

То же самое относится и къ дифференціальному и интегральному счисленію. Не будемъ же колебаться, и возможно скорѣе посвятимъ учащихъ въ эти чудесныя науки, которыя болѣе полезны и вмѣстѣ имѣютъ болѣе воспитательное значеніе, чѣмъ любая другая отрасль математики.

Реформистское теченіе и противоположное ему охранительное борются между собой изъ-за программъ средней школы не въ области математики только. Если бы сторонники реформы поняли хорошо, что всякая перемѣна вредна въ періодъ ея осуществленія, и если бы консерваторы согласились, что разумное измѣненіе становится полезнымъ черезъ нѣкоторое время послѣ того, какъ оно войдетъ въ жизнь, и что преподаваніе не можетъ оставаться навѣки неизмѣннымъ, тогда можетъ быть, эти противоборствующія теченія могли бы помириться на медленной, осторожной и мудрой эволюціи.

Новыя изслѣдованія о положительныхъ лучахъ.

А. Фрумкина.

Положительные лучи были открыты Гольдштейномъ (E. Goldstein) въ 1886 г. Онъ замѣтилъ, что черезъ каналы, пробуранные въ катодъ, проходятъ въ закатодное пространство свѣтящіеся пучки, при чемъ свѣтъ ихъ, вообще говоря, отличается отъ свѣта, исходящаго отъ пучковъ катодныхъ лучей. Гольдштейнъ назвалъ новые лучи по ихъ происхожденію „каналовыми“; позднѣйшія работы выяснили, что они являются потокомъ быстро-движущихся атомовъ или молекулъ, значительная часть которыхъ несетъ положительные заряды. Какъ теперь извѣстно, такіе потоки можно наблюдать не только за катодомъ; они исходятъ и отъ поверхности катода вмѣстѣ съ катодными лучами (такъ называемые K_1 -лучи или „retrograde rays“) и, при опредѣленныхъ условіяхъ, отъ поверхности анода („анодные лучи“). Томсонъ (J. J. Thomson) соединяетъ все эти лучи подъ общимъ названіемъ „положительныхъ“.

Уже Гольдштейнъ пробовалъ отклонить положительные лучи магнитомъ, однако, ему это не удалось. Лишь въ 1898 г. Винъ (W. Wien) нашелъ, что эти лучи отклоняются въ магнитномъ и электрическомъ полѣ, но гораздо меньше, чѣмъ катодные лучи. Направленіе отклоненія указывало на положительный зарядъ. Послѣ работы Вина дѣйствіе магнитнаго и электрическаго поля на положительные лучи было предметомъ цѣлаго ряда изслѣдованій Кенигсбергера (Koenigsberger), Герке и Рейхенгейма (Gehrcke und Reichenheim) Дехенда и Гаммера (V. Dechend und Hammer) и Томсона.

но лишь въ послѣдніе годы удалось окончательно выяснитъ этотъ вопросъ. Я изложу подробнѣе преимущественно результаты работъ Томсона. Въ интересахъ связности мнѣ придется повторить многое, что хорошо извѣстно.

Дѣйствіе магнитнаго и электрическаго поля на заряженную частицу.

Вычислимъ сначала, каково должно быть отклоненіе движущейся частицы, подѣ вліяніемъ электрическаго и магнитнаго поля. Пусть масса частицы будетъ m , зарядъ e , скорость v , напряженіе полей, которое мы предполагаемъ одинаковымъ во всѣхъ точкахъ, соответственно E и H . Пусть далѣе первоначальная скорость частицы будетъ направлена горизонтально, а оба поля вертикальны. Обозначимъ вертикальное отклоненіе частицы черезъ z и горизонтальное черезъ y ; мы будемъ считать, что y и z малы по сравненію съ длиною пути частицы.

Разсмотримъ сначала вліяніе электрическаго поля. Сила, дѣйствующая на частицу, равна eE и направлена вертикально, ускореніе частицы равно eE/m ; если протяженіе поля равно a , мы можемъ считать, что частица находится подѣ его вліяніемъ въ теченіе времени a/v , и ея отклоненіе будетъ, согласно извѣстной формулѣ для равноѣрно-ускореннаго движенія $\frac{1}{2} \frac{eE}{m} \left(\frac{a}{v}\right)^2 = \frac{e}{mv^2} \frac{Ea^2}{2}$, а скорость въ вертикальномъ направленіи $\frac{eE}{m} \frac{a}{v}$. Если частица будетъ двигаться, кромѣ того, на протяженіи b внѣ поля, то она отклонится еще на

$$z = \left(\frac{eE}{m} \frac{a}{v}\right) \frac{b}{v} = \frac{eE}{m} \frac{ab}{v^2}$$

и полное отклоненіе будетъ:

$$z = \frac{e}{mv^2} Ea \left(\frac{a}{2} + b\right). \quad (1)$$

Магнитное поле дѣйствуетъ на частицу съ силой, равной evH и направленной, согласно извѣстному правилу трехъ пальцевъ, перпендикулярно къ полю и къ скорости частицы. При маленькихъ отклоненіяхъ мы можемъ считать это направленіе постояннымъ и примѣнить тѣ же разсужденія, что и для z . Такимъ образомъ мы получаемъ для горизонтальнаго отклоненія

$$y = \frac{e}{mv} Ha \left(\frac{a}{2} + b\right). \quad (2)$$

Наконецъ, при вышеупомянутомъ условіи, y и z не вліяютъ другъ на друга и формулы (1) и (2) даютъ и одновременное дѣйствіе обоихъ полей. Выведемъ теперь еще одну зависимость между величинами e/m и v .

Частицы приобретают свою кинетическую энергию, пройдя через некоторое падение потенциала V ; очевидно, что $\frac{1}{2}mv^2 = eV$, откуда

$$\frac{e}{mv^2} = \frac{1}{2} V. \quad (3)$$

V , во всякомъ случаѣ, не больше всего паденія потенциала въ темномъ пространствѣ у катода, такъ какъ частицы, попадающія за катодъ, приходятъ изъ этой области. Такимъ образомъ, мы видимъ, что, измѣряя y и z , мы можемъ найти e/m и v , такъ какъ остальные величины, входящія въ формулы (1) и (2), легко опредѣлить.

Траекторію положительныхъ лучей нельзя непосредственно изучать по формѣ свѣтящагося пучка, такъ какъ свѣтъ виденъ лишь при сравнительно высокихъ давленіяхъ, при которыхъ положительные лучи не распространяются достаточно далеко. Поэтому раньше на пути лучей ставили экранъ изъ виллемита (силикатъ цинка) или сидотовой обманки, которые флуоресцируютъ подъ вліяніемъ лучей, и наблюдали перемѣщеніе свѣтлаго пятна. Томсонъ воспользовался тѣмъ обстоятельствомъ, что положительные лучи чернятъ поверхностный слой фотографической пластинки, такъ что, замѣнивъ экранъ изъ виллемита чувствительной пластинкой, можно точно опредѣлить значенія y и z для всѣхъ лучей.

Изъ формулъ (1) и (2) легко вывести, что

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

и

$$\frac{e}{m} = \frac{y^2}{z} \frac{B}{A^2}, \quad (5)$$

гдѣ B и A для всѣхъ частицъ одинаковы и зависятъ только отъ силы поля и формы аппарата *). Изъ этихъ соотношеній мы видимъ, что частицы, имѣющія равное v и различные e/m , дадутъ на пластинкѣ прямую, проходящую черезъ точку $y=0$, $z=0$, т. е. черезъ начало нашихъ координатъ, соответствующее неотклоненнымъ частицамъ. Частицы же съ равными e/m и съ различными v дадутъ параболу, съ вершиной въ началѣ координатъ; она касается въ этой точкѣ оси y -овъ. Наконецъ, сравнивая формулы (3) и (1) мы получаемъ, что частицы, прошедшія одинаковое паденіе потенциаловъ, имѣютъ равные z , т. е. даютъ прямую, параллельную оси y -овъ, если только e имѣетъ одинаковое значеніе въ обоихъ формулахъ, т. е., если величина заряда не измѣнилась на всемъ его пути.

*) Такъ какъ невозможно получить совершенно равномернаго поля, A и B фактически имѣютъ нѣсколько другое значеніе, чѣмъ въ выраженіяхъ (1) и (2); Томсонъ указалъ методъ, который всегда позволяетъ ихъ опредѣлить.

Аппаратура.

Аппаратъ, которымъ пользовался Томсонъ при своихъ опытахъ, изображенъ на рис. 1. *A* — стеклянный сосудъ, емкостью отъ 1 до 2 литровъ; его дѣлають такимъ большимъ, чтобы разрядъ могъ проходить при очень низкихъ давленіяхъ. Этотъ сосудъ соединенъ съ насосомъ Гэде и съ резервуаромъ изслѣдуемаго газа, который медленно просасывается черезъ тонкую капилляру, такъ что запасъ газа

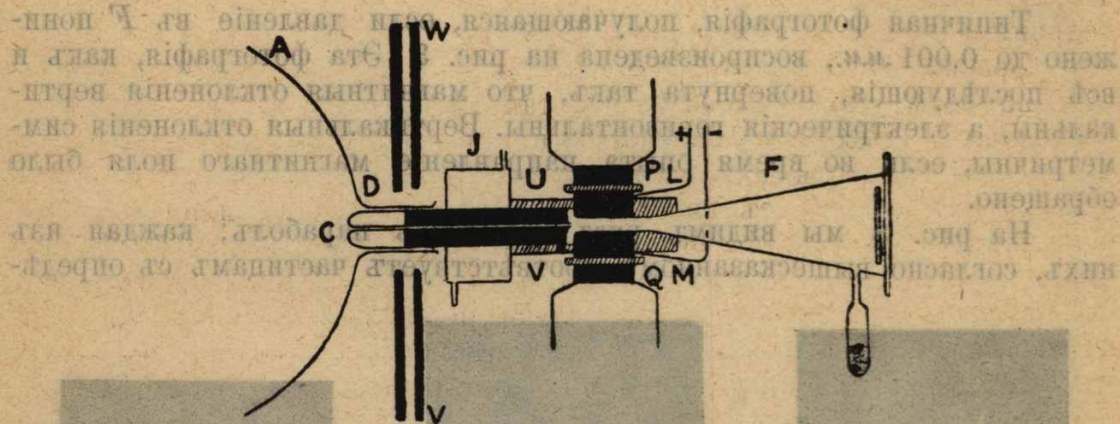


Рис. 1.

въ *A* постоянно возобновляется. Въ шейкѣ сосуда *D* укрѣпленъ сургучомъ катодъ *C*. Передняя его часть сдѣлана изъ алюминія и въ ней пробурованъ каналъ для положительныхъ лучей. Задняя часть катода изъ мягкаго желѣза, въ которую вдѣлана, какъ это видно на рис. 2, тонкая мѣдная трубочка длиною въ 7 см. и діаметромъ, при точныхъ опытахъ, въ 0.1 мм и даже меньше, такъ что черезъ нее

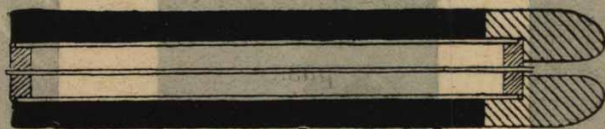


Рис. 2.

проходить строго параллельный и очень тонкій пучекъ положительныхъ лучей. Катодъ укрѣпленъ сургучемъ въ эбонитовой коробкѣ *UV*; чтобы избѣжать размягченіе сургуча отъ нагреванія, катодъ постоянно охлаждается водой, циркулирующей въ *I*. Въ эбонитовую коробку вдѣланы пластинки изъ мягкаго желѣза *L* и *M*, соединенныя съ полюсами батареи высокаго напряженія. Въ точности на одной линіи съ ними расположены полюсы электромагнита *P* и *Q*, такъ чтобы оба поля совпадали; ихъ протяженіе составляетъ 3 см. Разстояніе между пластинками *L* и *M* было 1,5 мм. Далѣе, къ эбонитовой коробкѣ былъ прикрѣпленъ сургучемъ коническій сосудъ *F*, длиною въ 40 см., на другомъ концѣ котораго находилось приспособленіе для фотографиче-

скихъ пластинокъ, позволявшее произвести нѣсколько снимковъ подрядъ. Къ сосуду F придѣлана трубка съ углемъ*), охлаждаемая жидкимъ воздухомъ, благодаря чему въ F давленіе гораздо ниже чѣмъ въ A ; такъ какъ они соединены только очень тонкой и длинной трубкой, давленія не выравнивались. Наконецъ, VW — толстыя желѣзныя пластинки, защищающія разрядъ въ A отъ дѣйствія электромагнитнаго поля.

Фотографія.

Типичная фотографія, получающаяся, если давленіе въ F понижено до 0.001 мм., воспроизведена на рис. 3. Эта фотографія, какъ и всѣ послѣдующія, повернута такъ, что магнитныя отклоненія вертикальны, а электрическія горизонтальны. Вертикальныя отклоненія симметричны, если во время опыта направленіе магнитнаго поля было обращено.

На рис. 3 мы видимъ рядъ отрѣзковъ параболъ; каждая изъ нихъ, согласно вышесказанному, соответствуетъ частицамъ съ опредѣ-



Рис. 3.



Рис. 4.

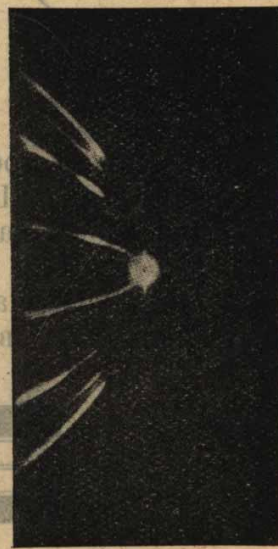


Рис. 5.

леннымъ значеніемъ e/m . Наибольшее значеніе e/m , соответствующее атому водорода съ однимъ элементарнымъ зарядомъ, равно 10^4 . Такъ какъ скорость частицъ пропорціональна отношенію магнитнаго отклоненія къ электрическому, она различна въ разныхъ точкахъ параболы и тѣмъ больше, чѣмъ ближе къ вершинѣ. Параболы, однако, не доходятъ до вершины, а начинаются всѣ на нѣкоторомъ разстояніи отъ нея. Точки, ближайшія къ вершинѣ, т. е. соответствующія частицамъ съ наибольшей скоростью и наибольшей кинетической энергіей, лежатъ

*) Томсонъ пользуется углемъ, полученнымъ изъ скорлупы кокосоваго орѣха.

всѣ на одной вертикальной прямой; онѣ соотвѣтствуютъ въ виду формулъ (1) и (3) частицамъ, прошедшимъ все паденіе потенціала у катода и сохранившимъ весь свой зарядъ. Чѣмъ больше это паденіе потенціала, тѣмъ ближе начала параболъ къ оси y -овъ. Распределеніе яркости вдоль параболы бываетъ самое разнообразное. Наблюдаются параболы, яркость которыхъ почти одинакова на всемъ протяженіи, какъ на рис. 3, параболы съ быстро убывающей яркостью (рис. 4) и, наконецъ, параболы съ нѣсколькими яркими пятнами (рис. 5). Къ этому обстоятельству мы еще вернемся ниже.

Вторичныя линіи.

Кромѣ отрѣзковъ параболъ, на пластинкѣ видны прямыя линіи, исходящія изъ начала координатъ по направленію къ различнымъ точкамъ параболъ, такъ называемыя „вторичныя“ линіи. Томсонъ приписываетъ эти линіи частицамъ, зарядъ которыхъ не оставался постояннымъ при прохожденіи поля.

Такія частицы могутъ быть двухъ родовъ: нейтральныя, іонизировавшіяся въ самомъ полѣ, и заряженныя, присоединившія при прохожденіи поля электронъ и нейтрализовавшія свой зарядъ. Въ подтвержденіе этого взгляда Томсонъ приводитъ рядъ интересныхъ опытовъ.

Если длина поля очень мала, вѣроятность измѣненія величины заряда сильно уменьшается, и вторичныя линіи должны исчезнуть. Дѣйствительно, на фотографіяхъ, снятыхъ съ полями длиной въ 1 мм., при чемъ сила поля была настолько увеличена, что отклоненія достигали прежнихъ размѣровъ, вторичныхъ линій совершенно не было видно. Если же давленіе въ сосудѣ F возрастаетъ, то вѣроятность столкновеній очень увеличивается, такъ что при болѣе высокихъ давленіяхъ наблюдаются только прямыя вторичныя линіи, а не параболы, что долгое время смущало наблюдателей.

Вторичныя линіи (въ отличіе отъ параболъ) перетерпѣваютъ интересное измѣненіе формы, если поля не вполне совпадаютъ. Предположимъ, на примѣръ, что магнитное поле сдвинуто по отношенію къ электрическому въ сторону экрана.

Разсмотримъ сначала частицы, приобретающія свой зарядъ при прохожденіи черезъ поле. Тѣ изъ нихъ, которыя іонизируются въ послѣднемъ участкѣ, гдѣ имѣется только магнитное поле, получаютъ только магнитное отклоненіе и дадутъ на фотографіи вертикальный отрѣзокъ у начала координатъ, который переходитъ въ наклонный отрѣзокъ, соотвѣтствующій частицамъ, іонизировавшимся уже въ электрическомъ полѣ и получившимъ и электрическое отклоненіе. Вторичная линія этихъ частицъ будетъ имѣть форму, изображенную на рис. 6.

Рис. 6.

Разсмотримъ теперь частицы, которые ионизируются въ самомъ полѣ. Эти частицы получатъ и электрическое и магнитное отклоненіе. Вторичная линія этихъ частицъ будетъ имѣть форму, изображенную на рис. 7.

Рис. 7.

Что же касается частицъ, нейтрализующихъ свой зарядъ въ первомъ участкѣ, гдѣ имѣется только электрическое поле, то онѣ успѣютъ получить только электрическое отклоненіе и дадутъ вторичную линію съ горизонтальнымъ отрѣзкомъ, подобно изображенной на рис. 7.

Рис. 8 представляетъ фотографію, снятую при сдвинутыхъ поляхъ; на ней хорошо видны вторичныя линіи обоихъ типовъ. Томсонъ приводитъ еще слѣдующіе опыты въ доказательство того, что зарядъ частицъ мѣняется на ихъ пути. Если отклонить пучокъ положительныхъ лучей однимъ магнитнымъ полемъ, онъ даетъ на экранѣ два свѣтлыхъ пятна, соотвѣтствующія отклоненнымъ и неотклоненнымъ лучамъ. Между ними находится менѣе свѣтлая полоска.



Рис. 8.

Если теперь на нѣкоторомъ разстояніи помѣстить второй магнитъ перпендикулярно къ первому, то эта полоска растягивается въ прямоугольникъ, съ четырьмя свѣтлыми пятнами на углахъ его, соотвѣтствующими частицамъ совершенно не отклоненнымъ, отклоненнымъ только первымъ магнитомъ, только вторымъ магнитомъ и обоими магнитами (рис. 9). Мы имѣли бы только первое и четвертое пятно, если бы зарядъ частицъ не мѣнялся на пути отъ первого поля ко второму. Понижая давленіе съ помощью угля и жидкаго воздуха, Томсону удалось этого достигнуть.

Такъ какъ зарядъ частицъ, дающихъ вторичныя линіи, мѣняется на ихъ пути черезъ поле, то, примѣняя формулу (5) ко вторичной линіи, мы получимъ значенія e/m , варьирующія отъ нуля до значенія e/m для соотвѣтствующей параболы. Напротивъ, въ виду того, что вторичныя линіи являются прямыми, проходящими черезъ начало координатъ, формула (4) даетъ определенное значеніе v для каждой изъ нихъ. Кромѣ того, положеніе вторичныхъ линій почти не мѣняется при увеличеніи паденія потенциала у катода, въ то время какъ параболы приближаются къ оси y -овъ, т. е. скорость частицъ, дающихъ вторичныя линіи, всегда та же и не зависитъ отъ условій разряда. Изъ теоріи Томсона дѣйствительно слѣдуетъ, что эта скорость можетъ измѣняться только въ тѣсныхъ предѣлахъ.

Разсмотримъ сначала частицы, которыя іонизируются на своемъ пути. Ионизація происходитъ благодаря тому, что быстро движущаяся частица, сталкиваясь съ электрономъ, теряетъ отрицательный зарядъ. Вмѣсто этого мы могли бы предположить, что частица находится въ покоѣ, а электронъ движется съ прежней скоростью частицы. Но для этого случая извѣстно, что іонизація не происходитъ, если скорость электрона меньше определенной величины, зависящей отъ природы

частицы. Обозначимъ эту величину черезъ V . Тогда минимальная скорость частицъ, дающихъ вторичную линію, тоже будетъ V . Далѣе, такъ какъ частицы движутся съ большою скоростью отъ катода, очевидно, что онѣ раньше были положительны и потомъ только нейтрализовали свой зарядъ, захвативъ электронъ. Но частица можетъ захватить электронъ при столкновении, только если ея скорость не слишкомъ велика, такъ какъ при скоростяхъ, большихъ V , электронъ уже отдѣляется отъ поверхности частицы. Вслѣдствіе этого, нейтральные частицы не будутъ имѣть скоростей значительно большихъ V , и скорость частицъ, ионизирующихся при прохожденіи поля, будетъ заключена между тѣсными предѣлами.

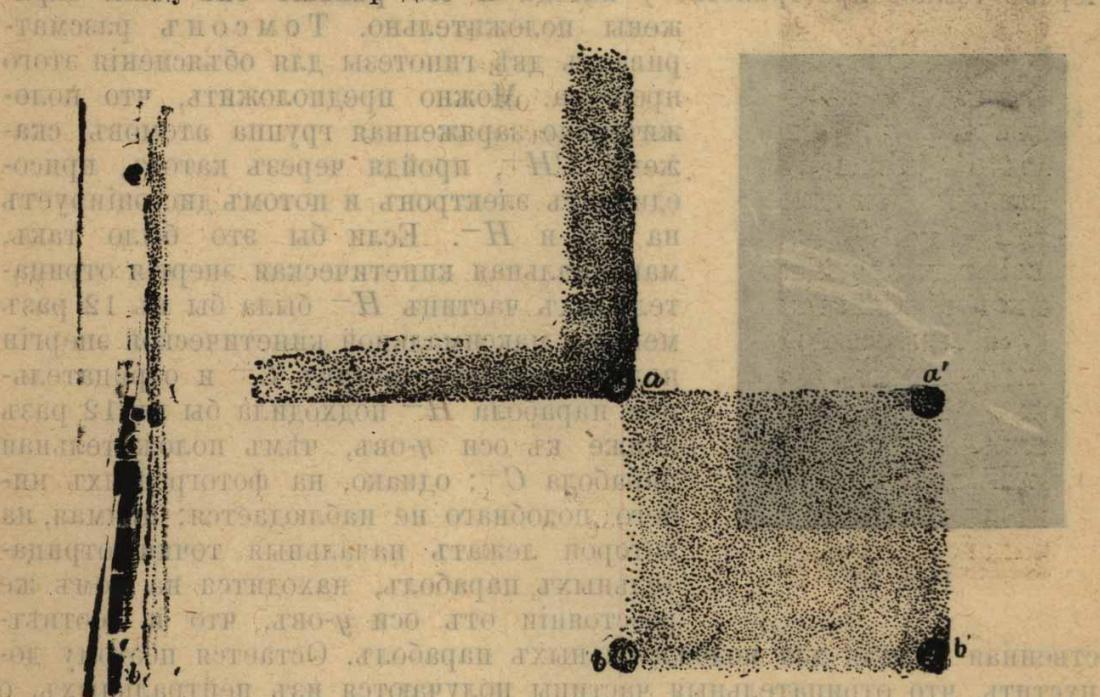


Рис. 9.

Обратимся теперь къ частицамъ, вступающимъ въ поле съ положительнымъ зарядомъ и нейтрализующимъ его въ полѣ, присоединяя электронъ. Мы уже выяснили, что скорость такихъ частицъ имѣетъ верхній предѣлъ. Если предположить, что присоединяемые электроны были свободны, нижняго предѣла скорости у частицъ этого рода не будетъ; дѣйствительно, вторичныя линіи этого типа иногда бываютъ ограниченными только съ одной стороны, а съ другой распыляются, какъ это видно на рис. 8 Въ другихъ случаяхъ, однако, вторичныя линіи и этого типа рѣзко ограничены съ обѣихъ сторонъ. Повидимому, частицы присоединяютъ преимущественно электроны не свободные, а связанные въ какой-нибудь молекулѣ. Тогда для выдѣленія электрона изъ этой молекулы движущаяся частица должна будетъ обладать нѣкоторой минимальной кинетической энергіей. Въ пользу этого предположенія говоритъ и то обстоятельство, что сила отклоняющаго электри-

ческого поля не вліяетъ на яркость вторичныхъ линій: если бы присоединяемые электроны были свободны, сильное поле удалило бы ихъ и вторичныя линіи должны были бы исчезнуть.

Отрицательно заряженныя частицы.

На многихъ фотографіяхъ (см., напримѣръ, рис. 10) замѣтны съ другой стороны оси y -овъ отрѣзки параболъ и прямыхъ, которые происходятъ отъ отрицательно-заряженныхъ частицъ. Очевидно, что своей отрицательный зарядъ эти частицы приобрѣли уже послѣ прохожденія черезъ темное пространство у катода и что раньше онѣ были заря-

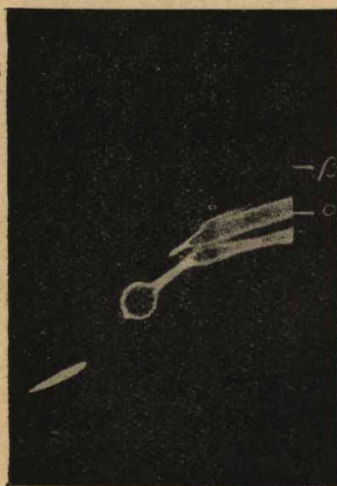


Рис. 10.

жены положительно. Томсонъ разсматриваетъ двѣ гипотезы для объясненія этого процесса. Можно предположить, что положительно заряженная группа атомовъ, скажемъ CH^+ , пройдя черезъ катодъ, присоединяетъ электронъ и потомъ диссоціируетъ на C^+ и H^- . Если бы это было такъ, максимальная кинетическая энергія отрицательныхъ частицъ H^- была бы въ 12 разъ меньше максимальной кинетической энергіи положительныхъ частицъ C^+ и отрицательная парабола H^- подходила бы въ 12 разъ ближе къ оси y -овъ, чѣмъ положительная парабола C^+ ; однако, на фотографіяхъ ничего подобнаго не наблюдается; прямая, на которой лежатъ начальныя точки отрицательныхъ параболъ, находится на томъ же разстояніи отъ оси y -овъ, что и соответ-

ственная прямая для положительныхъ параболъ. Остается поэтому допустить, что отрицательныя частицы получаютъ изъ нейтральныхъ, о существованіи которыхъ мы уже говорили, присоединеніемъ электрона.

Эта гипотеза вполне объясняетъ не только положеніе отрицательныхъ параболъ, но и цѣлый рядъ другихъ фактовъ. Для образованія отрицательно заряженной частицы по этой гипотезѣ необходимо, чтобы нейтральная частица притянула электронъ. Это возможно благодаря тому, что въ нейтральной частицѣ есть положительные и отрицательные заряды, которые создаютъ электрическое поле. Очевидно, что притяженіе между частицей и электрономъ будетъ сильно, если въ частицѣ есть подвижные заряды; тогда вблизи электрона, частица будетъ вести себя, какъ проводникъ, сторона ея обращенная къ электрону зарядится положительно, а противоположная сторона отрицательно и частица притянетъ электронъ. Если же подвижныхъ электроновъ нѣтъ, такого эффекта не будетъ.

Подвижные электроны имѣются въ частицахъ химически-активныхъ тѣлъ; въ насыщенныхъ же соединеніяхъ, какъ предполагаетъ электрическая теорія валентности, подвижность электроновъ значительно уменьшена. То же самое надо сказать и о благородныхъ газахъ. Опытъ даетъ блестящее подтвержденіе этого взгляда.

Химически неактивные атомы, какъ азотъ, гелій, неонъ, аргонъ, жсенонъ, криптонъ и ртуть не даютъ отрицательныхъ частицъ, въ то время какъ атомы водорода, углерода и кислорода даютъ ихъ въ большомъ количествѣ. Изъ молекулъ отрицательныя параболы даютъ только молекулы кислорода, водорода (очень рѣдко), углерода и гидроксиды (OH). Чтобы получить отрицательно-заряженные частицы углерода, надо ввести въ разрядную трубку соединенія, содержащія нѣсколько атомовъ углерода, связанныхъ между собою, какъ C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 или C_6H_6 . Тогда получаются на пластинкѣ отрицательныя параболы, соответствующія C^- , C_2^- и C_3^- . Группы атомовъ углерода, какъ C_2^- и C_3^- , также какъ и гидроксиль являются ненасыщенными, т. е. содержатъ подвижные электроны подобно свободнымъ атомамъ. Что касается условій появленія частицъ O_2^- , то они еще не вполне выяснены.

Частицы, несущія нѣсколько зарядовъ.

Какъ было уже сказано выше, параболы оканчиваются обыкновенно на одной прямой, параллельной оси y -овъ. Однако, нерѣдко случается, что отдѣльныя параболы ближе подходятъ къ оси y -овъ, чѣмъ другія; такъ, напримѣръ, на рис. 10 парабола α , соответствующая O^+ , доходитъ до половины нормального разстоянія.

Такъ какъ величина e/m во всѣхъ точкахъ параболы одинакова, то изъ формулы (1) слѣдуетъ, что частицы e/m , дающія половинное отклоненіе, обладаютъ при томъ же зарядѣ двойной кинетической энергіей по сравненію съ частицами, дающими нормальное отклоненіе. Но послѣднія, какъ извѣстно, обладаютъ максимальной кинетической энергіей, которую можетъ приобрести атомъ кислорода съ однимъ зарядомъ, пройдя черезъ все паденіе потенциала въ трубкѣ; остается предположить, что частицы, дающія половинное отклоненіе, имѣли до прохожденія черезъ катодъ двойной зарядъ и такимъ образомъ, получили двойную кинетическую энергію [формула (3)]. На пути отъ катода къ полю онѣ присоединили одинъ электронъ и вступили въ поле уже съ однимъ зарядомъ, но съ двойной кинетической энергіей. Правильность этого взгляда подтверждается тѣмъ, что на фотографіи, на которой имѣется парабола, продолженная до половины нормального разстоянія, всегда можно найти параболу, соответствующую двойному значенію e/m и обратно. Если на пути отъ катода къ полю частица теряетъ болѣе одного заряда, то соответствующая парабола можетъ еще ближе подойти къ оси y -овъ.

Дѣйствительно, пусть зарядъ частицы до прохожденія черезъ катодъ будетъ pe , а въ отклоняющемъ полѣ qe . Тогда изъ формулы (3) мы получаемъ, что $\frac{1}{2}mv^2 = peV$; а изъ формулы (1), что $z = q/p B/2V$; нормальное отклоненіе очевидно $B/2V$. Для примѣра разсмотримъ случай ртути.

Парабола Hg^+ настолько близко подходитъ къ началу координатъ, что нужно пользоваться очень сильными полями, чтобы измѣрить разстояніе ея начальной точки отъ оси y -овъ. Тогда, получается

рядъ параболъ, со слѣдующими значеніями для m/e : (значеніе m/e для водорода считается равнымъ единицѣ):

m/e	
200	$^{200}/_1$,
102	$^{200}/_2$,
66.3	$^{200}/_3$,
50.4	$^{200}/_4$,
44	эта линія принадлежитъ не ртути, а CO_2 ,
39.8	$^{200}/_5$,
33.7	$^{200}/_6$.
28.6	$^{200}/_7$.

Такъ какъ атомный вѣсъ ртути равенъ 200, эти параболы соотвѣтствуютъ атомамъ ртути съ числомъ элементарныхъ зарядовъ отъ 1 до 7. Далѣе, параболы эти начинаются на разстояніи отъ оси y -овъ равномъ соотвѣтственно $1/8$, $2/8$, $3/8$, $4/8$, $5/8$, $6/8$, $7/8$ нормального.

Согласно вышесказанному, отсюда слѣдуетъ, что всѣ эти частицы имѣли первоначально 8 элементарныхъ зарядовъ и потеряли соотвѣтственно 7, 6, 5, 4, 3, 2 и 1 изъ нихъ. Такъ какъ всѣ эти частицы имѣли первоначально одинаковый зарядъ, то онѣ приобрѣли одинаковую скорость, и начальныя точки параболъ лежатъ на прямой, проходящей черезъ начало координатъ. Параболы тѣмъ слабѣе, чѣмъ меньше значеніе m/e , которому онѣ соотвѣтствуютъ; этимъ объясняется, почему на фотографіяхъ нѣтъ параболъ съ m/e равнымъ $^{200}/_8$. На параболѣ съ m/e равнымъ $^{200}/_1$ имѣется на нормальномъ разстояніи отъ оси y -овъ яркое пятно; оно указываетъ на присутствіе частицъ, сохранившихъ постоянное значеніе m/e равное 200 на всемъ пути. Такимъ образомъ, мы видимъ, что въ разрядной трубкѣ образовались частицы только двухъ родовъ: атомы ртути съ однимъ положительнымъ зарядомъ и атомы съ восемью положительными зарядами. Томсонъ предполагаетъ, что этимъ двумъ родамъ частицъ соотвѣтствуютъ два рода іонизаціи: іонизація катодными лучами и іонизація движущимися положительно заряженными частицами. Это различіе имѣетъ, повидимому, общее значеніе. Дѣло въ томъ, что на фотографіяхъ до сихъ поръ еще ни разу не были обнаружены линіи, которыя указывали бы на молекулы съ нѣсколькими зарядами, въ то время какъ атомы съ нѣсколькими зарядами встрѣчаются очень часто. Кромѣ того, распредѣленіе яркости вдоль параболъ, которое зависитъ отъ условій іонизаціи у катода, бываетъ обыкновенно одного типа у всѣхъ параболъ, соотвѣтствующихъ молекуламъ и другого у параболъ, соотвѣтствующихъ атомамъ. У одноатомныхъ элементовъ, какъ ртуть и благородные газы, встрѣчаются одновременно оба типа. Все это указываетъ, что іонизація бываетъ двухъ родовъ; если движущійся электронъ встрѣчаетъ молекулу, она теряетъ въ благопріятномъ случаѣ одинъ электронъ, и, если только

Этотъ послѣдній не связывалъ ея различныхъ атомовъ, она не распадается, и мы получаемъ молекулу съ однимъ положительнымъ зарядомъ.

Напротивъ, если молекулу встрѣчаетъ движущаяся положительная частица, то можно ожидать, что молекула потеряетъ цѣлую группу электроновъ и диссоциируетъ на отдѣльные атомы. Такимъ образомъ, образуются атомы, вообще говоря, со многими зарядами. Въ случаѣ монокатомическихъ газовъ оба типа столкновений приводятъ къ заряженнымъ атомамъ, при чемъ при столкновении перваго типа можно ожидать образованіе атомовъ съ однимъ зарядомъ, а при столкновении втораго типа — преимущественно съ нѣсколькими.

Максимальное количество положительныхъ зарядовъ, которое можетъ приобрести атомъ элемента, зависитъ, повидимому, только отъ его атомнаго вѣса; такъ ртуть ($Hg = 200$) можетъ приобрести 8 зарядовъ, криптонъ ($Kr = 82$) — пять, аргонъ ($Ar = 40$) — три, неонъ ($Ne = 20$), азотъ ($N = 14$), кислородъ ($O = 16$) и гелій ($He = 4$) — по два и, наконецъ, водородъ — только одинъ.

Измѣреніе числа заряженныхъ частицъ.

Кромѣ фотографированія параболъ, Томсонъ разработалъ еще одинъ методъ, который даетъ возможность произвести и количественный анализъ пучка положительныхъ лучей, т. е. найти отношеніе числа частицъ съ различными значеніями e/m . Очевидно, что фотографіи не позволяютъ объ этомъ судить, такъ какъ различныя частицы при равной кинетической энергіи обладаютъ очень различною скоростью и будутъ, вообще говоря, очень различно дѣйствовать на фотографическую пластинку. Такъ, на примѣръ, при паденіи потенциала въ 20 000 в скорость атома водорода будетъ $2 \cdot 10^8$ см/сек, а скорость атома ртути только $1,4 \cdot 10^7$ см/сек.; естественно, что атомъ водорода глубже проникнетъ въ фотографическую пластинку, такъ что при прочих равныхъ условіяхъ парабола водорода будетъ лучше видна, чѣмъ парабола ртути.

Методъ Томсона заключается въ слѣдующемъ. Пучекъ положительныхъ лучей падаетъ не на фотографическую пластинку, а на металлическую стѣнку B (см. рис. 11) въ которой сдѣлана щель шириной приблизительно въ 1 мм. Щель эта является отрѣзкомъ параболы, вершины которой находится въ началѣ координатъ и которая касается въ этой точкѣ оси y -овъ. Если теперь выбрать электрическое отклоненіе такъ, чтобы начальныя точки параболъ положительныхъ лучей совпадали съ однимъ изъ концовъ щели, то можно, увеличивая магнитное отклоненіе, заставить любую изъ нихъ, начиная отъ параболы водорода и кончая параболою ртути, совпасть съ щелью. За щелью находится металлическій ящикъ, соединенный съ Вильсоновскимъ электроскопомъ. Каждый разъ, когда какая-нибудь парабола совпадаетъ со щелью, частицы съ соотвѣтствующимъ значеніемъ e/m смогутъ попасть въ ящикъ и электроскопъ начнетъ отклоняться. Величина его отклоненія за опредѣленный промежутокъ времени будетъ, очевидно, пропорціональна произведенію изъ числа этихъ

частицъ на е. Максимумы отклоненія, соотвѣтствующія различнымъ параболамъ, очень рѣзки, такъ что различныя параболы можно легко отличить.

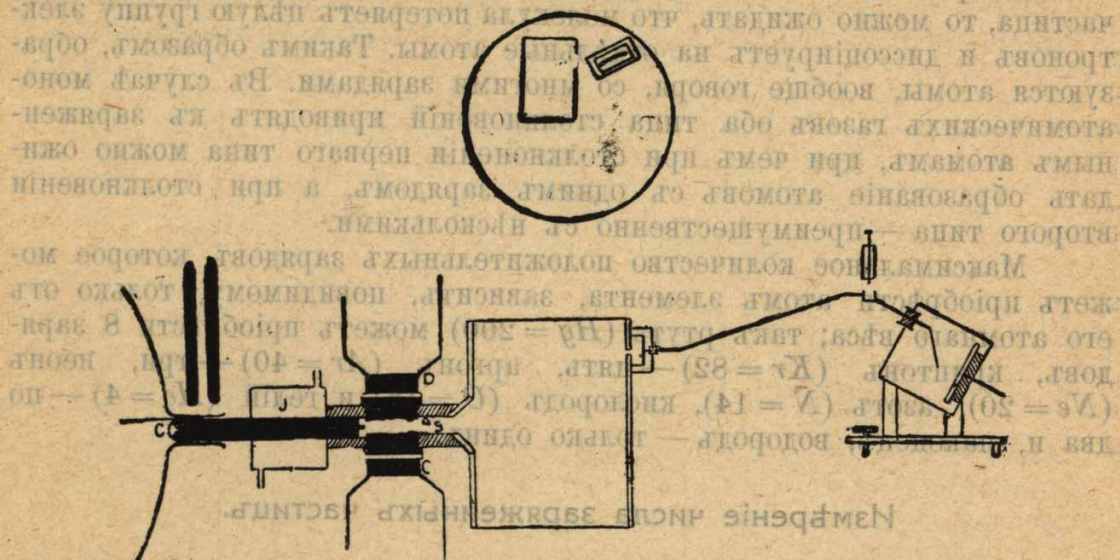


Рис. 11.

На рис. 12 изображена кривая, которая получается, если въ разрядной трубкѣ находится окись углерода; абсциссы изображаютъ

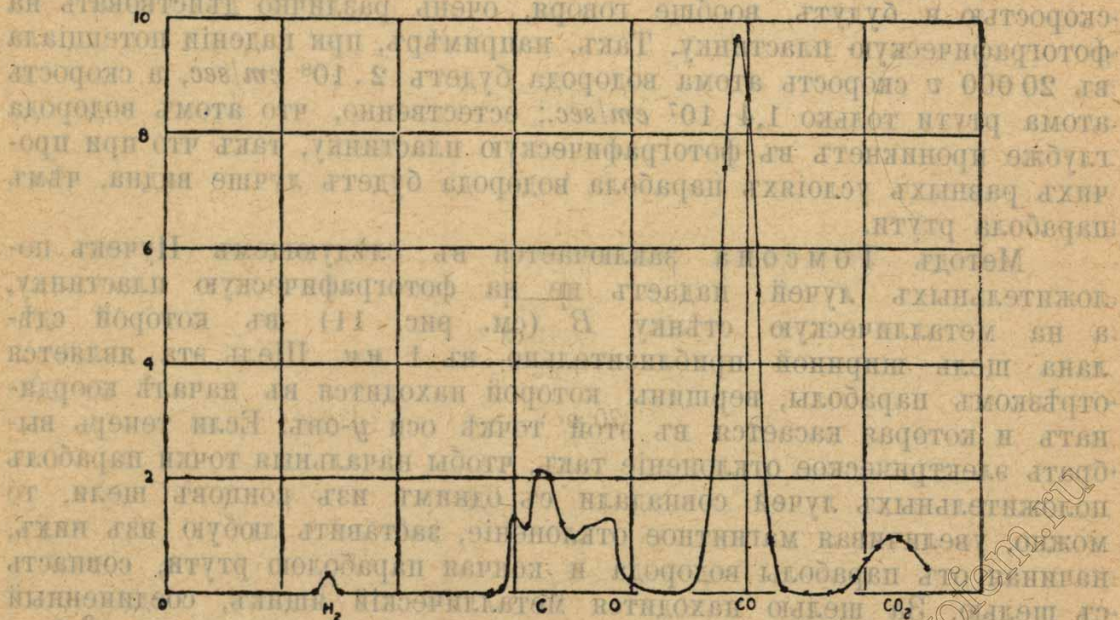


Рис. 12.

Окись углерода 320 вольтъ.

силу магнитнаго поля, а ординаты отклоненіе электроскопа за 10 секундъ. На этой кривой видны максимумы, соотвѣтствующія частицамъ.

H_2^+ , C^+ , O^+ , CO^+ , CO_2^+ . Любопытно, что на фотографическом снимкѣ, полученномъ при тѣхъ же условіяхъ, самыми замѣтными являются параболы H^+ и H_2^+ ; мы видимъ, насколько неправильны были бы количественныя сужденія, основанныя на фотографіяхъ.

(Отрицательныя).

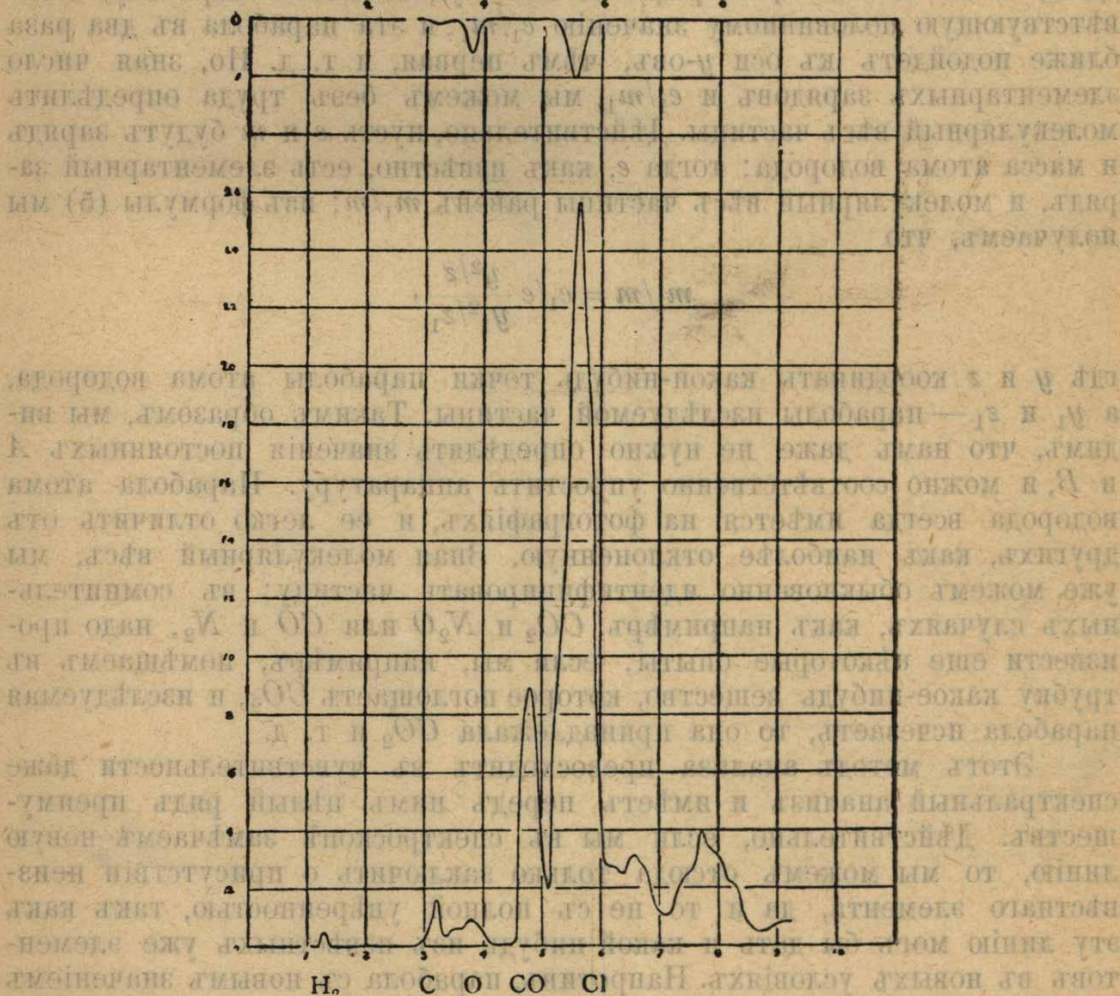


Рис. 13.

Фосгенъ $COCl_2$ 320 вольтъ. (Положительныя).

То же относится и къ отрицательно заряженнымъ частицамъ: въ то время, какъ на фотографіяхъ парабола H^- хорошо видна, посредствомъ электроскопа можно открыть только слѣды атомовъ водорода съ отрицательнымъ зарядомъ, тогда какъ параболы O^- , Cl^- даютъ замѣтныя отклоненія электроскопа (см. верхнюю кривую рис. 13).

Примѣненіе метода положительныхъ лучей къ химическому анализу.

Разсмотримъ еще вкратцѣ примѣненія этихъ методовъ къ химическому анализу. Если въ разрядной трубкѣ находится самое мини-

мальное количество какого-нибудь неизвестного газа, то мы получаемъ на фотографической пластинкѣ рядъ параболъ, при чемъ каждой соответствуетъ определенное значеніе e_1/m_1 , гдѣ e_1 равно либо элементарному заряду, либо небольшому цѣлому кратному его. Мы всегда имѣемъ возможность рѣшить вопросъ, сколькимъ элементарнымъ зарядамъ равно e_1 , такъ какъ, если e_1 равно, на примѣръ, двумъ зарядамъ, то на той же фотографіи можно будетъ найти параболу, соответствующую половинному значенію e_1/m_1 , и эта парабола въ два раза ближе подойдетъ къ оси y -овъ, чѣмъ первая, и т. д. Но, зная число элементарныхъ зарядовъ и e_1/m_1 , мы можемъ безъ труда определить молекулярный вѣсъ частицы. Дѣйствительно, пусть e и m будутъ зарядъ и масса атома водорода; тогда e , какъ извѣстно, есть элементарный зарядъ, и молекулярный вѣсъ частицы равенъ m_1/m ; изъ формулы (5) мы получаемъ, что

$$m_1/m = e_1/e \frac{y^2/z}{y_1^2/z_1},$$

гдѣ y и z координаты какой-нибудь точки параболы атома водорода, а y_1 и z_1 — параболы изслѣдуемой частицы. Такимъ образомъ, мы видимъ, что намъ даже не нужно опредѣлять значенія постоянныхъ A и B , и можно соответственно упростить аппаратуру. Парабола атома водорода всегда имѣется на фотографіяхъ, и ее легко отличить отъ другихъ, какъ наиболѣе отклоненную. Зная молекулярный вѣсъ, мы уже можемъ обыкновенно идентифицировать частицу; въ сомнительныхъ случаяхъ, какъ на примѣръ, CO_2 и N_2O или CO и N_2 , надо произвести еще нѣкоторые опыты; если мы, на примѣръ, помѣщаемъ въ трубку какое-нибудь вещество, которое поглощаетъ CO_2 , и изслѣдуемая парабола исчезаетъ, то она принадлежала CO_2 и т. д.

Этотъ методъ анализа превосходитъ въ чувствительности даже спектральный анализъ и имѣетъ передъ нимъ цѣлый рядъ преимуществъ. Дѣйствительно, если мы въ спектроскопѣ замѣчаемъ новую линію, то мы можемъ отсюда только заключить о присутствіи неизвестнаго элемента, да и то не съ полной увѣренностью, такъ какъ эту линію могъ бы дать и какой-нибудь изъ извѣстныхъ уже элементовъ въ новыхъ условіяхъ. Напротивъ, парабола съ новымъ значеніемъ для m не только указываетъ на присутствіе новаго тѣла, но и даетъ намъ сразу и его молекулярный вѣсъ. Далѣе, избытокъ другихъ элементовъ не мѣшаетъ появленію параболы элемента, присутствующаго даже въ очень незначительномъ количествѣ, какъ это часто бываетъ при спектральномъ анализѣ.

Томсонъ приводитъ рядъ примѣровъ примѣненія своего метода.

Такъ, онъ изслѣдовалъ газы, которые получаются въ видѣ остатка при испареніи жидкаго воздуха. Рис. 14 соответствуетъ фракціи съ тяжелыми составными частями, а рис. 15 — фракціи съ легкими составными частями. На рис. 14 видны параболы ксенона, криптона, аргона и неона; такимъ образомъ, среди составныхъ частей воздуха съ высокимъ атомнымъ вѣсомъ нѣтъ неизвестныхъ элементовъ. На рис. 15 видны парабола гелія, парабола неона съ однимъ и съ двумя зарядами, и парабола съ m/e равнымъ 22.

Эта парабола во всякомъ случаѣ не принадлежитъ молекуль CO_2 съ двумя зарядами, такъ какъ присутствіе CO_2 никакого вліянія на яркость этой линіи не имѣетъ. Вообще эта линія не можетъ принадлежать какому-нибудь соединенію, такъ какъ она имѣетъ продолженіе къ оси y -овъ, доходящее до половины нормальнаго разстоянія, и на той же фотографіи есть другая линія съ m/e равнымъ 11; иначе говоря, неизвѣстныя частицы могутъ

имѣть и два заряда, что бываетъ только съ атомами. Такимъ образомъ, эта линія соотвѣтствуетъ новому элементу съ атомнымъ вѣсомъ 22, который постоянно со-

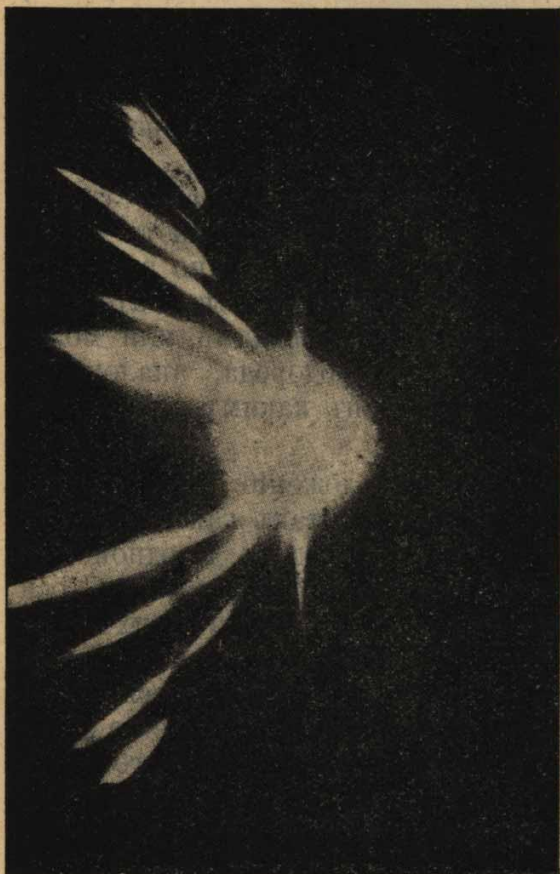


Рис. 14.

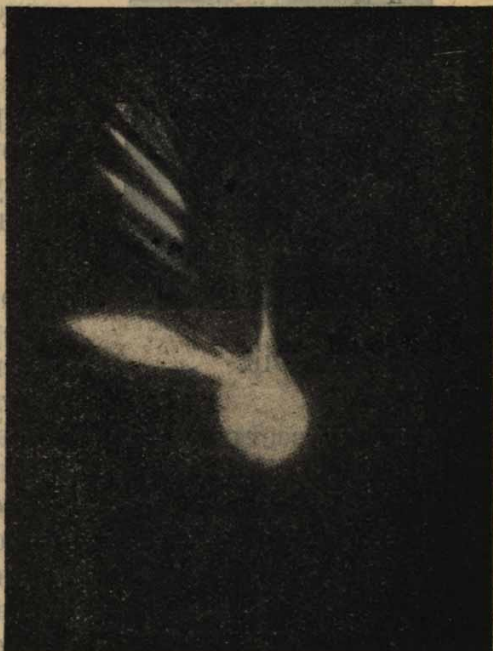


Рис. 15.

проводитъ неонъ; такъ какъ она гораздо слабѣ линіи неона, то нужно предположить, что этотъ элементъ содержится въ атмосферѣ по сравнению съ неономъ лишь въ небольшомъ количествѣ.

Астонъ (Aston) пробовалъ раздѣлить неонъ, добытый изъ атмосферы, помощью фракціонированнаго поглощенія углемъ, охлажденнымъ жидкимъ воздухомъ; однако, усилія въ этомъ направленіи остались безрезультатными. Удачнѣе было примѣненіе метода фракціонированной диффузии: болѣе легкій неонъ диффундировалъ скорѣе, чѣмъ новый элементъ, и этимъ путемъ удалось получить изъ неона фракціи съ болѣею плотностью, которыя давали значительно ярче параболу съ $m/e = 22$. Спектръ новаго газа идентиченъ со спектромъ неона. Для него нѣтъ мѣста въ классической системѣ Менделѣева; однако, въ настоящее время изысканія въ совершенно другой области, а именно въ теоріи радиоактивнаго распада, показали, что можно ожидать суще-

ствование группъ элементовъ съ близкими атомными вѣсами и съ совершенно идентичными свойствами.

Очень интересные результаты дало также изслѣдованіе газовъ, выделяющихся при бомбардировкѣ твердыхъ тѣлъ катодными лучами. На рис. 16 видны фотографіи, получающіяся до и послѣ введенія въ сосудъ этихъ газовъ. Мы видимъ, что послѣ введенія появились линіи съ $m/e = 3$, $m/e = 4$, $m/e = 10$ и $m/e = 20$. Вторая изъ нихъ принадлежитъ гелію, третья и четвертая неону, что же касается первой линіи, то Томсонъ назвалъ тѣло, которому она принадлежитъ X_3 . Оказывается, что при бомбардировкѣ катодными лучами самыя разнообразныя вещества выделяютъ водородъ, гелій, неонъ и X_3 . Судя по значенію m/e , частица X_3 могла бы быть атомомъ углерода съ четырьмя зарядами, или молекулой трехатомнаго водорода, аналогично озону, или же наконецъ какимъ-нибудь новымъ элементомъ.

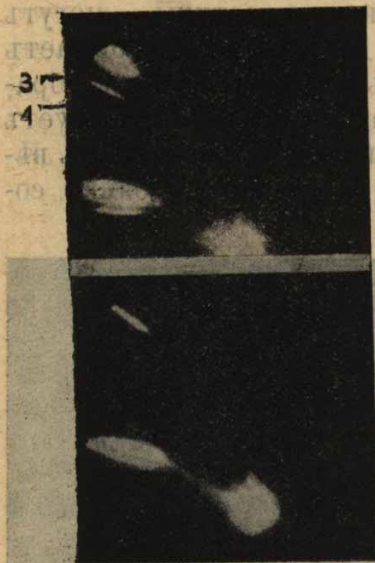


Рис. 16.

Первое предположеніе рѣшительно опровергается опытомъ, такъ какъ парабола углерода никогда не доходитъ до одной четверти нормальнаго разстоянія отъ оси y -овъ; далѣе, парабола X_3 на этихъ фотографіяхъ всегда сильнѣе параболы C^{++} и иногда даже сильнѣе параболы C^+ . Наконецъ, парабола X_3 никогда не наблюдается, если пропускать разрядъ черезъ какое-нибудь газообразное соединеніе углерода. Есть много данныхъ, которыя говорятъ въ пользу второго предположенія. Такъ, особенно много X_3 выделяется при бомбардировкѣ веществъ, которыя либо содержатъ водородъ, какъ KOH и $LiOH$, либо гигроскопичны, какъ $LiCl$ и $CaCl_2$, такъ что могутъ притянуть воду изъ атмосферы. При одномъ опытѣ нѣкоторое количество KOH выделяло X_3 непрерывно въ теченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ. Химическія свойства X_3 , поскольку ихъ удалось изслѣдовать, тоже не противорѣчаютъ этому предположенію.

X_3 исчезаетъ, если пропускать искры черезъ смѣсь его съ кислородомъ или сильно освѣтить ее; онъ исчезаетъ также при нагреваніи съ окисью мѣди до температуры краснаго каленія. Въ отсутствіи кислорода X_3 сохраняется долгое время. Бомбардировка катодными лучами не является единственнымъ способомъ полученія X_3 ; послѣдній выделяется также изъ танталовой проволоки, если пропускать черезъ нее токъ, пока она не расплавится, далѣе изъ нагрѣтой окиси кальція и въ нѣкоторомъ количествѣ самопроизвольно изъ KOH въ пустотѣ.

Что касается выделения неона и гелія при бомбардировкѣ катодными лучами, то въ отличіе отъ выделения X_3 , оно значительно ослабѣваетъ послѣ нѣсколькихъ часовъ бомбардировки, однако, не прекращается совершенно. Различныя вещества выделяютъ гелій въ очень различной степени; но присутствіе водорода не имѣетъ того вліянія,

какъ въ случаѣ X_3 . Больше всего выделяется гелія изъ KI . Во всякомъ случаѣ, выдѣленные количества настолько малы, что не даютъ характерныхъ линий въ спектроскопѣ; необходима вся чувствительность Томсоновскаго метода, чтобы ихъ обнаружить. Многократная перекристаллизация соли не вліяетъ на выдѣленія гелія, такъ что трудно предположить, чтобы онъ былъ въ ней просто механически заключенъ; быть можетъ, внутри атомовъ нѣкоторыхъ элементовъ происходитъ радіоактивный процессъ, аналогичный образованію α -частицъ, но скорость образующихся атомовъ гелія настолько мала, что они остаются связанными съ остальною частью распавшагося атома и выдѣляются только подъ ударами катодныхъ лучей. Эта гипотеза хорошо объясняетъ болѣе сильное выдѣленіе въ началѣ бомбардировки; однако, для рѣшенія этого вопроса, также какъ и для рѣшенія вопроса объ X_3 , необходимы дальнѣйшіе опыты.

Мы видимъ, что методъ положительныхъ лучей далъ за сравнительно короткое время блестящіе результаты въ самыхъ разнообразныхъ областяхъ, какъ то іонизация газовъ, теорія сродства, открытіе неизвѣстныхъ элементовъ, изученіе химическихъ реакцій совершенно новаго типа, такъ что и въ будущемъ отъ него можно еще много ожидать.

О характерѣ прерывности, которую можетъ имѣть производная.

Т. Афанасевой-Эренфестъ.

§ 1. При доказательствѣ различныхъ предложеній анализа считается нѣсколько неприличнымъ опираться на непрерывность производной, когда можно безъ этого обойтись.

Какой дефектъ подобнаго рода доказательство имѣетъ въ логическомъ отношеніи, понятно. Но интересно также одинъ разъ спросить себя, насколько великъ практическій выигрышъ отъ доказательства, построеннаго на одномъ только существованіи производной, безъ указанія на ея непрерывность.

Какъ извѣстно, для функцій аналитическихъ существованіе первой производной уже обезпечиваетъ существованіе производныхъ всѣхъ слѣдующихъ порядковъ, слѣдовательно, а *fortiori*, непрерывность первой производной. Слѣдовательно, для класса аналитическихъ функцій не имѣетъ пракческаго смысла избѣгать пользованія непрерывностью производной.

Спрашивается: какого рода функціями обогащается область примѣнимости какого-нибудь предложенія въ общемъ случаѣ, если при его доказательствѣ опускается требованіе непрерывности производной?

Какимъ характеромъ прерывности можетъ обладать функція, если она въ то же время является производной отъ какой-либо функціи?