, іонизируясь при столкновении съ корпёслями. Если этотъ процессъ происходитъ какъ передъ катодомъ, такъ и за нимъ, то различныя частицы должны обладать различной кинетической энергіей, въ зависимости отъ времени, въ теченіе котораго онѣ находились въ заряженномъ состояніи. Іонизація и нейтрализація должна производиться не свободными корпёслями, а корпёслями, принадлежащими молекуламъ газа, черезъ который положительные лучи проходятъ. Въ темномъ пространствѣ передъ катодомъ существуетъ сильное

электрическое поле, въ которомъ свободныя корпёсли движутся гораздо быстрѣе частицъ, такъ что относительная скорость частицъ и свободныхъ корпёслей значительно превышаетъ относительную скорость частицъ и корпёслей, содержащихся въ молекулахъ, вслѣдствіе чего соединеніе положительно заряженныхъ частицъ и свободныхъ корпёслей представляется мало вѣроятнымъ; нейтрализація, однако, можетъ имѣть мѣсто, когда положительно заряженная частица, сталкиваясь съ нейтральной молекулой, лишаетъ ее корпёсли, присоединяя эту послѣднюю къ себѣ.

Противъ третьяго предположенія, а именно, что кинетическая энергія теряется вслѣдствіе столкновений въ разрядной трубкѣ частицъ съ молекулами того газа, черезъ который лучи проходятъ, можно возразить, что въ этомъ случаѣ на всѣхъ линіяхъ фотографической пластинки должны были бы наблюдаться одни и тѣ же измѣненія. Дѣйствительно, если бы всѣ частицы начинали свое движеніе съ границы темнаго пространства и теряли бы свою скорость вслѣдствіе столкновений, то мы должны были бы ожидать, что всѣ линіи окажутся сходными въ смыслѣ распредѣленія интенсивности вдоль параболъ. Между тѣмъ, на одной и той же фотографіи можно найти, какъ весьма короткія линіи, почти вся интенсивность которыхъ сосредоточена въ началѣ, такъ и болѣе длинныя, съ равномерной интенсивностью. Если бы было справедливо второе предположеніе, что положительныя частицы возникаютъ въ различныхъ мѣстахъ темнаго пространства вслѣдствіе іонизаціи быстро движущимися положительно заряженными частицами, то, мнѣ кажется, нѣтъ сомнѣній, что длина параболъ чрезвычайно возросла бы. Частицы, образовавшіяся вблизи катода, прошли бы на своемъ пути до катода гораздо меньшую разность потенциаловъ, чѣмъ частицы, возникшія дальше отъ катода, и,

слѣдовательно, ихъ скорость была бы меньше, а отклоненіе больше.

Дезинтеграція металловъ подѣйствиемъ положительныхъ лучей.

Когда положительные лучи встрѣчаютъ металлическую пластинку, то металлъ дезинтегрируется, а на стѣнкахъ трубки около пластинки появляется слой металла. Сюда же относится также хорошо извѣстное „распыленіе“ катода въ эвакуированной трубкѣ. Превосходный обзоръ многочисленныхъ опытовъ надъ распыленіемъ катода былъ данъ Кольшюттеромъ ¹⁾.

Опыты Гольборна и Остина, Гранквиста и Кольшюттера показываютъ, что при одной и той же силѣ тока, потеря въ вѣсѣ w катода въ теченіе даннаго промежутка времени опредѣляется по формулѣ слѣдующаго типа:

$$w = a \frac{A}{n} (V - S)$$

гдѣ V —катодное паденіе потенциала, A —атомный вѣсѣ металла, n —небольшое положительное цѣлое число, a и S —величины, либо приблизительно постоянныя для всѣхъ металловъ, либо постоянныя для металловъ одного класса, если всѣ металлы раздѣлить на нѣсколько опредѣленныхъ классовъ. Для силы тока въ 0,6 миллиампера, Гольборнъ и Остинъ нашли, что для всѣхъ испытанныхъ металловъ S равнялось 495 вольтъ. Какъ видно, формула приведеннаго типа указываетъ, что распыленіе можетъ имѣть мѣсто только при условіи, чтобы катодное паденіе потенциала превышало конечную величину S , что, повидимому, вполне подтверждается опытомъ.

Опыты Гольборна и Остина, Кольшюттера и другихъ показали, что это выраженіе для потери въ вѣсѣ

¹⁾ Kohlschütter. Jahrbuch der Radioaktivität, Juli, 1912.

катода непримѣнимо въ тѣхъ случаяхъ, когда V превосходитъ нѣкоторую величину; для водорода эта величина, повидимому, столь мала, что формула перестаетъ быть вѣрной раньше, чѣмъ потеря въ вѣсѣ можетъ стать ощутительной.

Потеря въ вѣсѣ для шести металловъ *Al, Fe, Cu, Pt, Ag, An*, была измѣрена Кольшюттеромъ и Мюллеромъ ¹⁾, а также Кольшюттеромъ и Гольдшмидтомъ ²⁾ въ газахъ H_2, He, N_2, O_2 и *Ar* при однихъ и тѣхъ же, по возможности, электрическихъ условіяхъ. Они нашли, что въ отношеніи потери въ вѣсѣ металлы, независимо отъ газа, располагаются въ вышенаписанный рядъ, причемъ больше всего теряетъ въ вѣсѣ золото, меньше всего алюминій. Для одного и того же металла, но въ различныхъ газахъ, потеря зависитъ отъ атомнаго вѣса газа, такъ что наименьшая потеря наблюдается въ водородѣ, наибольшая въ аргонѣ. Возможно, что этотъ фактъ связанъ съ тѣмъ, что элементы съ бѣльшимъ атомнымъ вѣсомъ въ состояніи удерживать бѣльшее число положительныхъ зарядовъ, нежели легкіе элементы, такъ какъ энергія многократно заряженныхъ частицъ при встрѣчѣ съ катодомъ больше, чѣмъ у частицъ съ однимъ только зарядомъ. Нетрудно представить себѣ въ общихъ чертахъ, что положительныя частицы, обладающія бѣльшимъ запасомъ энергіи, могутъ при встрѣчѣ съ атомомъ катода сообщить ему достаточную энергію, чтобы онъ могъ покинуть катодъ. Однако, полная теорія этого явленія еще не создана; несомнѣнно, что на многія важныя свойства атома былъ бы брошенъ свѣтъ, если бы удалось объяснить нѣкоторыя наибѣлье замѣчательные факты, напримѣръ, приблизительное постоянство величины S для многихъ ме-

¹⁾ Kohlschütter u. Müller. Zeitschr. f. Elektroch. 12 p. 365. 1906.

²⁾ Kohlschütter u. Goldschmid, *ibid.* 14 p. 221. 1908.

талловъ съ весьма различными физическими и химическими свойствами.

Дехендъ и Гаммеръ ¹⁾ пропускали черезъ отверстие катода положительные лучи, полученные въ сѣрководородѣ, отклоняли ихъ магнитнымъ и электрическимъ полями и заставляли падать на пластинку полированного серебра; на пластинкѣ можно было замѣтить параболы, но въ то время, какъ на мѣстахъ, соответствующихъ водороднымъ параболамъ, пластинка стала лишь матовой, болѣе тяжелые атомы, вѣроятно, сѣры, столь сильно воздѣйствовали на пластинку, что соответствующія параболы оказалось невозможнымъ удалить ни дѣйствіемъ кислотъ, ни полировкой. Однако, наибольшее воздѣйствіе на пластинку оказали лучи неотклоненные. Но этимъ не ограничивается дѣйствіе положительныхъ лучей на металлическую пластинку: Шмидтъ показалъ, что вся поверхность металла окисляется, если только онъ способенъ окисляться и если окружающій газъ содержитъ кислородъ. При прохожденіи положительныхъ лучей черезъ кислородъ образуются весьма химически - активные атомы кислорода, которые и взаимодействуютъ съ пластинкой. Если же, съ другой стороны, окисленная пластинка помещается въ водородъ и подвергается дѣйствію положительныхъ лучей, то окись возстанавливается, такъ какъ при прохожденіи лучей образуются атомы водорода, дѣйствующие, какъ весьма энергичный восстановитель.

Нѣкоторые изъ атомовъ, входящихъ въ составъ положительныхъ лучей, повидимому, могутъ проникать внутрь металла, съ которымъ они сталкиваются, и либо вступаютъ въ соединеніе съ нимъ, либо поглощаются. Это въ особенности относится къ гелію, неону и парамъ ртути. Если пользоваться катодомъ, находившимся

¹⁾ v. Dechend u. W. Hammer. Zeitschr. f. Elektroch. 17. 235.

когда-либо въ одномъ изъ этихъ газовъ, то положительные лучи названныхъ газовъ наблюдаются и тогда, когда трубка наполнена иными газами и требуется продолжительное пропускание разряда и многократное наполнение трубки свѣжимъ газомъ, чтобы исчезли упомянутые лучи.

Превосходная библиографія изслѣдованій о положительныхъ лучахъ была опубликована Фѣльчеромъ ¹⁾.

Неонъ и его спутникъ ²⁾.

Было бы весьма интересно выяснить происхождение линіи, соответствующей атомному вѣсу 22: ни одинъ изъ извѣстныхъ элементовъ не обладаетъ такимъ атомнымъ вѣсомъ; точно также никакое соединеніе извѣстныхъ элементовъ не удовлетворяетъ этому условию. Я думаю, что въ данномъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ новымъ элементомъ.

Хотя соединеніе NeH_2 обладаетъ такимъ атомнымъ вѣсомъ, однако, трудно сомнѣваться, что линія принадлежитъ элементу. На фотографіи можно найти линію, для которой $\frac{m}{e} = 11$, а линія, соответствующая $\frac{m}{e} = 22$, продолжена на половину разстоянія отъ оси; это указываетъ, что соответствующія частицы могутъ обладать двойнымъ зарядомъ. Атомы элементовъ часто встрѣчаются съ двойнымъ зарядомъ. Но мнѣ не извѣстенъ ни одинъ случай, когда молекула сложнаго соединенія удерживала бы болѣе одного заряда.

¹⁾ G. Fulcher. Smithsonian Miscellaneous Collection, 5 p. 295, 1909.

²⁾ Уже было сообщено, что въ жидкомъ воздухѣ Томсонъ нашель наряду съ неономъ (атомный вѣсъ 20) новый, неизвѣстный еще газъ съ атомнымъ вѣсомъ, равнымъ 22.

Въ таблицу Менделѣева элементъ съ атомнымъ вѣсомъ 22 не помѣщается, если только мы не сдѣлаемъ допущенія, что около неона группируются два или болѣе элементовъ со сходными свойствами, какъ это имѣеть мѣсто въ другой части таблицы въ группѣ желѣза, никкеля или кобальта.

Ф. В. Астонъ произвелъ въ Кэвендишевской лабораторіи много опытовъ, пытаясь отдѣлить новый газъ отъ неона, атомный вѣсъ котораго равенъ 20. Сперва онъ примѣнилъ фракціонировку смѣси обоихъ газовъ, поглощая ихъ кокосовымъ углемъ, охлажденнымъ жидкимъ воздухомъ. Поглощеніе для большинства газовъ растетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ атомнаго вѣса, но такъ какъ атомные вѣса обоихъ газовъ—20 и 22—весьма мало разнятся, то онъ устроилъ особый приборъ, въ которомъ поглощеніе повторялось столько разъ, что въ концѣ концовъ относительное содержаніе неона и новаго газа въ смѣси должно было бы замѣтно измѣниться, предполагая, разумѣется, что новый газъ поглощается настолько же сильнѣе неона, какъ это же можно было бы ожидать на основаніи ихъ атомныхъ вѣсовъ по аналогіи съ другими газами. Онъ не могъ, однако, замѣтить никакого измѣненія въ соотношеніи обоихъ газовъ въ смѣси послѣ фракціонировки. Для измѣренія же измѣненія соотношенія онъ воспользовался двумя методами: 1) сравнивая интенсивность обѣихъ линій на фотографіи положительныхъ лучей; 2) измѣряя плотность смѣси особыми кварцевыми вѣсами, которые позволяли отмѣтить измѣненіе соотношенія даже въ нѣсколько процентовъ; мы можемъ отсюда заключить, что физическія свойства обоихъ газовъ гораздо болѣе близки, чѣмъ этого можно было бы ожидать на основаніи ихъ атомныхъ вѣсовъ.

Другой методъ фракціонировки, примѣненный г. Астономъ, оказался болѣе успѣшнымъ: онъ заставлялъ

смѣсь обоихъ газовъ диффундировать черезъ пористое вещество, а именно, черезъ мундштукъ глиняной трубки. Болѣе легкій газъ диффундировалъ скорѣе болѣе тяжелаго; этимъ путемъ удалось добиться достаточно сильнаго измѣненія соотношенія, что было отмѣчено какъ кварцевыми вѣсами, такъ и измѣненіемъ интенсивности линій на фотографіи. Однако, въ спектрѣ смѣси нельзя было замѣтить никакихъ измѣненій; этотъ фактъ, равно какъ и безуспѣшность поглощенія углемъ, наводятъ на мысль, что оба газа, несмотря на ихъ различный атомный вѣсъ, неразличимы въ своихъ химическихъ и спектральныхъ свойствахъ. Аналогичное явленіе наблюдается и въ области радиоактивныхъ превращеній: такъ, напримѣръ, радио-свинецъ и торій обладаютъ различными атомными вѣсами, но никакимъ, повидимому, химическимъ процессомъ ихъ нельзя отдѣлить одинъ отъ другого.

Природа газа X_3 .

Однимъ изъ наиболѣе удобныхъ способовъ полученія X_3 является бомбардировка поташа (KOH) катодными лучами. Я подвергалъ бомбардировкѣ нѣсколько граммъ поташа въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ, откачивая каждый день выдѣленные бомбардировкой газы, состоящіе изъ H_2 , O_2 и X_3 , и все-таки не могъ замѣтить никакого уменьшенія въ количествѣ выдѣляемаго X_1 . При бомбардировкѣ поташа получается смѣсь водорода, кислорода и X_3 ; съ этой смѣсью я произвелъ рядъ опытовъ, выяснившихъ многія свойства X_3 . Чтобы убѣдиться, дѣйствительно ли въ смѣси содержится X_3 , я вводилъ небольшое количество смѣси въ разрядную трубку и фотографировалъ положительные лучи; интенсивность линіи, соответствующей X_3 , позволяла судить о приблизительномъ количествѣ этого газа въ смѣси. Раньше, чѣмъ при-

ступить къ опыту, я тщательно прополаскивалъ трубку кислородомъ и фотографировалъ лучи, чтобы убѣдиться въ отсутствіи X_3 до введенія испытуемой смѣси. Если X_3 находится въ смѣси съ парами ртути, то при пропускании разряда черезъ эту смѣсь, X_3 соединяется съ ртутью. Другое свойство X_3 было открыто случайно: смѣсь, выдѣляемая поташемъ при бомбардировкѣ, собиралась каждый день и оставлялась для дальнѣйшихъ опытовъ. Оказалось, что нѣкоторыя порціи сохранялись лучше другихъ, что, можетъ-быть, зависѣло отъ различія въ яркости освѣщенія, которому подвергались различныя порціи. Для провѣрки этого предположенія кусокъ магніевой проволоки былъ сожженъ около одной изъ порцій, содержащей значительное количество X_3 , послѣ чего эта порція оказалась почти совершенно лишенной X_3 . Газъ, подвергнутый освѣщенію, состоялъ изъ водорода, кислорода и X_3 ; когда же кислородъ былъ удаленъ изъ смѣси охлаждаемымъ жидкимъ воздухомъ, то освѣщеніе не вліяло на X_3 ; ясно, что X_3 соединяется съ кислородомъ подъ дѣйствіемъ свѣта. Если же смѣсь находится въ темнотѣ, или, если кислородъ удаленъ, то X_3 сохраняется въ теченіе долгаго времени, во всякомъ случаѣ, въ теченіе нѣсколькихъ недѣль. Далѣе, если пропускать сильную искру черезъ содержащую кислородъ смѣсь, такъ, чтобы произошелъ сильный взрывъ, то X_3 исчезаетъ, соединяясь, повидимому, съ кислородомъ. Если же кислородъ удаленъ изъ смѣси, то даже продолжительное пропускание искры черезъ оставшуюся смѣсь водорода и X_3 не вліяетъ замѣтнымъ образомъ на X_3 .

Тотъ фактъ, что искра разрушаетъ X_3 въ присутствіи кислорода, чрезвычайно затрудняетъ удаленіе изъ смѣси водорода, являющагося ея главной составной частью. Наиболѣе дѣйствительнымъ способомъ увеличенія содержанія X_3 въ смѣси оказался слѣдую-

щій: сперва удаляется кислородъ, затѣмъ оставшаяся смѣсь водорода и X_3 помѣщается въ сосудъ, снабженный палладіевою трубкой; если нагрѣть палладій до-красна, то водородъ диффундируетъ черезъ него бы-стрѣе, чѣмъ X_3 , хотя этотъ послѣдній тоже отчасти проходитъ черезъ палладій. Въ концѣ концовъ про-центное содержаніе X_3 въ газѣ, оставшемся въ сосудѣ, значительно возрастаетъ. Однако, въ первоначальной смѣси водородъ находится въ такомъ избыткѣ, что даже описаннымъ способомъ я не могъ получить смѣси, гдѣ водородъ не преобладалъ бы.

Другое интересное свойство X_3 состоитъ въ томъ, что помѣщенный въ кварцевую трубку съ окисью мѣди, онъ исчезаетъ при нагрѣваніи трубки до-красна.

Въ отсутствіи же кислорода и окиси мѣди, X_3 не разрушается при нагрѣваніи до высокой температуры. Припоминая все сказанное о свойствахъ X_3 , мы видимъ, что этотъ газъ непрерывно выдѣляется при бомбардировкѣ веществъ, содержащихъ водородъ; вещества же, водорода не содержащія, могутъ дать лишь ограни-ченное количество X_3 . Далѣе, при нѣкоторыхъ усло-віяхъ, какъ то при дѣйствіи сильнаго свѣта, при про-пусканіи сильной искры въ присутствіи кислорода, при соприкосновеніи съ раскаленной окисью мѣди, X_3 со-единяется съ кислородомъ. Все это приводитъ къ за-ключенію, что X_3 есть не что иное, какъ трехатом-ный водородъ H_3 . Если это такъ, то свойства этого соединенія весьма любопытны. Его существованіе, въ противоположность озону O_3 , не можетъ быть согла-совано съ нашими обычными воззрѣніями на валент-ность. Если же допустить, что атомъ водорода состоитъ изъ положительнаго ядра и отрицательной корпѣсли, то онъ будетъ дѣйствовать, подобно магниту, и нѣтъ причины думать, что три такихъ атома не могутъ уста-новиться въ замкнутое и устойчивое кольцо.

Прочность X_3 значительно больше, чѣмъ у озона O_3 ; этотъ послѣдній ни въ какомъ случаѣ не можетъ сохраняться столь долго, какъ X_3 ; онъ разрушается при сравнительно низкой температурѣ, совершенно не вліяющей на X_3 ; онъ исчезаетъ подѣ дѣйствіемъ разряда, далеко недостаточнаго для уничтоженія X_3 . Однимъ словомъ, X_3 является наиболѣе, повидимому, прочнымъ изъ всѣхъ извѣстныхъ намъ аллотропическихъ измѣненій какого-бы то ни было элемента.

Было произведено много попытокъ спектроскопически изслѣдовать X_3 ; смѣсь этого газа съ водородомъ помѣщалась въ кварцевую трубку, снабженную внѣшними электродами изъ станиоля, затѣмъ пропускался разрядъ, и спектръ фотографировался. Однако, не удалось найти никакихъ линій, которыя можно было бы приписать X_3 , видны были только яркій первый и второй спектръ водорода, а также линіи ртути, несмотря на всѣ попытки удалить ртутные пары.

Бомбардировка катодными лучами не является единственнымъ способомъ полученія X_3 . Я нагрѣвалъ электрическимъ токомъ помѣщенную въ хорошемъ вакуумѣ тонкую танталовую нить, употребляемую для лампочекъ накаливанія, пока нить не расплавилась; оказалось, что при этомъ выдѣлилось значительное количество X_3 . Нѣсколько времени спустя я нашелъ, что X_3 выдѣляется также при разрядѣ черезъ эвакуированную трубку, снабженную катодомъ Венельта. Впослѣдствіи оказалось, что нѣтъ необходимости пропускать разрядъ черезъ эту трубку, а достаточно нагрѣвать катодъ. Наконецъ, если помѣстить въ вакуумъ значительное количество поташа, то черезъ нѣкоторое время само собой выдѣляется замѣтное количество X_3 .

Перевелъ А. Таргонскій.

М. М. Глаголевъ.

Интерференція рентгеновыхъ лучей.

Въ декабрь 1895 года въ физико-математическомъ обществѣ въ Вюрцбургѣ проф. Рентгенъ сдѣлалъ предварительное сообщеніе объ открытіи имъ новаго, до той поры неизвѣстнаго, рода лучей. Едва ли какое-либо открытіе въ области физики возбуждало такой всеобщій интересъ и было такъ обсуждаемо въ періодической печати, какъ это новое открытіе. Все вниманіе было обращено на одну особенность X-лучей, на возможность видѣть простыми способами то, что недоступно для глаза. Новые лучи легко проходятъ чрезъ тѣла, въ составъ которыхъ входятъ элементы съ небольшимъ атомнымъ вѣсомъ, дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, вызываютъ свѣченіе нѣкоторыхъ солей. Эти свойства нашли широкое примѣненіе въ хирургіи и явились новыми діагностическими методами. Появились рентгенологическіе кабинеты, быстро развивалась техника полученія интенсивныхъ рентгеновыхъ лучей.

Между тѣмъ, не въ этихъ демонстративныхъ опытахъ заключается сущность великаго открытія. Лучи Рентгена не отражаются правильно отъ зеркальной поверхности, не преломляются при переходѣ изъ од-

ной среды въ другую, ионизируютъ газы, дѣлая ихъ проводникомъ электричества, не отклоняются магнитнымъ полемъ и др. Для ученаго физика представляютъ наибольшій интересъ именно эти свойства, указывающіе на обособленное положеніе рентгеновыхъ лучей среди извѣстныхъ намъ видовъ лучистой энергіи и дающіе методы для рѣшенія цѣлаго ряда вопросовъ.

Несмотря на широкое примѣненіе рентгеновыхъ лучей, несмотря на легкость ихъ полученія, вопросъ о характерѣ того электромагнитнаго процесса, который происходитъ въ средѣ излучающей и въ средѣ, передающей рентгеновы лучи, до послѣдняго времени оставался неяснымъ.

Вскорѣ послѣ открытія Рентгена Стоксъ, Вихертъ и Ж. Томсонъ высказали предположеніе, что эти лучи представляютъ собою электромагнитные импульсы, которые возникаютъ въ эфирѣ, когда электронъ внезапно измѣняетъ скорость. Длина импульса $l = ct$, гдѣ t — время отъ начала измѣненія скорости до полной остановки электрона и c — скорость свѣта. Въ пользу такого представленія говоритъ уже одно то обстоятельство, что рентгеновы лучи, въ отличіе отъ катодныхъ, закатодныхъ и др. лучей, гдѣ имѣется потокъ заряженныхъ частицъ, не отклоняются магнитнымъ полемъ.

Для того, чтобы составить представленіе о порядкѣ длины рентгеновскаго импульса, исходили изъ различныхъ соображеній. Такъ, напримѣръ, В. Винъ изъ величины энергіи катодныхъ и рентгеновыхъ лучей опредѣляетъ длину импульса при 59.000 volt напряженія $l = 1,38 \cdot 10^{-10}$ ст.

Изъ отсутствія преломленія рентгеновыхъ лучей изъ формулы дисперсіи Кеттелера - Гельмгольца Ванъ-деръ-Ваальсъ и др. устанавливають тождество короткихъ свѣтовыхъ волнъ съ рентгеновыми лучами.

Изъ теоріи атомовъ свѣта Зоммерфельдъ опредѣляетъ длину импульса между 10^{-8} и 10^{-9} см.

Всѣ подобныя соображенія приводили къ заключенію, что рентгеновы импульсы гораздо короче свѣтовыхъ.

Явленія интерференціи и диффракціи даютъ намъ возможность разложить импульсъ бѣлаго свѣта на рядъ отдѣльныхъ монохроматическихъ колебаній и опредѣлить ихъ длину волны.

Со времени открытія Рентгена были неоднократно сдѣланы попытки и въ области рентгеновыхъ лучей найти явленіе, аналогичное явленію интерференціи и диффракціи, и такъ или иначе опредѣлить длину волны этихъ лучей, или, по крайней мѣрѣ, выяснитъ порядокъ длины импульса, характеризующаго рентгеновскій лучъ.

Наиболѣе тщательные опыты въ этомъ отношеніи были сдѣланы Хага и Винд'омъ ¹⁾. Въ этихъ опытахъ рентгеновы лучи, проходя чрезъ очень узкую щель (ширина = 15μ), падали затѣмъ на клинообразную щель, находящуюся на разстояніи 75 см. отъ первой. Наибольшая ширина клинообразной щели = 27μ . По выходѣ изъ второй щели лучи принимались на фотографическую пластинку. По аналогіи съ видимымъ свѣтомъ можно было ожидать отклоненія лучей отъ прямолинейнаго распространенія, а слѣдовательно и расширенія клинообразнаго изображенія щели на фотографической пластинкѣ въ наиболѣе узкой ея части. Хага и Виндъ констатировали ожидаемое расширеніе клинообразнаго изображенія щели, начиная съ ширины щели, равной 7μ . Вальтеръ и Поль ²⁾, однако, указали, что наблюденное Хага и Винд'омъ расширеніе есть оптическій обманъ. Они повторили тѣ же опыты болѣе тщательно, причемъ ширина первой щели равнялась 6μ , въ клинообразной же щели

¹⁾ H. Haga und C. H. Wind, Ann. d. Ph., 10, 305. 1903.

²⁾ B. Walter und R. Pohl, Ann. d. Ph. 25, 715. 1908.

ширина измѣнялась отъ 20μ до 0. Для ширины щели отъ 20 до 2μ не наблюдалось замѣтной разницы между геометрической шириной изображенія и дѣйствительной. Если извѣстно разстоянiе между щелями и разстоянiе фотографической пластинки отъ клинообразной щели, то по извѣстнымъ формуламъ, выведеннымъ для періодическаго излученія, легко вычислить верхній предѣлъ длины волны λ . Изъ измѣреній Вальтера и Поля слѣдуетъ, что въ Рентгеновыхъ лучахъ нѣтъ періодическаго излученія съ длиной волны $\geq 1,2 \cdot 10^{-9}$ см. (Длина волны видимаго свѣта отъ краснаго до фіолетоваго равна $8 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-5}$ см.).

Теоретическія изслѣдованія Зоммерфельда³⁾ и фотографически-фотометрическія измѣренія П. П. Кохомъ⁴⁾ снимковъ Вальтера и Поля приводятъ къ длинѣ волны $\lambda = 4 \cdot 10^{-9}$ ст.

Изъ этихъ опредѣленій видно, что длина волны въ рентгеновскомъ излученіи значительно меньше волны самыхъ короткихъ ультрафіолетовыхъ колебаній ($1 \cdot 10^{-5}$ ст.). Всѣ обычные приборы, служащіе для полученія явленій интерференціи и диффракціи видимаго свѣта, слишкомъ грубы для полученія такихъ же явленій въ рентгеновыхъ лучахъ. Эти приборы должны быть, слѣдовательно, построены по иному масштабу.

Лѣтомъ 1912 года Лауэ⁵⁾ въ Мюнхенѣ высказалъ удивительную по своей простотѣ мысль, воспользоваться въ качествѣ диффракціонной рѣшетки для короткихъ рентгеновыхъ импульсовъ правильнымъ расположеніемъ молекулъ въ кристаллахъ. Еще старая теорія Бравэ относительно структуры кристалловъ предполагала, что во всякомъ кристаллѣ молекулы расположены въ опредѣленномъ порядкѣ, на опредѣлен-

³⁾ A. Sommerfeld, Ann. d. Ph. 38, 473, 1912.

⁴⁾ P. P. Koch, Ann. d. Ph. 38, 507, 1912.

⁵⁾ Laue, Sitzungsber. Bayer Akad. d. Wiss, 303, 1912.

ныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Совокупность такихъ молекулъ образуетъ нѣкоторую пространственную рѣшетку, строеніе которой различно въ различныхъ типахъ кристалловъ.

Съ другой стороны, изслѣдованія Баркла, произведенныя въ послѣднія пять лѣтъ, показали, что каждый химическій элементъ, атомный вѣсъ котораго больше 27, будучи подверженъ дѣйствію рентгеновыхъ лучей, испускаетъ вторичные, однородные лучи, зависящіе только отъ состава самаго вещества. Изслѣдованія показали, что коэффициентъ поглощенія этихъ лучей при прохожденіи ихъ чрезъ различныя поглощающія среды (тонкія пластинки алюминія, цинка, мѣди и др.) остается постояннымъ и не зависитъ отъ того, пропускаются ли они предварительно чрезъ какое-либо вещество или нѣтъ.

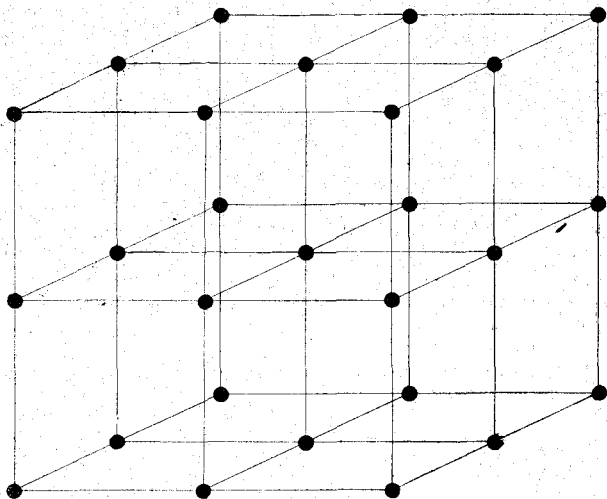
Первичные лучи, выходящіе отъ антикатада рентгеновской трубки, не обладаютъ этимъ свойствомъ. Постоянство коэффициента поглощенія вторичныхъ, характеристичныхъ для каждаго вещества, лучей позволяетъ думать, что въ этихъ лучахъ мы имѣемъ монохроматическія колебанія съ очень короткой длинной волны.

Предположимъ теперь, что мы пропускаемъ рентгеновскіе лучи отъ обычной технической трубки чрезъ какой-нибудь кристаллъ. Тогда каждый атомъ этого кристалла становится источникомъ монохроматическихъ колебаній. А такъ какъ атомы по теоріи Бравэ въ кристаллѣ расположены въ строго опредѣленномъ порядкѣ, то можно ожидать, что въ нѣкоторыхъ направленіяхъ, въ которыхъ разность хода между лучами, исходящими отъ отдѣльныхъ атомовъ кристалла, равна цѣлому числу волнъ, будетъ усиленіе свѣта.

Опредѣлимъ эти направленія для одного, наиболѣе простаго типа пространственной рѣшетки, напр., про-

стой кубической, гдѣ молекулы кристалла расположены по тремъ взаимно-перпендикулярнымъ направлѣніямъ на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга (черт. 1).

Разсмотримъ три ряда молекулъ, расположенныхъ



Черт. 1.

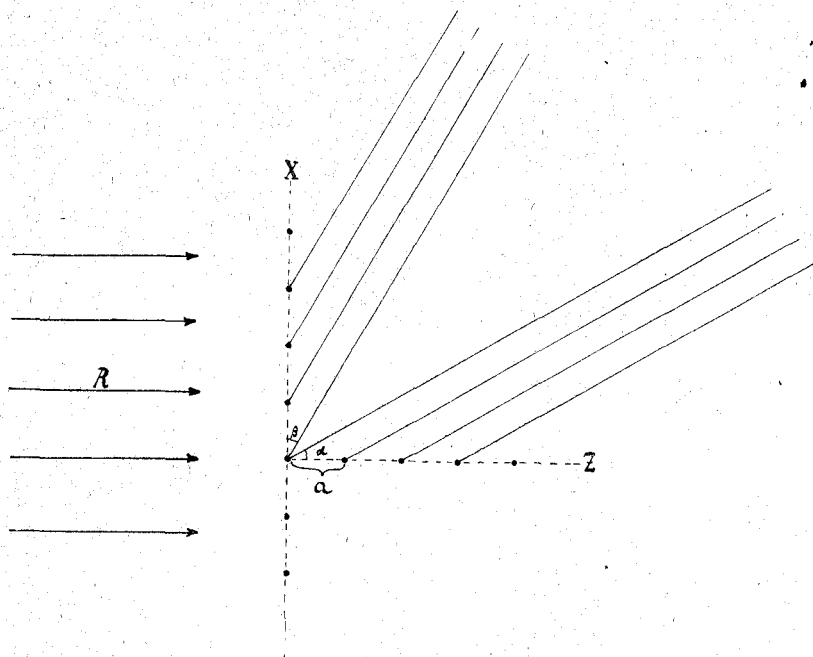
по тремъ взаимно-перпендикулярнымъ направлѣніямъ X , Y , Z , (черт. 2), причемъ направлѣніе первичныхъ рентгеновыхъ лучей R совпадаетъ съ направлѣніемъ Z (черт. 2); обозначимъ разстояніе между молекулами чрезъ a . Разность хода двухъ послѣдовательныхъ лучей на оси Z , очевидно, равна

$$a - a \cos \alpha = a (1 - \cos \alpha).$$

Если эта разность равна цѣлому числу волнъ, т.-е. $a (1 - \cos \alpha) = h\lambda$, гдѣ $h = 1, 2, 3, \dots$, то получимъ усиленіе свѣта. Отсюда

$$\cos \alpha = h \frac{\lambda}{a} - 1.$$

Мы получаемъ, слѣдовательно, рядъ коническихъ поверхностей вокругъ оси Z , на каждой изъ которыхъ совпадаютъ фазы лучей, исходящихъ изъ продольнаго ряда молекулъ.



Черт. 2.

Разсмотримъ рядъ молекулъ, перпендикулярныхъ пучку по оси X . Въ направленіи, образующемъ уголъ β съ осью X , получимъ разность хода $= a \cos \beta$. Фазы лучей будутъ совпадать, когда $a \cos \beta = h\lambda$, отсюда $\cos \beta = h \frac{\lambda}{a}$, гдѣ $h = 1, 2, 3, \dots$

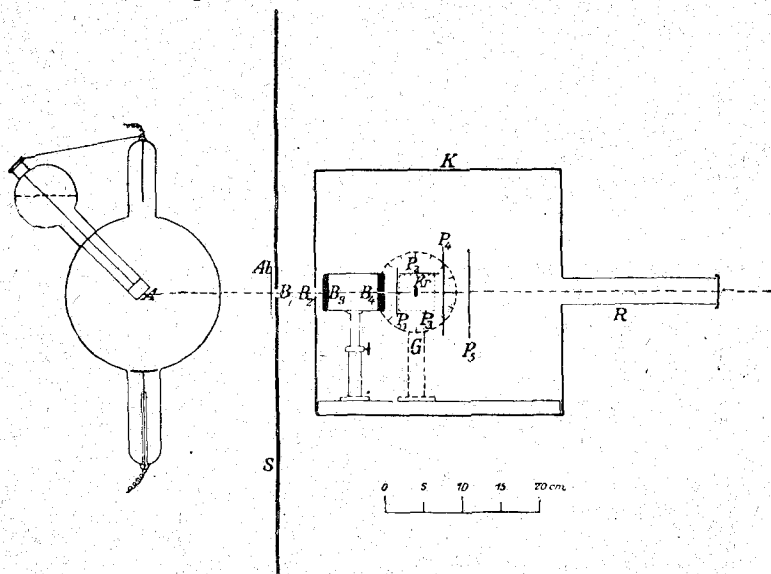
Точно также для молекулъ, расположенныхъ по

оси Y , перпендикулярной плоскости чертежа, получимъ

$$\cos \gamma = h \frac{\lambda}{a}.$$

Мы имѣемъ, слѣдовательно, еще два ряда коническихъ поверхностей, характеризующихся тѣмъ, что во всѣхъ точкахъ этихъ поверхностей фазы сосѣднихъ колебаній совпадаютъ.

На фотографической пластинкѣ, поставленной по-



Черт. 3.

зади кристалла перпендикулярно направленію первичнаго пучка, отъ первой системы коническихъ поверхностей мы получимъ рядъ окружностей, отъ второй и третьей рядъ эллипсовъ и гиперболъ. Замѣтные максимумы мы получимъ, очевидно, въ тѣхъ мѣстахъ фотографической пластинки, гдѣ пересекаются одновременно три поверхности изъ указанныхъ системъ, по-

лучимъ, вообще говоря, въ разныхъ направленіяхъ рядъ точекъ, въ которыя придуть колебанія съ одинаковыми фазами отъ всѣхъ молекулъ кристалла.

По инициативѣ Лауз, Фридрихомъ и Книппингомъ въ институтѣ теоретической физики въ Мюнхенѣ были поставлены соответствующіе опыты. Очень тонкій пучокъ рентгеновыхъ лучей пропускался чрезъ кристаллъ

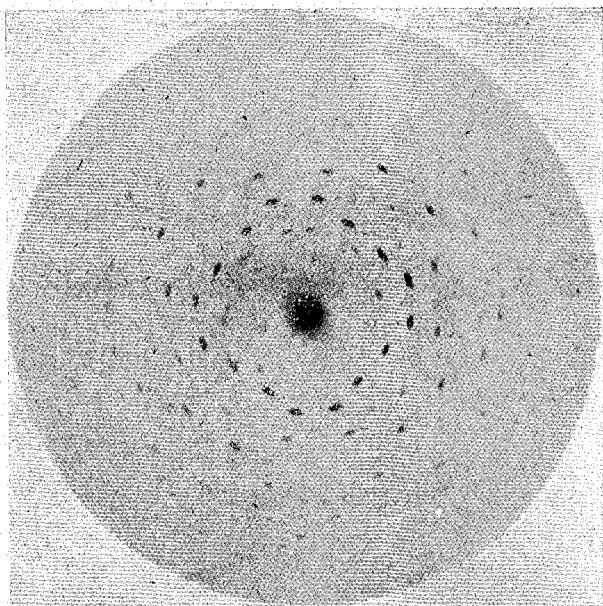


Рис. 4₁.

цинковой обманки ($Zn S$) перпендикулярно плоскости куба. Общая схема расположенія приборовъ показана на чертежѣ 3. Изъ лучей, выходящихъ отъ антиматоды рентгеновой трубки A , путемъ ряда діафрагмъ B_1 , B_2 , B_3 и B_4 выдѣлялся пучокъ около 1 м.м. діаметромъ. Этотъ пучокъ проходилъ далѣе чрезъ кри-

сталль K , установленный на гониометръ G . Позади кристалла, съ боковъ и сверху были поставлены фотографическія пластинки P_1 , P_2 , P_3 и P_4 , на которыхъ можно было ожидать полученія темныхъ пятенъ отъ интерференціонныхъ максимумовъ. Для защиты пластинокъ отъ дѣйствія постороннихъ рентгеновыхъ лучей вся система—кристалль, гониометръ и фотографическія пластинки—заклучалась въ свинцовый ящикъ K . Позади ящика была устроена труба R , въ которую попадали первичные рентгеновы лучи по выходѣ ихъ изъ кристалла и пластинки, для того, чтобы дѣйствіе вторичныхъ лучей отъ задней поверхности ящика на фотографическую пластинку сдѣлать возможно меньшимъ.

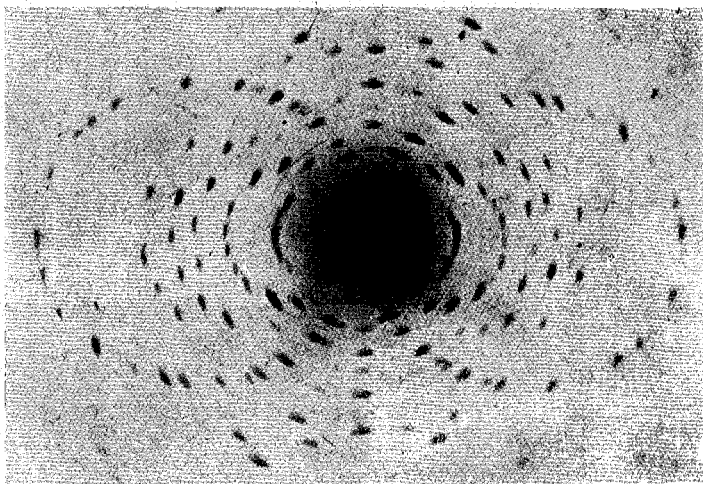
Послѣ цѣлаго ряда очень продолжительныхъ экспозицій (отъ 1—20 час.), Фридриху и Книппингу удалось получить на фотографической пластинкѣ рядъ темныхъ пятенъ въ различныхъ направленіяхъ. Рис. 4₁ есть снимокъ, полученный отъ кристалла цинковой обманки, при вышеуказанной ориентировкѣ кристаллографическихъ осей, на пластинкѣ, поставленной перпендикулярно первичному пучку. Центральное темное размытое пятно есть слѣдъ первичнаго пучка, проходящаго сквозь кристалль.

Смѣлая мысль, высказанная Лауз, получила такимъ образомъ блестящее подтвержденіе.

Кристаллы цинковой обманки принадлежатъ къ кубической системѣ. Въ основѣ пространственной рѣшетки этого типа кристалловъ лежитъ элементарный кубъ. Кристаллографическая ось, параллельная ребру куба, по направленію которой были направлены рентгеновы лучи, для наивысшей формы симметріи этой системы есть ось симметріи 4-го порядка, чрезъ которую можно провести четыре плоскости симметріи.

Снимокъ рис. 4₁ вполне соотвѣтствуетъ указанной симметріи.

На рис. 4₂ воспроизведенъ снимокъ, сдѣланный мной въ физическомъ институтѣ спб. университета при прохожденіи рентгеновыхъ лучей сквозь кристаллъ гипса (моноклиномѣрная система), направление лучей совпадало съ направлениемъ оси Y , перпендикулярной плоскости спайности (010). Элементарный полигонъ для этого типа кристалловъ есть параллелепипецъ, въ ко-

Рис. 4₂.

торомъ отношеніе сторонъ по осямъ X , Y , Z равно $0,6895 : 1 : 0,4132$, уголъ между осями X и Z равенъ $98^{\circ}58'$ и ось Y перпендикулярна къ двумъ другимъ осямъ. Ось Y есть ось симметріи второго порядка. Расположеніе пятенъ на рис. 4₂ соотвѣтствуетъ двойной оси симметріи: при вращеніи рис. около оси, проходящей чрезъ центръ темнаго пятна на 180° , всѣ точки совмѣстятся.

Какъ выше было указано, для кубической пространственной рѣшетки, при томъ расположеніи кристалла,

которое соответствует распределению пятен на рис. 4₁, косинусы угловъ, которые образуетъ направление интерференціоннаго максимума съ кристаллографическими осями, должны удовлетворять одновременно слѣдующимъ тремъ условіямъ:

$$\cos \alpha = h \frac{\lambda}{a} - 1$$

$$\cos \beta = h \frac{\lambda}{a}$$

$$\cos \gamma = h \frac{\lambda}{a}$$

Зная разстояніе фотографической пластинки отъ кристалла (для рис. 4 = 35,6 m.m.) и измѣривъ на пластинкѣ разстояніе каждаго пятна отъ центрального, легко вычислить эти косинусы. Въ формулы входитъ еще одна величина a , элементъ пространственной рѣшетки, разстояніе между центрами сосѣднихъ индивидуумовъ въ кристаллѣ (атомовъ, молекулъ или группъ молекулъ), находящихся въ вершинахъ элементарнаго куба и своею совокупностью образующихъ кристаллическую структуру вещества. Это разстояніе можетъ быть вычислено, если сдѣлать определенное допущеніе относительно числа молекулъ, находящихся въ вершинѣ каждаго элементарнаго куба. Число молекулъ въ граммъ-молекулѣ $N = 6,17 \cdot 10^{23}$; молекулярный вѣсъ для цинковой обманки ($Zn S$) $m = 65,4 + 32 = 97,4$, плотность $\delta = 4,06$. Если предположить, что въ вершинахъ каждаго элементарнаго куба находится по 1 молекулѣ $Zn S$, то можемъ написать:

$$a^3 N = \frac{m}{\delta},$$

такъ какъ обѣ части равенства представляютъ собою объемъ одной граммъ-молекулы цинковой обманки.

Отсюда $a = 3,38 \cdot 10^{-8}$ ст.

Если для какого-либо максимума найдены величины h , то на основаніи вышенаписанныхъ равенствъ и на основаніи тождества

$$\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1$$

можемъ легко получить

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{2h_3}{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2}$$

Лауэ вычислилъ величины h_1 , h_2 и h_3 для пятенъ рис. 4₁ и нашель, что для количественнаго воспроизведенія всѣхъ этихъ точекъ придется допустить пять длинъ волнъ, находящихся въ отношеніи 4:6:7:11:15. При указанномъ разсчетѣ величины a , длины волнъ получаютъ такія: 1,27; 1,90; 2,24; 3,55; 4,83 $\cdot 10^{-9}$ см. Абсолютныя значенія длинъ волнъ остаются вѣрными, очевидно, постольку, поскольку справедливо допущеніе, что въ вершинахъ элементарнаго куба находится по одной молекулѣ.

Въ описанномъ опытѣ остается, кромѣ того, открытымъ вопросъ о происхожденіи монохроматическихъ колебаній, дающихъ опредѣленный максимумъ. Это могутъ быть колебанія или внутри атомовъ кристалла, или въ антикатодѣ подъ вліяніемъ катодныхъ лучей. Какъ увидимъ дальше, работы Брэгга и Моселея дали въ этомъ отношеніи опредѣленный отвѣтъ.

Какъ бы то ни было, опытъ Лауэ является совершенно новымъ методомъ для изслѣдованія особаго рода электромагнитнаго излученія и открываетъ широкіе горизонты не только для излученія свойствъ лучистой энергіи, но и для рѣшенія ряда вопросовъ, поставленныхъ кристалло-физикой.

Естественно поэтому, что опытъ Лауэ вызвалъ всеобщій интересъ и, какъ увидимъ дальше, привелъ уже

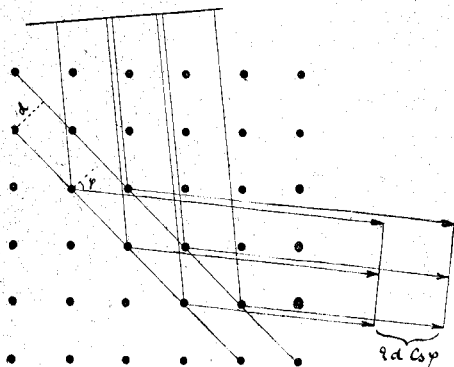
къ цѣлому ряду весьма интересныхъ результатовъ.

Въ ноябрѣ 1912 года В. Л. Брэггъ ¹⁾ высказалъ другую точку зрѣнія на происхождение пятенъ въ опытѣ Лауэ и далъ болѣе простой способъ расчета рентгенограммъ кристалловъ.

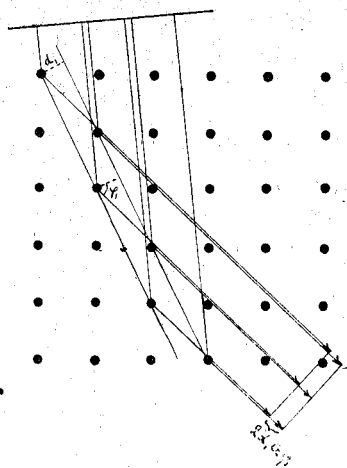
Когда электромагнитная волна падаетъ на зеркальную поверхность, то, какъ извѣстно, происходитъ отраженіе. По принципу Гюйгенса, для любой формы отражающей поверхности мы можемъ построить фронтъ отраженной волны (геометрическое мѣсто точекъ, находящихся въ одной и той же фазѣ колебанія), принявъ каждую точку этой поверхности за самостоятельный центръ колебанія. Такое построеніе мы можемъ сдѣлать и въ томъ случаѣ, когда отражающая поверхность состоитъ изъ ряда правильно расположенныхъ точекъ. Кристаллъ есть тѣло, молекулы котораго расположены въ опредѣленномъ порядкѣ, образуютъ пространственную рѣшетку. Проведемъ чрезъ произвольно взятую молекулу въ кристаллѣ какую-либо плоскость. На этой плоскости будетъ лежать опредѣленное число молекулъ. Вслѣдствіе періодичности въ строеніи кристалла мы найдемъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ этой плоскости вторую, параллельную первой, плоскость, на которой лежитъ такое же число молекулъ. Молекулы кристалла мы можемъ представить такимъ образомъ лежащими на рядѣ плоскостей, отстоящихъ другъ отъ другъ на опредѣленныхъ равныхъ разстояніяхъ. Предположимъ теперь, что на такую систему точекъ падаетъ плоская волна. Каждая изъ проведенныхъ нами плоскостей является зеркальной; построивъ по вышеуказанному для каждой изъ такихъ плоскостей поверхность отраженной волны мы увидимъ, что въ направленіи отра-

1) W. L. Bragg. Proc. Cambr. Phil. Society, XVII, p. 43, 1912.

женнаго луча идетъ рядъ плоскихъ волнъ съ нѣкото-
рой разностью хода. Если извѣстно разстояніе между
плоскостями d и уголъ паденія φ , то, какъ легко по-
казать, эта разность хода двухъ послѣдовательныхъ
плоскихъ волнъ будетъ равна $2d \cos \varphi$ (черт. 5).



Черт. 5.



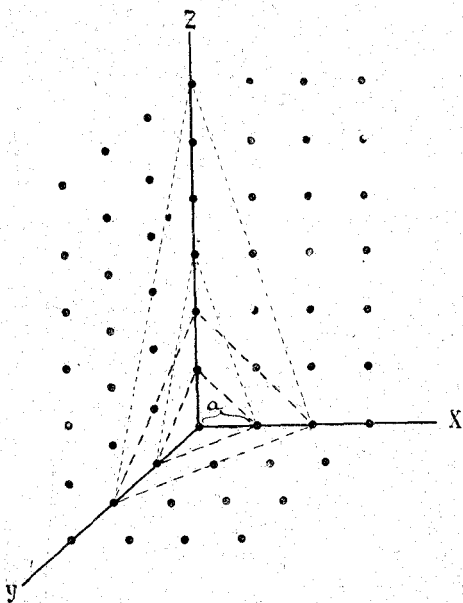
Черт. 6.

То же самое разсужденіе мы можемъ примѣнить и
для всякой другой плоскости, которую можно прове-
сти въ кристаллѣ. На черт. 6 показана другая система
плоскостей, на которыхъ можно представлять себѣ
расположенными всѣ молекулы кристалла. Рядъ отра-
женныхъ плоскихъ волнъ имѣетъ здѣсь другое на-
правленіе, иное, конечно, будетъ разстояніе между пло-
скостями и уголъ паденія φ .

Зная положеніе пятна на фотографической пла-
стинкѣ и разстояніе пластинокъ отъ кристалла, легко
можемъ найти положеніе системы плоскостей, „отра-
жающихъ“ въ данномъ направленіи.

Представимъ себѣ внутри пространственной куби-
ческой рѣшетки проведенными изъ одной какой-ни-

будь точки три взаимно перпендикулярныя оси X , Y , Z (Черт. 7) по направлениямъ, совпадающимъ съ направлениемъ граней элементарнаго куба. Направление каждой системы плоскостей, на которыхъ мы можемъ представить лежащими всѣ молекулы кристалла, можно опредѣлять отрѣзками, которые образуетъ одна плоскость изъ этой системы съ осями координатъ. Легко видѣть на черт. 7, что плоскости, отсѣкающія на осяхъ X , Y , Z отрѣзки $(a, a, 3a)$ и $(2a, 2a, 6a)$ и т. д., будутъ между собою параллельны.



Черт. 7.

Слѣдовательно, направление плоскостей достаточно характеризовать цѣлыми числами, пропорциональными отрѣзкамъ, въ нашемъ примѣрѣ $(1, 1, 3)$.

Въ кристаллографіи принято возможныя плоскости опредѣлять величинами, обратными отрѣзкамъ. Эти об-

ратныя величины—кристаллографическіе индексы, очевидно, также будутъ находиться въ рациональныхъ отношеніяхъ. Въ нашемъ примѣрѣ индексы плоскости будутъ (3, 3, 1). Для другой плоскости, которая отражаетъ на осяхъ величины a, a, a , индексы соответственно будутъ (1, 1, 1). Для каждого пятна на фотографическомъ снимкѣ (рис. 4₁) можно найти положеніе той плоскости, которая является отражающей въ

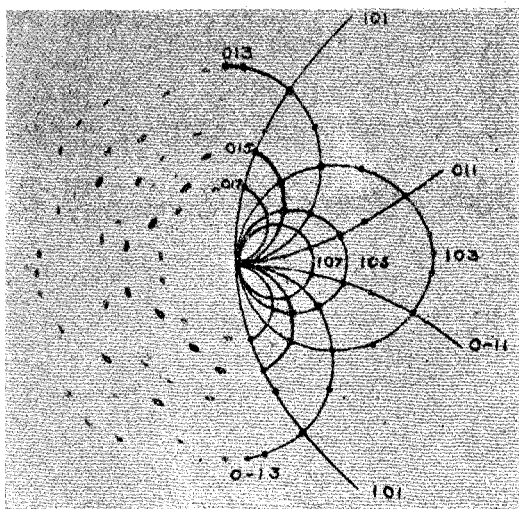


Рис. 8.

данномъ направленіи. Брэггъ произвелъ такія вычисления и оказалось, дѣйствительно, что эти плоскости для всѣхъ пятенъ рентнограммы обладаютъ рациональными индексами. На правой половинѣ рис. 8 въ точкахъ пересѣченія кривыхъ эллипсовъ и гиперболъ показаны вычисленные положенія пятенъ, съ указаніемъ индексовъ соответственныхъ отражающихъ плоскостей. 9

верхностей, въ лѣвой—дѣйствительное расположение точекъ. Мѣста точекъ, вычисленные и дѣйствительныя, вполне совпадаютъ. Подобное же вычисленіе можетъ быть произведено и для всякаго другого типа пространственной рѣшетки, если извѣстно расположение молекулъ въ элементарномъ параллелепипедѣ.

Вышеизложенное есть простое геометрическое сужденіе. Если допустить, по Лауэ, что интерференціонные максимумы на снимкѣ опредѣляются строго періодическими колебаніями длины волны λ , существующими въ молекулахъ кристалла или въ антикатодѣ трубки, то появленіе ихъ въ опредѣленныхъ направленіяхъ можно представить такимъ образомъ. Если разность хода двухъ послѣдовательныхъ волнъ, отражающихся отъ какой-либо системы плоскостей, равна цѣлому числу волнъ, то амплитуды колебаній сложатся, и мы получимъ усиленіе. Подобное истолкованіе появленія интерференціонныхъ максимумовъ ничѣмъ по существу не отличается отъ приведеннаго выше и есть только, можетъ-быть, болѣе простой способъ для расчета рентгенограммъ кристалловъ, геометрически дающій ту же самую картину, которую получалъ Лауэ изъ своихъ вычисленій.

В. Л. Брэггъ высказываетъ другую точку зрѣнія на происхожденіе интерференціонныхъ максимумовъ. Рентгеновылучи естественнѣе всего разсматривать состоящими изъ отдѣльныхъ короткихъ импульсовъ, въ которыхъ имѣются не только отдѣльныя синусоидальныя монохроматическія колебанія, но цѣлая широкая область сплошнаго спектра, какъ это мы имѣемъ, напр., въ бѣломъ свѣтѣ вольтовой дуги, лампы накаливанія и т. д. Когда такой неопредѣленный импульсъ падаетъ на пространственную рѣшетку, то, по вышеизложенному, мы можемъ построить направленіе отраженнаго импульса отъ той возможной плоскости, которая проведена

нами въ кристаллѣ. Первичный импульсъ падаетъ затѣмъ на рядъ параллельныхъ первой плоскостей и въ направленіи отраженнаго пучка мы будемъ имѣть рядъ неопредѣленныхъ импульсовъ, слѣдующихъ другъ за другомъ, какъ было выше указано, на разстояніи $2d \cos \varphi$. Въ направленіи отраженнаго пучка, слѣдовательно, создается нѣкоторая періодичность съ періодами $2d \cos \varphi$. Въ теоріи бѣлаго свѣта, данной Шустеромъ ¹⁾, роль плоской диффракціонной рѣшетки заключается въ томъ, что она изъ неопредѣленныхъ импульсовъ, составляющихъ бѣлый свѣтъ, какъ бы создаетъ періодическія колебанія. Роль пространственной рѣшетки кристалла для рентгеновыхъ лучей по аналогіи съ этимъ заключается въ созданіи періодическихъ колебаній съ длиной волны λ , $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{\lambda}{3}$, $\frac{\lambda}{4}$ и т. д., если основная длина волны $\lambda = 2d \cos \varphi$.

Число возможныхъ системъ плоскостей, на которыхъ можно представить себѣ расположенными всѣ молекулы кристалла, неограниченно велико. Каждая такая система дастъ свой рядъ импульсовъ, съ опредѣленнымъ періодомъ, такъ какъ для каждой системы величины d и φ имѣютъ различное значеніе. Число интерференціонныхъ максимумовъ—число пятенъ—должно быть поэтому также неограниченно велико, другими словами, на всей пластинкѣ зачерненіе было бы одно и то же. Тѣмъ не менѣе, на фотографіяхъ (рис. 4) получается очень ограниченное число рѣзкихъ пятенъ. Это обстоятельство легко можетъ быть объяснено слѣдующимъ образомъ. Сплошной рентгеновскій спектръ занимаетъ нѣкоторую ограниченную спектральную область и состоитъ изъ ряда непрерывно мѣняющихся длинъ волнъ. Распредѣленіе энергіи въ такомъ

¹⁾ См. О. О. Соколовъ. Новыя идеи въ физикѣ. Сборникъ № 5.

спектръ растетъ, съ одной стороны, достигаетъ нѣкотораго максимума и убываетъ по другую сторону.

Въ опредѣленномъ направленіи мы имѣемъ рядъ импульсовъ съ періодомъ $2d \cos \varphi$. Если, слѣдовательно, максимумъ энергіи въ рентгеновскомъ спектрѣ приходится для длины волны λ , равной $2d \cos \varphi$, то такая система дастъ намъ интенсивное отраженное пятно, ибо въ этомъ случаѣ амплитуды колебанія налагающихся импульсовъ сложатся. Всякая другая система плоскостей съ величинами d_1 и φ_1 , очевидно, будетъ давать отраженные лучи того участка спектра, который имѣетъ длину волны $\lambda_1 = 2d_1 \cos \varphi_1$. Если этотъ участокъ рентгеновскаго спектра обладаетъ меньшей энергіей, то интенсивность пятна будетъ соотвѣтственно меньше, мы будемъ имѣть, слѣдовательно, слабое зачернѣніе на соотвѣтствующемъ мѣстѣ пластинки. Всякая система плоскостей, которая создаетъ рядъ импульсовъ съ такимъ періодомъ, котораго нѣтъ въ сплошномъ рентгеновскомъ спектрѣ, не дастъ никакого максимума. Число точекъ и ихъ интенсивность, слѣдовательно, всецѣло опредѣляется шириной рентгеновскаго импульса и распределеніемъ энергіи въ его спектрѣ. На интенсивность пятна можетъ вліять еще и другой факторъ. Различныя плоскости, которыя мы можемъ провести въ кристаллѣ, будутъ обладать неодинаковой плотностью расположенныхъ на нихъ молекулъ. Естественныя грани кристалла суть плоскости, наиболѣе богатая молекулами. Поэтому можно ожидать, что естественныя грани кристалла, особенно же плоскости спайности, будутъ лучше другихъ отражать рентгеновы лучи. Для провѣрки правильности такого предположенія Брэггъ направилъ тонкій пучокъ рентгеновыхъ лучей на кристаллъ слюды такъ, что поверхность спайности была поставлена подъ угломъ паденія $\varphi = 80^\circ$. Лучи Рентгена могли свободно отражать-

ся отъ этой поверхности. Послѣ отраженія лучи падали на фотографическую пластинку. Черезъ 5 минутъ экспозиціи удалось получить на фотографической пластинкѣ, въ томъ мѣстѣ, куда должны падать правильно отраженные отъ поверхности спайности лучи, довольно замѣтное зачерненіе.

Разсматриваемый отраженный пучокъ, какъ выше было изложено, выдѣляетъ изъ неопредѣленнаго первичнаго импульса длины волнъ $\lambda = 2d \cos \varphi$, гдѣ d въ данномъ случаѣ разстояніе между плоскостями, параллельными плоскости спайности, $\varphi = 80^\circ$. Положимъ теперь, что поворотомъ кристалла мы измѣнили уголъ паденія первичныхъ лучей и сдѣлали этотъ уголъ равнымъ φ_1 , мало отличающимся отъ φ . Въ такомъ случаѣ, въ отраженномъ пучкѣ мы будемъ имѣть выдѣленными изъ первичнаго рентгеновскаго импульса лучи съ длиной волны $\lambda_1 = 2d \cos \varphi_1$. Если бы пятна на снимкѣ являлись по Лауэ результатомъ интерференціи строго монохроматическихъ колебаній съ длиной волны $\lambda = 2d \cos \varphi$, то при поворотѣ кристалла на уголъ φ_1 , мы должны были бы наблюдать исчезновеніе пятна, такъ какъ основное условіе для полученія интерференціоннаго максимума (разность хода равна цѣлому числу волнъ) въ этомъ случаѣ не имѣло бы мѣста. Наоборотъ, если пятна являются результатомъ интерференціи лучей изъ нѣкотораго сплошнаго участка спектра, гдѣ, слѣдовательно, существуютъ всевозможныя длины волнъ въ промежуткѣ отъ λ' до λ'' , то при поворотѣ кристалла на уголъ φ_1 мы имѣли бы выдѣленными въ отраженномъ пучкѣ длины волнъ $\lambda_1 = 2d \cos \varphi_1$, близкія къ $\lambda = 2d \cos \varphi$, такъ какъ φ_1 мало отличается отъ φ . Слѣдовательно, при поворотѣ кристалла мы должны наблюдать отраженное пятно непрерывно, при медленномъ измѣненіи угла φ .

М. М. Глаголевъ и Б. И. Зубаревъ ¹⁾, фотографируя отраженные пучки отъ различныхъ кристалловъ, получали правильно отраженные лучи при различныхъ углахъ. Какъ указалъ Терада, интерференціонные максимумы могутъ быть наблюдаемы объективно, если взять очень интенсивные первичные лучи.

Авторъ настоящей статьи наблюдалъ непосредственно на экранѣ, покрытомъ платиносинеродистымъ баріемъ, положеніе интерференціонныхъ максимумовъ въ кристаллахъ: гипсъ, берилль, хлористый натрій, сѣра и др. при медленномъ вращеніи кристалла около нѣкоторой оси непрерывно измѣнялось положеніе слабо свѣтящихся пятенъ на флюоресцирующемъ экранѣ.

Брэггъ изучалъ поглощеніе отраженнаго пучка въ алюминіи. Коэффициентъ поглощенія отраженныхъ лучей оказался близкимъ къ коэффициенту поглощенія первичнаго пучка.

Всѣ эти опыты находятся въ полномъ согласіи съ высказанной Брэгг'омъ точкой зрѣнія на происхожденіе пятенъ въ опытѣ Лауэ.

Мы можемъ считать, слѣдовательно, что пространственная рѣшетка—кристаллъ создаетъ изъ неопредѣленныхъ первичныхъ рентгеновыхъ импульсовъ періодическіе импульсы въ различныхъ направленіяхъ съ длиной $\lambda = 2d \cos \varphi$. Первичный импульсъ разлагается на рядъ монохроматическихъ колебаній.

Каждый интерференціонный максимумъ въ опытѣ Лауэ можно уподобить узкой спектральной части видимаго свѣта, въ то время какъ первичные лучи аналогичны бѣлому свѣту.

Что можетъ намъ дать анализъ посредствомъ кристалла лучей, отразившихся отъ нѣкоторой кристаллической поверхности подъ угломъ паденія φ ? Мы имѣемъ

¹⁾ Журн. Рус. Ф.-Х. О. Физ. О. 39 р. 143. 1913.

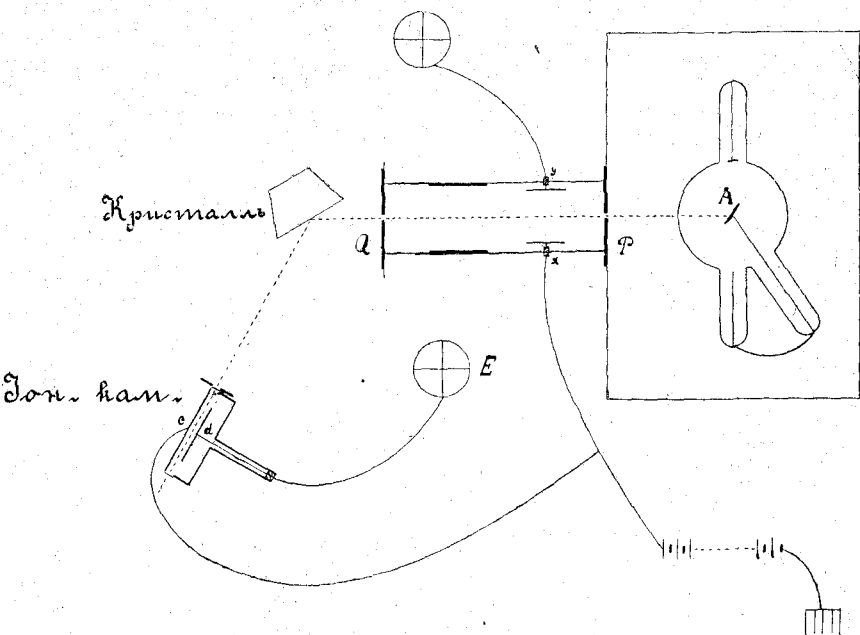
въ отраженномъ пучкѣ по вышеизложенному монохроматическія колебанія съ длиной волны $\lambda = 2d \cos \varphi$. Если заставимъ падать отраженные лучи на второй такой же кристаллъ подѣ тѣмъ же угломъ φ , то мы можемъ ожидать, что отъ второго кристалла отразятся лучи только отъ такихъ системъ плоскостей, проведенныхъ нами въ кристаллѣ, для которыхъ $2d \cos \varphi = \lambda, \frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{3}, \frac{\lambda}{4}$ и т. д., такъ какъ только въ этомъ случаѣ отраженные импульсы будутъ усиливать другъ друга.

Такіе опыты производилъ Вагнеръ ¹⁾ въ Мюнхенѣ. Въ его опытахъ на фотографической пластинкѣ, поставленной позади второго кристалла, получались только такія пятна, для которыхъ это условіе дѣйствительно было выполнено.

При изслѣдованіи явленій Лауэ при прохожденіи лучей чрезъ кристаллы или при отраженіи ихъ отъ кристаллической поверхности приходится пользоваться фотографической пластинкой. Экспозиція въ такихъ случаяхъ должна быть, даже при очень мощныхъ трубкахъ, довольно продолжительной и влечетъ за собою быстрое изнашиваніе трубки. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда нужно изслѣдовать только одинъ интерференціонный максимумъ, выгоднѣе пользоваться іонизаціоннымъ методомъ. Рентгеновы лучи, какъ извѣстно, ионизируютъ газъ и дѣлаютъ его проводникомъ электричества. Если пучокъ такихъ лучей пропускать между двумя пластинками, между которыми находится, напр., воздухъ и приложить къ этимъ пластинкамъ нѣкоторую разность потенциаломъ, то въ цѣпи появится токъ. Чѣмъ интенсивнѣе пучокъ, тѣмъ больше іонизація, тѣмъ больше и токъ. Отклоненіе гальванометра или электрометра можетъ служить, такимъ образомъ, мѣрою интенсивности рентгеновыхъ

¹⁾ Wagner. Phys. Ztsch. 1913.

лучей. Брэггъ, а затѣмъ Мозелей и Дарвинъ примѣнили этотъ способъ для изслѣдованія интенсивности пучка, отражающагося отъ естественныхъ граней кристалла подъ различными углами паденія. Общая схема расположенія приборовъ изображена на черт. 9. Изъ лучей, идущихъ отъ закрытой въ свинцовомъ ящикѣ



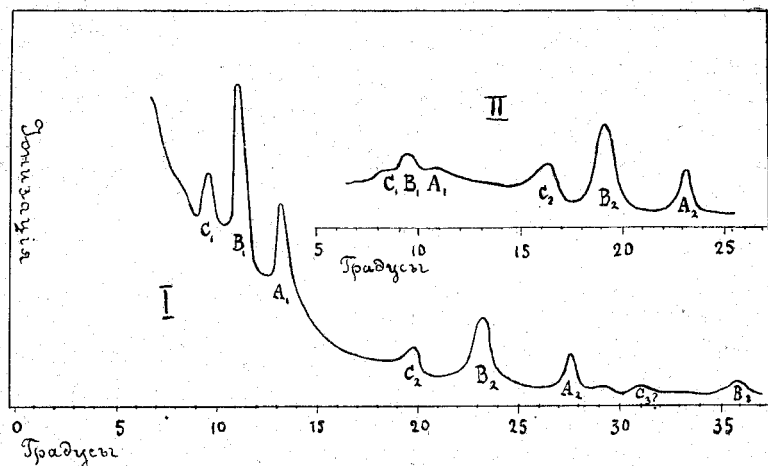
Черт. 9.

рентгеновской трубки, выдѣлялся узкій пучокъ двумя діафрагмами. P и Q, имѣющими форму щели 0,5 мм. ширины и 3 см. длины. Лучи падали затѣмъ на естественную грань кристалла. Въ направленіи отраженнаго пучка устанавливалась іонизаціонная камера, состоящая изъ двухъ пластинокъ c и d, между которыми оставался нѣкоторый промежутокъ. Обѣ пластинки помѣщались въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ,

мѣста входа и выхода отраженныхъ лучей были закрыты тонкими листами алюминія. Одна изъ пластинокъ *c* была соединена съ однимъ полюсомъ высоковольтной батареи, другая присоединялась къ квадрантному электрометру. Вслѣдствіе іонизаціи газа лучами, проходящими между пластинками, зарядъ съ пластинки *c* переходилъ на *d* и вызывалъ отклоненіе зеркала электрометра *E*. Кристаллъ помѣщался на столикѣ гониометра, іонизаціонная камера укрѣплялась на томъ же гониометрѣ вмѣсто обычной зрительной трубы. При вращеніи кристалла на нѣкоторый уголъ, можно было вращеніемъ камеры вокругъ той же оси достигнуть такого положенія, когда отраженные лучи снова могли попадать въ промежутокъ между двумя пластинами *c* и *d*. Такимъ путемъ удавалось измѣрить интенсивность отраженнаго пучка при разныхъ углахъ паденія. Для контроля измѣрялась во время опыта и интенсивность первичныхъ лучей подобной же іонизаціонной камерой съ пластинками *X* и *Y*. Пластина *Y* этой камеры была присоединена ко второму электрометру.

На черт. 10 показаны полученные Брэггомъ двѣ кривыя—I и II распредѣленія интенсивности отраженнаго пучка отъ поверхностей кристалла каменной соли: I—кривая отъ поверхности куба (100), II—отъ октаэдрической поверхности (111). По оси абсциссъ отложены углы поворота отражающей поверхности къ направленію первичныхъ лучей. На этой кривой при нѣкоторыхъ углахъ выступаютъ рѣзкіе интенсивные максимумы A_1 , B_1 , C_1 . При бѣльшихъ углахъ поворота эти максимумы начинаютъ повторяться въ томъ же порядкѣ и съ тѣмъ же относительнымъ распредѣленіемъ въ нихъ интенсивности. При дальнѣйшемъ измѣненіи угла можно замѣтить слабо выраженное третье ихъ появленіе. Эти максимумы очень рѣзко выражены и занимаютъ очень узкую область.

Ихъ положеніе не зависитъ отъ жесткости трубки, но рѣзко мѣняется отъ матеріала антикатада. Кривыя черт. 10 изслѣдованы для такихъ лучей, которые исходили изъ платиноваго антикатада. Изслѣдованія на поглощеніе показали, что эти лучи строго монохроматичны. Коэффициентъ поглощенія ихъ въ алюминіи оказался близкимъ къ коэффициенту поглощенія однородныхъ вторичныхъ лучей, которые нашелъ Чапманъ для платины.



Черт. 10.

Свойства эти заставляютъ признать, что на ряду съ неопредѣленнымъ импульсомъ рентгеновскаго излученія мы имѣемъ въ антикатодѣ строго монохроматическія колебанія съ очень короткой длиной волны и по своимъ свойствамъ тождественныя съ однородными вторичными лучами, которые впервые были открыты Баркла. Такіе лучи могутъ отразиться только при углахъ, когда $2d \cos \varphi$ равно цѣлому числу волнъ. Мы имѣемъ на кривой три серіи максимумовъ, въ каждой изъ которыхъ существуютъ три отдѣльныхъ монохроматическихъ

колебанія. Разсмотримъ углы, при которыхъ отражаются соотвѣтственные лучи, напр. B_1 , B_2 и B_3 во всѣхъ трехъ серияхъ. Углы, образуемые отражающею плоскостью съ направлениемъ первичныхъ лучей, равны для этихъ трехъ положеній $11,55^\circ$, $23,65^\circ$ и $36,65^\circ$, углы паденія соотвѣтственно равны $78,45^\circ$; $66,35^\circ$ и $53,35^\circ$. Косинусы этихъ угловъ равны 0,200; 0,401 и 0,597 и относятся между собою какъ 1:2:3. Длины волнъ этихъ лучей λ_{B_1} , λ_{B_2} , λ_{B_3} равны $2d \cos \varphi_{B_1}$, $2d \cos \varphi_{B_2}$, $2d \cos \varphi_{B_3}$. Слѣдовательно имѣемъ:

$$\lambda_{B_2} = 2\lambda_{B_1} \text{ и } \lambda_{B_3} = 3\lambda_{B_1}.$$

То же соотношеніе мы имѣемъ и для лучей

$$A_1 \ A_2 \ A_3 \text{ и } C_1 \ C_2 \ C_3.$$

Отсюда можно заключить, что соотвѣтственные максимумы каждой изъ трехъ серій суть спектры 1-го 2-го и 3-го порядковъ однихъ и тѣхъ же длинъ волнъ λ_A , λ_B и λ_C .

Если будемъ первичные лучи отражать отъ какихъ-нибудь другихъ граней того же кристалла, или отъ подобныхъ же граней другихъ кристалловъ, гдѣ разстояніе между сосѣдними плоскостями будетъ другое, то, очевидно, тѣ же самые максимумы будутъ появляться въ такомъ же порядкѣ, но при иныхъ углахъ φ . Брэггъ отражалъ лучи отъ поверхностей каменной соли (100) и (111), пирита, цинковой обманки и др. Во всѣхъ этихъ случаяхъ отношеніе косинусовъ угловъ для соотвѣтственныхъ лучей съ большою точностью оставалось равнымъ отношенію 1:2:3.

Моселей и Дарвинъ ¹⁾ повторили опытъ Брэгга съ ббльшею тщательностью. Изслѣдуя отраженіе отъ поверхностей трехъ кристалловъ $NaCl$, $K_4FeCy_6 \cdot 3H_2O$ и

¹⁾ H. G. Moseley u. C. G. Darwin. Phil. Mag. 26, 210. 1913.

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, они нашли пять длинъ волнъ, характерныхъ для лучеиспускания платины. Лучи B и C въ опытахъ Брэгга оказались состоящими каждый изъ двухъ отдѣльныхъ монокроматическихъ колебаній.

При вычисленіи длины волны $\lambda = 2d \cos \varphi$ остается неопредѣленнымъ элементъ рѣшетки d — разстояніе между центрами частицъ, помѣщенныхъ въ вершинахъ элементарнаго параллелепипеда. Изъ опредѣленія угловъ φ , при которыхъ появляется какой-нибудь максимумъ на кривой черт. 10 при отраженіи отъ плоскостей различныхъ кристалловъ, мы можемъ найти только отношеніе величинъ d . Положимъ, напримѣръ, первый максимумъ B съ длиной волны λ_B появляется при отраженіи отъ граней куба двухъ различныхъ кристалловъ кубической системы при углахъ паденія φ_1 и φ_2 . Соответственныя разстоянія между сосѣдними отражающими плоскостями въ кристаллахъ обозначимъ d_1 и d_2 . Тогда можемъ написать

$$\lambda_B = 2d_1 \cos \varphi_1 = 2d_2 \cos \varphi_2.$$

Отсюда

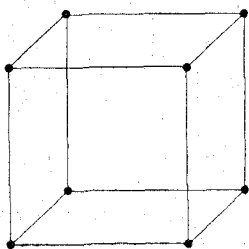
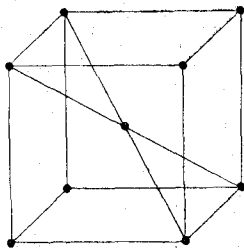
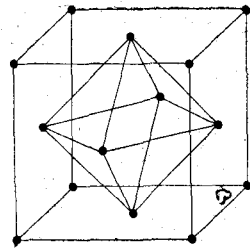
$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} \dots \dots \dots (A).$$

Зная, слѣдовательно, величину d для одного какого-нибудь кристалла, мы можемъ на основаніи опыта Брэгга вычислить эти величины для другихъ кристалловъ, а равно и для различныхъ системъ плоскостей въ одномъ и томъ же кристаллѣ.

Приведенный на стр. 124 расчетъ величины a для цинковой обманки сдѣланъ въ томъ предположеніи, что въ вершинахъ cadaго элементарнаго куба находится по одной молекуль ZnS . Такое предположеніе, однако, нуждается еще въ подтвержденіи. Въ кристаллографіи различаются три типа кубическихъ рѣшетокъ. Мы мо-

жемъ представить, что всѣ частицы расположены въ вершинахъ элементарныхъ кубовъ (черт. 11₁). Это простая кубическая рѣшетка. Если помѣстимъ, кромѣ того, въ центрѣ каждаго куба по одной частицѣ, получимъ рѣшетку октаэдрическую (черт. 11₂). Наконецъ, въ додекаэдрической рѣшѣткѣ частицы располагаются въ вершинахъ элементарныхъ кубовъ и въ центрѣ каждой грани (черт. 11₃).

Во всѣхъ этихъ трехъ типахъ кубическихъ рѣшетокъ плоскости съ одинаковыми индексами, на которыхъ мы можемъ представить расположенными всѣ мо-

Черт. 11₁.Черт. 11₂.Черт. 11₃.

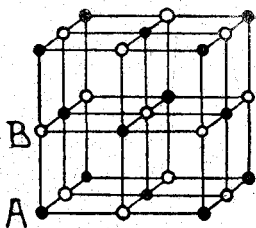
лекулы кристалла, будутъ, вообще говоря, находиться на разныхъ разстояніяхъ. Слѣдовательно, одинаковыя поверхности различныхъ типовъ кристалловъ при отраженіи подъ однимъ и тѣмъ же угломъ будутъ выдѣлять лучи съ различными длинами волнъ. Относительныя интенсивности пятенъ такимъ образомъ при отраженіи отъ поверхностей различныхъ типовъ кристалловъ кубической системы будутъ иныя. Если извѣстенъ типъ рѣшетки, то, на основаніи простыхъ геометрическихъ построеній, легко вычислить разстояніе между плоскостями въ зависимости отъ величины ребра элементарнаго куба a . Возьмемъ, на примѣръ, плоскость куба (100) и плоскость октаэдра (111) въ простой кубической рѣшѣткѣ и въ додекаэдрической. Въ простой кубической рѣшѣткѣ разстояніе между плоско-

стями куба $d_{(100)}$ и октаэдра $d_{(111)}$, какъ легко видѣть, равны соотвѣтственно a и $\frac{a}{\sqrt{3}}$. Для додекаэдрической получимъ $\frac{a}{2}$ и $\frac{a}{\sqrt{3}}$. Отношеніе этихъ разстояній:

для простой кубической рѣшетки $d_{(100)} : d_{(111)} = 1 : \frac{1}{\sqrt{3}}$,
 „ додекаэдрической „ „ „ = $1 : \frac{2}{\sqrt{3}}$.

На основаніи формулы (А) стр. 140 отношеніе косинусовъ угловъ паденія, при которыхъ получается какой-нибудь максимумъ отъ двухъ различныхъ поверхностей, дастъ намъ отношеніе разстояній соотвѣтственныхъ плоскостей. При отраженіи отъ поверхностей куба и октаэдра каменной соли отношеніе косинусовъ угловъ, при которыхъ появляется максимумъ B , въ опытахъ Брэгга было равно 1:1,16. Это отношеніе очень близко къ $1 : \frac{2}{\sqrt{3}}$.

Такое явленіе указываетъ на додекаэдрическое расположеніе частицъ въ каменной соли.



Черт. 12.

На основаніи подробнаго разсмотрѣнія рентгенограммъ кристалловъ $NaCl$, KCl , KBr и KI . В. Л. Брэггъ (сынъ) приходитъ къ заключенію, что въ этихъ кристаллахъ атомы металла и галоида располагаются въ простой кубической рѣшоткѣ, чередуясь вдоль реберъ элементарнаго куба, какъ показано на черт. 12. Атомы металла на этомъ рисункѣ обозначены черными точками, атомы галоида круж-

ками. Если будемъ разсматривать только атомы металла или только атомы галоида, то увидимъ, что въ отдѣльности они располагаются по додекаэдрической рѣшеткѣ. Принявъ такое распредѣленіе излучающихъ частицъ, можемъ вычислить ребро элементарнаго куба a въ каменной соли.

Число молекулъ въ граммъ-молекулѣ $N = 6,17 \cdot 10^{23}$.

Молекулярный вѣсъ каменной соли ($Na Cl$) $m = 58,46$.

Плотность $\delta = 2,167$.

Имѣемъ $\frac{2N\delta}{m} = \frac{1}{a^3}$, такъ какъ обѣ части равен-

ства представляютъ собою число атомовъ въ 1 куб. ст.

Отсюда получаемъ

$$a = \sqrt[3]{\frac{58,46}{2 \cdot 6,17 \cdot 10^{23} \cdot 2,167}} = 2,79 \cdot 10^{-8}$$

длина волны для $B = 1,13 \cdot 10^{-8}$.

Точно также получимъ длины волнъ и для другихъ лучей A и C .

Опыты Брэгга и другихъ изслѣдователей не только разъяснили истинную причину происхожденія интерференционныхъ максимумовъ въ опытѣ Лауэ, но, вмѣстѣ съ тѣмъ, дали опредѣленное представленіе о характерѣ короткаго импульса въ рентгеновыхъ лучахъ, а также и о тѣхъ вторичныхъ однородныхъ монохроматическихъ колебаніяхъ, которыя открыты были Баркла. Мы имѣемъ теперь для анализа такого рода лучей въ самой природѣ диффракционную рѣшетку, которая нами не могла быть создана за недостаткомъ инструментальныхъ средствъ.

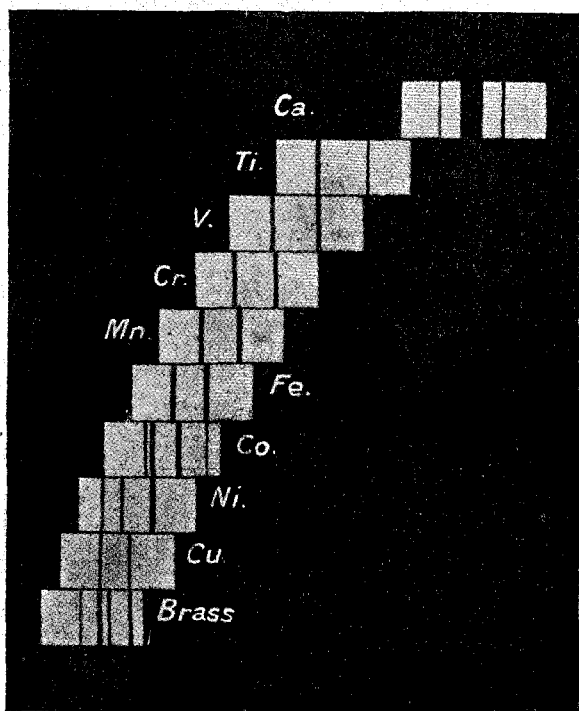
Брэггъ устраивалъ антикатоде въ рентгеновской трубкѣ изъ никкеля, вольфрама и иридія и нашелъ другія длины волнъ для монохроматическаго лучеиспусканія этихъ веществъ.

Въ самой послѣдней своей работѣ Моселей ¹⁾ указалъ весьма изящный простой способъ регистрированія монохроматическихъ колебаній. Рентгеновы лучи по выходѣ изъ антикатада проходили чрезъ очень узкую щель. Расходящійся пучокъ лучей падалъ затѣмъ на поверхность кристалла съ площадью около 6 кв. ст. Въ такомъ расходящемся пучкѣ лучи падали на кристаллическую поверхность подъ разными углами. При отраженіи получался широкій же расходящійся пучокъ. Въ разныхъ направленіяхъ мы имѣемъ, слѣдовательно, лучи различныхъ длинъ волнъ соотвѣтственно различныхъ угловъ φ въ формулѣ $\lambda = 2d \cos \varphi$. Если случайно среди этихъ направленій найдется такой уголъ φ_0 , при которомъ могутъ отразиться монохроматическія колебанія, свойственныя матеріалу антикатада, то на болѣе или менѣе непрерывно мѣняющемся фонѣ всего пучка мы будемъ имѣть рѣзко выраженный максимумъ для направленія опредѣляемаго этимъ угломъ φ_0 . Если поставить на пути отраженнаго пучка фотографическую пластинку, то такой максимумъ выдѣлится въ видѣ тонкой линіи.

Такая установка совершенно аналогична обыкновенному спектрографу съ плоской диффракціонной рѣшеткой. Если кристаллы и пластинка ориентированы опредѣленнымъ образомъ на обыкновенномъ гониометрѣ, то, какъ и въ предшествующихъ опытахъ, можно съ большой точностью опредѣлить этотъ уголъ φ_0 , а слѣдовательно, и вычислить длину волны $\lambda_0 = 2d \cos \varphi_0$. Моселей получилъ на фотографической пластинкѣ при отраженіи отъ поверхности кристалла желѣзно-синеродистаго калия при очень короткихъ экспозиціяхъ (5 мин.) рядъ такихъ спектральныхъ линій отъ разныхъ антикатодовъ. Число этихъ линій и ихъ относи-

¹⁾ H. G. I. Moseley, Phil. Mag. 26, p. 1024 (1913).

тельное расположеніе видны на схематическомъ чертежѣ 13. Длины волнъ на черт. увеличиваются слѣва на-право. На таблицѣ даны Θ_2 и Θ_3 значенія угловъ



Черт. 13.

между направлениемъ первичнаго пучка и отражающей плоскостью, при которыхъ появляются соответствующія линіи во второмъ (Θ_2) и въ третьемъ (Θ_3) порядкѣ спектра.

Изъ таблицы видно, что спектръ каждаго элемента состоитъ изъ двухъ линій: α —съ бѣльшей длиною волны, β —съ меньшей. Болѣе слабыя линіи, появляющіяся на

Элементъ.	Ли- нія.	Θ_2	λ	Θ_3	λ	$\frac{\lambda\alpha}{\lambda\beta}$	$Q = \left(\frac{\nu}{\frac{3}{4}\nu_0}\right)^{1/2}$	Атомныя числа.	Атомныя вѣса.
Кальцій.	α —	23,4 ⁰	3,357 · 10 ⁻⁸	36,7 ⁰	3,368 · 10 ⁻⁸	1,089	19,00	20	40,09
	β —	21,4	3,085	33,3	3,094	—	—		
Скандій.	—	—	—	—	—	—	—	21	44,1
Титанъ.	α —	19,1	2,766	29,3	2,758	1,093	20,99	22	48,1
	β —	17,4	2,528	26,6	2,524	—	—		
Ванадій.	α —	17,35	2,521	26,55	2,519	1,097	21,96	23	51,06
	β —	15,8	2,302	24,05	2,297	—	—		
Хромъ.	α —	15,75	2,295	24,1	2,301	1,100	22,93	24	52,0
	β —	14,3	2,088	21,8	2,093	—	—		
Марганецъ.	α —	14,5	2,117	22,0	2,111	1,101	23,99	25	54,93
	β —	13,15	1,923	19,9	1,918	—	—		
Желѣзо.	α —	13,3	1,945	20,2	1,946	1,103	24,99	26	55,85
	β —	12,05	1,765	18,25	1,765	—	—		
Кобальтъ.	α —	12,25	1,794	18,6	1,798	1,104	26,00	27	58,97
	β —	11,15	1,635	16,8	1,629	—	—		
Никкель.	α —	11,35	1,664	17,15	1,662	1,104	27,04	28	58,68
	β —	10,25	1,504	15,5	1,506	—	—		
Мѣдь.	α —	10,55	1,548	15,95	1,549	1,105	28,01	29	63,57
	β —	9,55	1,403	14,4	1,402	—	—		
Цинкъ.	α —	9,85	1,446	14,85	1,445	1,106	29,01	30	65,37
	β —	—	—	13,4	1,306	—	—		

нѣкоторыхъ снимкахъ, вѣроятно, объясняются нечистой соотвѣтствующаго вещества антикатада. Латунь (Brass) — сплавъ изъ мѣди и цинка, даетъ линіи α и β , свойственныя мѣди и цинку, хотя въ цинкѣ β не было найдено. Кобальтъ содержалъ часть никкеля и желѣза, поэтому въ спектрѣ кобальта имѣются и линіи этихъ двухъ примѣсей. Длины волнъ, вычисленныя для спектровъ второго и третьяго порядка, съ большой точностью сходятся. Распредѣленіе интенсивностей во всѣхъ спектральныхъ линіяхъ приблизительно одно и то же: α болѣе интенсивна, чѣмъ β . Длины волнъ обѣихъ линій уменьшаются съ увеличеніемъ атомнаго вѣса, отношеніе же $\frac{\lambda_\alpha}{\lambda_\beta}$ очень медленно растетъ. Въ таблицѣ приведены величины

$$Q = \sqrt{\frac{\nu}{\sqrt[3]{4} \nu_0}},$$

гдѣ ν частота колебаній линіи λ_α и $\nu_0 = 3.29.10^{15}$ постоянное число, связанное съ константой Ридберга $N_0 = \frac{\nu_0}{c} = 109720$. Эта величина растетъ съ увеличеніемъ атомнаго вѣса элементовъ все время на одно и то же число, равное 1.

Рѣтсерфордъ изъ величины разсѣиванія α -частицъ матеріей и Баркла изъ разсѣиванія рентгеновыхъ лучей показали, что число электроновъ N въ атомѣ элемента должно быть равно половинѣ его атомнаго вѣса. Атомные вѣса элементовъ растутъ приблизительно на 2, слѣдовательно, число N электроновъ въ атомѣ есть, вмѣстѣ съ тѣмъ, число, характеризующее мѣсто элемента въ періодической системѣ. На таблицѣ приведены атомныя числа элементовъ, для которыхъ изслѣдованы рентгеновы спектральныя линіи.

Теорія строения атома Бора ¹⁾, въ основѣ которой лежитъ вышеуказанное положеніе Рётсерфорда, приводитъ къ слѣдующей величинѣ ν основного монохроматическаго рентгеновскаго излученія α

$$\nu = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} (N - \sigma_n)^2,$$

гдѣ e —зарядъ электрона, m —его масса, h —постоянная Планка, N —число электроновъ въ атомѣ σ_n —постоянная.

Найденныя Моселемъ числа колебаній для линіи α довольно близко выражаются такой зависимостью:

$$\nu = \frac{3}{4} \nu_0 (N - \sigma_n)^2. \dots \dots \dots (B)$$

Константа ν_0 въ этой формулѣ, являющаяся тождественной съ константой Ридберга въ серіальныхъ законахъ линейныхъ спектровъ, получаетъ по теоріи Бора простое выраженіе чрезъ извѣстныя намъ величины

$$\nu_0 = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3}.$$

Но, независимо отъ какой бы то ни было теоріи, законъ, выражаемый формулой (B), является самъ по себѣ весьма цѣннымъ результатомъ.

Частоты колебаній основныхъ рентгеновыхъ линій элементовъ пропорціональны квадрату натуральныхъ чиселъ. Эти числа тѣснымъ образомъ связаны съ атомными вѣсами элементовъ и слѣдовательно формула (B) есть законъ, указывающій на внутреннюю, до сей поры

1) Подробное изложеніе этой теоріи читатель найдетъ въ подготовляющемся къ печати сборникѣ № 8 „Новья идея въ физикѣ“, специально посвященномъ вопросу о строеніи атома.

неизвѣстную, связь между элементами періодической системы.

Сходство рентгеновскихъ спектровъ различныхъ элементовъ позволяетъ предположить, что такое излученіе происходитъ внутри атома и не имѣетъ прямой связи со сложными линейчатыми спектрами этихъ элементовъ въ видимомъ спектрѣ.

Въ настоящей статьѣ изложены главнѣйшіе результаты, добытые многими изслѣдователями, благодаря открытію Лауэ. Рентгеновы лучи до сихъ поръ по справедливости назывались X-лучами, такъ какъ природа ихъ оставалась невыясненной. Въ настоящее время, можно сказать, мы имѣемъ совершенно опредѣленное представление о характерѣ рентгеновскаго импульса. Область электро-магнитнаго спектра расширена въ сторону короткихъ длинъ волнъ порядка 10^{-8} ст. Открыты монохроматическія внутриатомныя колебанія, происходящія съ очень большой частотой и тѣснымъ образомъ связанныя съ періодической системой элементовъ. Нѣтъ сомнѣнія въ томъ, что промежутокъ между крайними ультрафіолетовыми лучами Шумана ($\lambda = 10^{-5}$ ст.) и рентгеновыми колебаніями ($\lambda = 10^{-8}$ ст.) будетъ заполненъ въ недалекомъ будущемъ. Какъ мы видѣли выше, опытъ Лауэ даетъ возможность, кромѣ того, выяснитъ рядъ вопросовъ, связанныхъ съ строеніемъ вещества. Заключение Брэгга—сына о расположеніи атомовъ въ кристаллахъ *NaCl*, *KCl* и др. есть лишь первое слѣдствіе изъ того немногаго матеріала, который удалось получить въ теченіе немногихъ мѣсяцевъ.

