

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ α - И β -ЧАСТИЦ.

Л. В. Мысовский, Ленинград.

Недостатки метода сцинтилляций.

Основным методом наблюдения и счета отдельных α -частиц несомненно до сих пор остается метод сцинтилляций. Вряд ли нужно напоминать о тех громадных услугах, которые этот метод оказал физической науке вообще, дав возможность выяснить в основных чертах строение атома, и учению о радиоактивности — в частности. Поэтому не удивительно, что многие физики старались всячески улучшить самый метод и облегчить пользование им. Тем, кому приходилось наблюдать сцинтилляции только в обычном спинтарископе, не легко себе представить, насколько увеличиваются трудности наблюдения при уменьшении числа сцинтилляций. А между тем, для того чтобы не ошибаться в счете, не следует, как показал опыт, наблюдать больше 3 частиц в 1 секунду. При таком чередовании вспышек глаз не всегда удается правильно аккомодировать в точности на то место, где должно помещаться в окуляре микроскопа изображение экрана сернистого цинка. Не редки случаи, когда аккомодация глаза между двумя последовательными вспышками оказывается расстроенной и сцинтилляция воспринимается настолько туманно, что трудно бывает поручиться за ее действительное существование. Чтобы облегчить аккомодацию, раньше освещали экран сернистого цинка слабым красным светом. Впоследствии был предложен другой, более удобный и изящный способ. В

окуляр в том месте, где должно находиться изображение экрана сернистого цинка, помещается кольцо, освещаемое светящейся краской. Таким образом центральная часть для зрения остается совершенно темной, а сцинтилляции удобно наблюдаются в рамке светящегося круга. Другим обстоятельством, облегчающим наблюдение не только α -частиц, но и β -частиц (напр., при изучении расщепления атомов) было применение специальных особо светосильных микроскопов. Не останавливаясь подробнее на методе и трудностях наблюдения и счета β -частиц, так как рассмотрение работ по расщеплению атомов завело бы нас слишком далеко, укажем только, что в некоторых случаях метод сцинтилляций, примененный для счета β -частиц, дал спорные результаты, расходящиеся у различных исследователей, и для выяснения вопроса пришлось прибегнуть к другим способам регистрации этих частиц. Другой пример трудности и неточности метода сцинтилляций можно найти в работах по определению числа α -частиц с большим пробегом. Как известно, пробег α -частиц является строго определенной величиной, характерной для каждого α -излучателя. Величина пробега может быть определена в некоторых случаях при помощи метода сцинтилляций с точностью почти до 1%. Очевидно, что свойства α -излучателей должны были заинтересовать исследователей внутреннего строения ядра и вызвать появление целого ряда гипотез. Определенность пробега α -частиц и связанная с этим определенность энергии с несомненностью указывают на существование внутри ядра уровней энергии¹ подобных тем, которые были установлены для внеядерных электронов. Установленная Гейгером и Нуталлом связь между величиной пробега и продолжительностью жизни элементов также послужила основанием для попыток проникнуть во внутреннюю сущность процесса радиоактивного распада. В самое последнее время для этой цели была применена квантовая механика Шредингера и Дирака.²

¹ L. Mysowsky, Z. Physik, 18, 304, 1923.

² См. работы Гамова, Кудара и др. в Z. Physik за последние два года.

Поэтому несколько не удивительно, что вопрос об исключениях из правила о постоянстве пробега живейшим образом заинтересовал физиков и был сделан целый ряд работ по методу сцинтилляций для определения числа α -частиц с большим пробегом и самой величины таких удлиненных пробегов. Однако вследствие небольшого числа этих частиц — от 10 до 40 на миллион нормальных — трудности метода сцинтилляций и его субъективность сказались с особенной силой. Дело дошло до того, что многие физики в виду разноречивых результатов, получаемых исследователями, работающими по методу сцинтилляций, начали сомневаться даже в самом существовании аномальных α -частиц. Пришлось обратиться к другому методу, чтобы окончательно установить наличие известного числа аномальных пробегов как у ThC, так и RaC. Следует еще упомянуть, что метод сцинтилляций может быть применен только для наблюдений α -частиц. Несмотря на то, что β -частицы также вызывают свечение сернистого цинка, отдельных частиц, вопреки всем стараниям, наблюдать до сих пор не удалось. В этом отношении камера Вильсона, к описанию некоторых работ с которой мы теперь и перейдем, представляет громадные преимущества.

Камера Вильсона.

Если говорить об усовершенствовании самой камеры, то можно будет сказать лишь весьма немногое. Со времени появления в печати первого образца описанного самим Ч. Т. Р. Вильсоном, почти никаких принципиальных улучшений или изменений не было сделано. Были попытки построить прибор, в котором можно было бы наблюдать пути α - и β -частиц непрерывно. Для этой цели нужно получить непрерывную струю адиабатически расширившегося газа, проходящую мимо источника α - или β -лучей. Однако все старания в этом направлении потерпели неудачу из-за образования внутри газа вихревых движений, совершенно уничтоживших тонкую структуру следов не только β -, но даже и α -частиц. Единственно чего удалось достигнуть — это повысить коэффициент полезного действия камеры, ва-

ставив ее поршень при помощи механической передачи опускаться несколько раз в секунду. У первой модели такой камеры поршень был соединен посредством кривошипа с мотором, но это нарушало правильность и четкость конденсации паров на ионах. Дело в том, что при определенных условиях температуры и влажности газа, находящегося внутри камеры, требуется и определенный режим опускания поршня. После нескольких полных циклов ре-

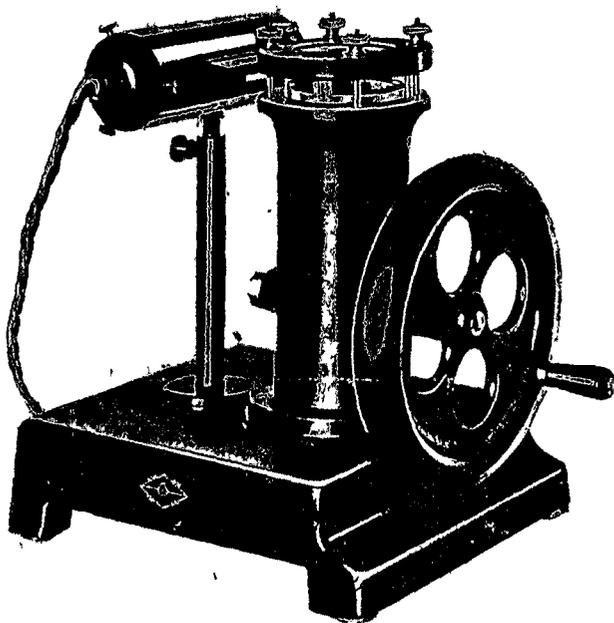


Рис. 1.

жим этот обычно меняется, и восстанавливать его, меняя скорость вращения электромотора, довольно трудно. Кембриджская инструментальная компания, выпускающая эти камеры, в последней своей модели, остановилась на конструкции, изображенной на рис. 1. Вращение махового колеса производится рукой, и потому частота и резкость поворотов может постоянно регулироваться в соответствии с наблюдающейся в камере картиной путей α - или β -частиц. Автору настоящей статьи приходилось работать с такой

камерой, и нужно сказать, что получать в ней пути как α - так и β -частиц чрезвычайно легко и просто. Не было случая, чтобы такая камера при всех условиях, при каких она была испытана, отказалась работать. Все жалобы различных исследователей на какие-то непонятные влияния, мешающие правильному действию камеры, повидимому, не имеют места при работе с этой последней моделью. К сожалению, все выгоды работы с этой камерой в значительной мере иллюзорны. Промежуток времени, в течение которого видны пути, настолько мал, что глаз, конечно, не успевает схватить всех необходимых деталей; фотографировать же быстро меняющуюся картину можно или при помощи съемочного кинематографического аппарата или же соединить в одну установку механизм, опускающий поршень с затвором фотографического аппарата обычного типа. Первый способ слишком дорог, так как требует большого количества кинематографической ленты; при втором же теряются все описанные выше преимущества. Таким образом почти во всех работах, в которых пути α - или β -частиц фиксируются на фотографической пластинке, исследователи предпочитают пользоваться обычной моделью камеры Вильсона, и лишь технические способы опускания поршня несколько отличаются между собой.

Если однако камера Вильсона, как прибор, почти не изменилась, то далеко нельзя сказать того же о методах ее использования, вернее, о методах наблюдения при помощи этой камеры. Здесь мы встречаем такое разнообразие, что изложить все последние работы в этой области не представляется возможным, и мы ограничимся лишь некоторыми, представляющими, по нашему мнению, существенные методические особенности.

α -ЧАСТИЦЫ С АНОМАЛЬНО БОЛЬШИМ ПРОБЕГОМ.

При разборе метода сцинтилляций мы уже упоминали о том, что для проверки действительного существования α -частиц с большим пробегом была использована камера Вильсона. Сделано это было впервые Л. Мейтнер и

К. Фрейтагом.¹ Идея, которая была положена в основу методики этих опытов, заключалась в том, чтобы сразу при одном лишь опускании поршня получить наибольшее количество путей нормальных α -частиц. Вероятность встречи среди такого пучка путей хотя бы одной частицы с аномальным пробегом возрастает, конечно, соответственно увеличению числа путей в этом пучке. Однако количество нормальных α -частиц в пучке не должно было быть настолько велико, чтобы в нем нельзя было различить их отдельных следов. В нескольких снимках такого рода можно

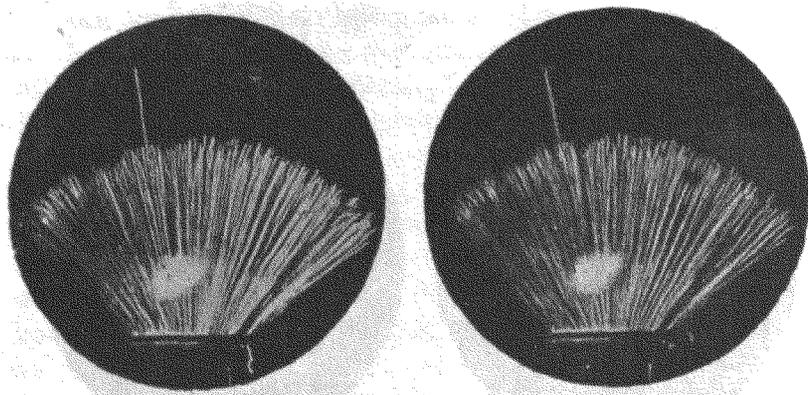


Рис. 2.

было ожидать появления α -частиц с аномально большим пробегом. Такую частицу мы наблюдаем на рис. 2.

Этот рисунок при рассматривании его в стереоскоп дает полное представление о том, с какой тщательностью и экспериментальным искусством были произведены эти опыты. Не только α -частица с большим пробегом, но и отдельные следы нормальных α -частиц выступают с поразительной ясностью. Точность работы была настолько велика, что позволила не только убедиться в существовании α -частиц с аномально большим пробегом и измерить величину этого пробега, но, кроме того, позволила изучить колебания длины пробега у нормальных α -частиц. Наглядное представление о величине таких колебаний можно получить даже при

¹ Meitner u. Freitag, Z. Physik, 37, 481, 1926.

самом поверхностном рассматривании рис. 2 в стереоскоп. Теоретический разбор вопроса о возможной величине колебаний, произведенный Мейтнер совместно с Лауе,¹ оказался в полном согласии с опытными данными. Мейтнер и Фрейтагом производились также снимки с пучков, состоящих из значительно меньшего числа путей; на этих снимках ясно видны частицы двух родов с пробегами 4,8 см и 8,6 см, принадлежащих соответственно ThC и ThC' . Из этих снимков можно заключить, что и длины путей частиц с меньшим пробегом подвержены не большим колебаниям, чем длины путей с пробегом в 8,6 см. Еще лучшее пред-

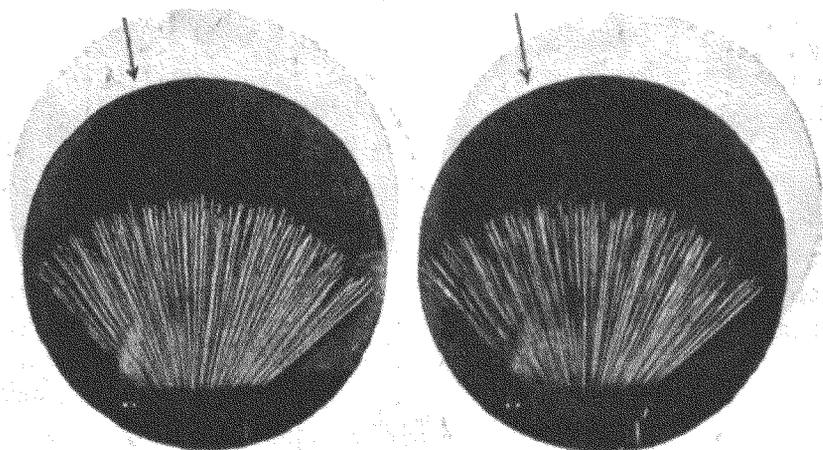


Рис. 3.

ставление о совершенстве эксперимента Л. Мейтнер и К. Фрейтага можно получить, рассматривая рис. 3, на котором изображен пучок путей α -частиц и, кроме того, виден один путь H -частицы, выходящий далеко за пределы пучка и имеющий гораздо более тонкое строение, чем путь α -частицы, но более грубое чем пути β -частиц. Этот снимок служит доказательством не только совершенства эксперимента, но и, что гораздо важнее, — доказательством того, что длинные пути подобные тем, которые изображены на рис. 2, принадлежат α -частицам с большим пробегом, а не образовавшимся благодаря столкновению нормальной

¹ Meitner u. Laue. Z. Physik. 41, 397, 1927.

α -частицы с атомом водорода¹ Н-частицам. Чтобы закончить изложение опытов Л. Мейтнер и К. Фрейтага, остается лишь указать, что все эти прекрасные результаты были получены благодаря весьма небольшим усовершенствованиям в камере Вильсона. Действительно, все их главные изменения состояли в том, что они вместо обычного размера камеры в 16 см диаметром взяли диаметр в 21 см, перед источником α -лучей поместили горизонтальную щель, а перед щелью на дне поршня находился экран, открывавший доступ α -частицам в камеру лишь при вполне определенном положении поршня.²

Как ни тщательно проделаны опыты Л. Мейтнер и К. Фрейтага, все же они являются еще не окончательными, и дальнейшие работы в этой области продолжаются. Так, в самое последнее время появилась работа Ниммо и Феззера,³ в которой проверяются и критикуются результаты, полученные Мейтнер и Фрейтагом с ThC. Речь идет, конечно, не о сомнении в существовании таких аномальных частиц, а лишь о числе их и о величине их пробега. Работа Ниммо и Феззера, выполненная также при помощи камеры Вильсона, по нашему мнению, уступает по изяществу и отделке экспериментам Мейтнер и Фрейтага, но это обстоятельство не умаляет значения полученных результатов. Ниммо и Феззер делали снимки при помощи обыкновенного аппарата с одним объективом, а не стереоскопического как Мейтнер и Фрейтаг. Однако фотографии их, поскольку речь идет о частицах с аномально большим пробегом, столь же убедительны как и стереоскопические снимки Мейтнер и Фрейтага. В качестве примера приведем на рис. 4 один из снимков

¹ Наличие водяного пара в камере Вильсона делает такое столкновение весьма вероятным. Это обстоятельство, между прочим, очень затрудняет изучение расщепления атомов в камере Вильсона.

² Такой опускающийся экран применялся Вильсоном при самых первоначальных опытах. Разница здесь, в сущности говоря, лишь в том, что Л. Мейтнер и К. Фрейтаг экспериментально определили его наилучшую высоту.

³ B. Nimmo and. N. Feather. Roy. Soc. Proc. A. 122, p. 668.

Ниммо и Феззера. На этом снимке ясно видны три частицы с аномально большим пробегом. Учитывая условия опыта,¹ Ниммо и Феззер дают для этих частиц величину пробега (считая слева направо) в 11,59, 11,77 и 11,71 см. На основании своих снимков Ниммо и Феззер приходят к следующим выводам. Торий С дает 2 группы α -частиц с большим пробегом в 11,7 и в 9,90 см. Кроме того, ими были найдены у ThC α -частицы с пробегом

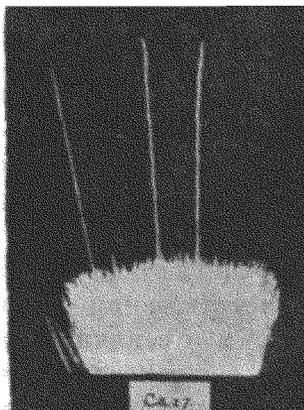


Рис. 4.

большим чем 12,5 см. Что касается радия С, то здесь наблюдается более сложная и менее определенная картина. Радий С испускает не только две группы аномальных частиц с пробегом в 9,8 и 11,8 см, но и другие частицы, величина пробега которых лежит между 7,5 и 12,5 см. Поскольку дело идет о величине пробега, то результаты Ниммо и Феззера почти совпадают с данными Мейтнер и Фрейтага, так как последние нашли для тория С также две группы частиц с пробегом в 11,5 и 9,5 см и,

кроме того, некоторое число частиц с пробегом больше 12 см. То обстоятельство, что численные подсчеты количества частиц не совсем совпадают с результатами Мейтнер и Фрейтага, указывает лишь на необходимость дальнейших экспериментов в этом направлении. Что касается RaC, то Ниммо и Феззер сами указывают на сложность вопроса и необходимость дальнейших еще более тщательных исследований. Во всяком случае даже те результаты, которые уже получены, подтверждают, по мнению Ниммо и Феззера, теорию Резерфорда о распределении уровней энергии α -частиц внутри ядра.²

¹ Толщину слюдяного экрана, защищающего препарат радия, величину разрежения в камере.

² E. Rutherford. Phil. Mag. 22, 580, 1927.

β -ЧАСТИЦЫ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В КАМЕРЕ ВИЛЬСОНА.

Говоря о недостатках спинтилляционного метода, мы уже указывали, что он не дает возможности наблюдать отдельные вспышки от β -частиц. Совсем иначе обстоит дело с камерой Вильсона. В настоящее время известно громадное число работ, в которых изучались свойства β -частиц при помощи наблюдения и фотографирования их путей в камере Вильсона. Однако все эти частицы были вторичного происхождения и вызывались рентгеновыми лучами или гамма-лучами радиоактивных элементов. Это объясняется трудностью защиты от водяных паров введенного в камеру

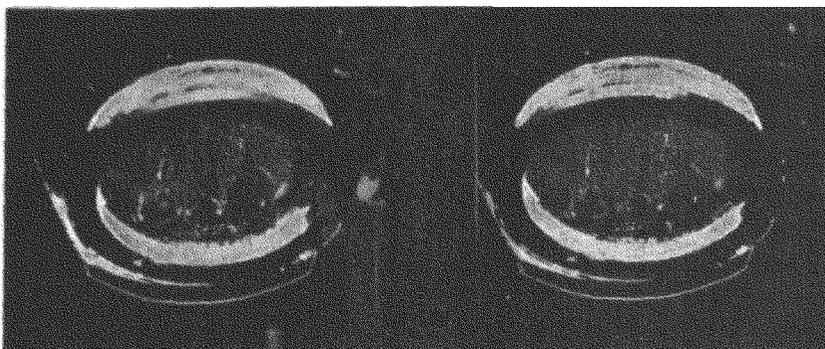


Рис. 5.

Вильсона радиоактивного препарата. С этой трудностью пришлось встретиться и автору настоящей статьи при попытке изучить β -частицы калия и рубидия. Как известно, эти элементы также радиоактивны и являются довольно сильными β -излучателями. Попытки уложить эти вещества в какую-либо схему радиоактивного распада потерпели до сих пор полную неудачу. Не удалось получить ни продуктов распада ни каких-либо данных, говорящих за существование родоначальника этих веществ. Гипотеза о распаде атомов, выдвинутая Резерфордом и Содди для объяснения лучей обычных радиоактивных элементов, повидимому,

неприменима для объяснения процесса испускания β -лучей у калия и рубидия.

Лучи калия и рубидия еще более загадочны, чем α -, β - и γ -лучи известных нам радиоактивных семейств. Не удивительно поэтому, что для изучения активности калия и рубидия применялись почти все известные в науке методы, при помощи которых можно было надеяться обнаружить их лучи. Только камера Вильсона отсутствовала в длинном перечне работ, произведенных с калием и рубидием. Этот пробел удалось восполнить автору настоящей статьи совместно с Р. А. Эйхельбергером. На рис. 5 приведен один из многочисленных стереоскопических снимков, полученных в Радиовом институте в Ленинграде. При рассматривании этого рисунка без стереоскопа пути β -частиц сливаются с освещенными, рассеянным светом кристалликами хлористого рубидия, положенными на дно камеры. В стереоскопе же ясно видны следы β -частиц, расположенные в пространстве и направленные в разные стороны, снизу вверх. Самое начало путей не видно, так как в камеру пускался только узкий горизонтальный пучок света, чтобы избежать таким образом нежелательного нагревания и чрезмерного освещения дна. На произведенных снимках можно объективно наблюдать все основные свойства β -лучей рубидия. Эта работа еще не вполне закончена, и подробный отчет о ней будет напечатан лишь спустя некоторое время. Здесь же мы в заключение отметим лишь то обстоятельство, что для выполнения этой работы пришлось воспользоваться камерой Вильсона обычного типа, собрать сложную установку с системой электромагнитных переключений и пришлось преодолеть все те „капризы“ этой камеры, о которых говорилось выше и на которые жалуются другие наблюдатели.

Применение магнитного поля при наблюдении β -частиц в камере Вильсона.

Чрезвычайно интересные результаты получаются с камерой Вильсона, помещенной в магнитное поле. Впервые магнитное поле было применено для исследования α -час-

тиц П. Л. Капицей. Д. В. Скобельцын применил аналогичную установку для изучения путей β -частиц. В основных чертах метод применения магнитного поля заключается в следующем. Камера Вильсона окружается соленоидом из двух катушек, намотанных на один общий цилиндр. В середине цилиндра между катушками делается щель для освещения камеры в момент опускания поршня. В этот же момент включается на короткий промежуток времени и ток в соленоиде. После того как произошло опускание поршня, ток выключается. За короткий промежуток времени, необходимый для опускания поршня, соленоид не успевает нагреться до слишком высокой температуры, и сопротивление медной проволоки меняется лишь незначительно. Поэтому за время опускания поршня можно считать ток, идущий через соленоид, практически постоянным, а следовательно постоянными остаются и магнитное поле. Число витков подбирается таким образом, чтобы напряжение магнитного поля внутри соленоида равнялось приблизительно тысяче гауссов. Такое поле достаточно для отклонения почти всех частиц, вызываемых γ -лучами радиоактивных элементов. Д. В. Скобельцын произвел с такой установкой целый ряд работ по изучению эффекта Комптона и распределения энергии в спектре гамма-лучей. Мы остановимся лишь на последней работе Скобельцына, указывающей на существование в природе чрезвычайно быстрых электронов.¹ Наблюдая в камере Вильсона электроны, вызванные гамма-лучами радия, Скобельцын обратил внимание на то обстоятельство, что среди искривленных магнитным полем путей встречаются электроны с совершенно прямыми путями. Исходя из величины магнитного поля, приложенного к камере Вильсона, Скобельцын считает, что некоторые из наблюдаемых им электронов обладали энергией больше чем 15 миллионов вольт. Так как среди радиоактивных веществ мы не знаем частиц с энергией больше чем 8 миллионов, то вполне естественно было предположить, что своим происхождением столь

¹ D. Skobelzyn. Z. Physik. 54, 686, 1929.

быстрые электроны обязаны космическим лучам. Такое предположение тем более вероятно, что направление этих быстрых электронов не связано с основными наблюдавшимися пучками комптоновских электронов. На рис. 6 приведен один из стереоскопических снимков Д. В. Скобельцына. На этом рисунке ясно видно, что прямолинейный путь электрона, находящийся в левом верхнем углу снимка и обозначенный стрелкой, не имеет никакого отношения к основному пучку комптоновских электронов, происшедших от поглощения гамма-лучей. Наоборот, распределение числа таких электронов по углам, как показали данные Скобельцына, соответствует распределению интенсивности

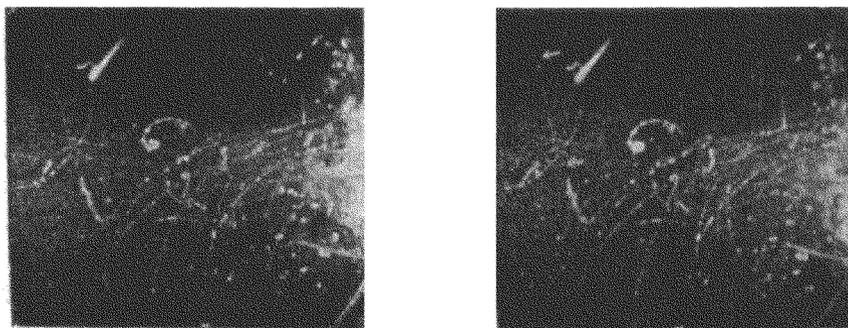


Рис. 6.

космических лучей на поверхности земли после поглощения части их земной атмосферой. Д. В. Скобельцын считает, что наблюдаемые им электроны суть комптоновские электроны, вызванные поглощением космических лучей. Мы не будем останавливаться на затруднениях, которые вызываются таким толкованием при объяснении аномального поглощения космических лучей в так называемом „переходном слое“, состоящем из двух веществ весьма различной плотности, как, напр., воздух и свинец. Интересующихся этим вопросом отсылаем к оригинальной статье Д. В. Скобельцына и к книжке автора этой статьи „Космические лучи“.¹ Заметим только, что описанные нами наблюдения

¹ Л. В. Мысовский. Космические лучи. Гиз., М. 1929.

Скобельцына дали вновь толчок для исследования природы космических лучей. К этому последнему вопросу мы еще раз вернемся при описании работ, сделанных с новым счетчиком Гейгера.

В заключение рассмотрения вопроса о применении магнитного поля к явлениям, наблюдаемым в камере Вильсона, следует заметить, что этот метод далеко еще не использован полностью, и дальнейшее применение его открывает многие еще не исследованные возможности. Напр.,

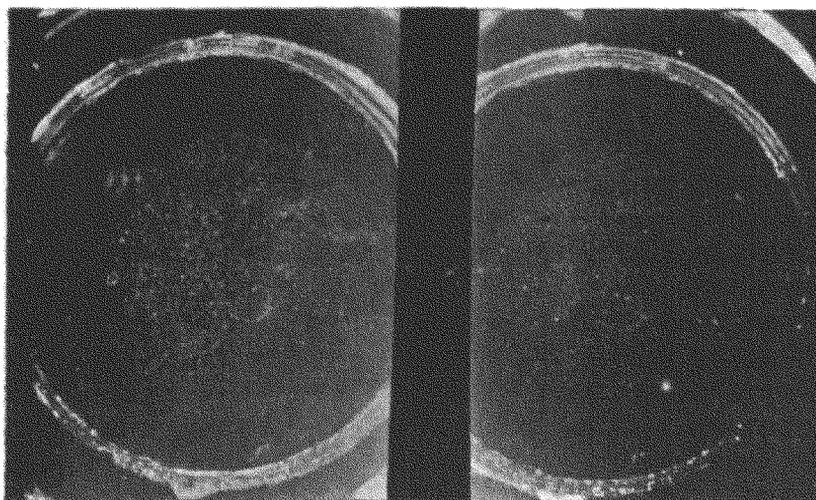


Рис. 7.

автору настоящей статьи, при применении магнитного поля к изучению следов β -частиц, пришлось наблюдать странное и на первый взгляд необъяснимое явление. Путь электрона, вначале совершенно прямой, затем перешел в правильную кривую круговой формы. Такой переход можно было бы объяснить лишь внезапным уменьшением скорости и связанной с этим потерей энергии через лучеиспускание. Однако по наблюдениям Акияма¹ над атомами отдачи, произведенным также в камере Вильсона и зафиксированным на стереоскопических снимках, нужно заключить, что

¹ М. Акияма. Jap. Journ. of Physics. 2 279, 287, 1923.

испускание кванта лучистой энергии сопровождается в свою очередь отдачей соответственно величине кванта. На прилагаемом рис. 7, внизу в левом углу находится путь электрона, о котором идет речь. Из рисунка ясно видно, что о какой бы то ни было отдаче в данном случае говорить не приходится. Возможно, что дальнейшее изучение таких и подобных им случаев лучеиспускания при помощи камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле, поможет выяснить многие до сих пор еще не решенные вопросы.

Фотографическое действие α -лучей.

То обстоятельство, что путь отдельной α -частицы после прохождения ею светочувствительного слоя фотографической эмульсии в результате обычного проявления пластинки становится видимым в микроскоп с увеличением от 200 — 500 раз, — было известно уже в 1909 г. Путь этот в микроскопе представлялся в виде ряда отдельных точек, расположенных на одной прямой. Таким образом в случае фотографической пластинки мы имеем явление очень сходное с тем, которое наблюдается при прохождении α -частиц в камере Вильсона. Однако, в то время как камера Вильсона получила громадное распространение, способ наблюдения отдельных α -частиц не имел до самого последнего времени никакого практического применения. Объясняется это обстоятельство, конечно, теми недостатками и трудностями, которыми действительно обладает этот метод. Почти все авторы, которым приходилось описывать действие α -частиц на фотографическую пластинку, высказывают убеждение в возможности и желательности применения фотографического метода для объективного счета α -частиц. Но те же авторы указывают на необходимость ввести какие-то усовершенствования в этот метод для того, чтобы его можно было действительно применять на практике. Однако каковы должны быть эти усовершенствования, до сих пор никем не указывалось. В результате почти за полные 20 лет этот метод не подвинулся ни на иоту вперед. Нельзя сказать, чтобы за этот период совсем не появлялось работ в этой области. Работ было довольно много, но все они касались

действия α -частиц на обычную фотографическую пластинку, и притом не вносилось никакого улучшения в технику самого эксперимента. Когда появились работы, посвященные расщеплению атома, то была сделана попытка применить этот метод и для обнаружения Н-частиц. Было показано,¹ что Н-частицы также оставляют на фотографической пластинке свои следы подобные следам α -частиц, но и в этом случае техника эксперимента несколько не была улучшена. Между тем улучшение, казалось, напрашивалось само собой. Совершенно ясно было, что главным недостатком метода была необходимость, для получения путей α -частиц целиком, направлять эти пути под очень малым углом к пластинке. Если угол с пластинкой был велик, или α -частицы падали на пластинку перпендикулярно, то после проявления вместо всего пути видна была лишь его небольшая часть и нельзя было с уверенностью сказать, принадлежат ли данные 2—3 точки к одной α -частице или же это есть случайное скопление проявившихся зерен эмульсии в данном месте. Автором этой статьи было предложено применить для счета α -частиц фотографические пластинки с толстым эмульсионным слоем. Работы по использованию таких пластинок для целей наблюдения и счета α -частиц и ведутся в настоящее время в Радиевом институте в Ленинграде.

Следы α -частиц в толстом слое фотографических пластинок.

Впервые наблюдение следов α -частиц в толстом слое светочувствительной эмульсии было произведено мною совместно с аспирантом Радиевского института П. И. Чижовым.² Так как пластинок с толстым слоем в продаже не имеется, то такие пластинки пришлось изготовить самим. Эти пластинки с эмульсионным слоем большим чем 50 μ были изготовлены, и пути α -частиц в них получены. Хотя основной целью работы было только выработать метод счета

¹ M. Blau. Z. Physik. 34, 285, 1925, Wien. Ber. 134 (2a), 427, 1925.

² L. Mysowski u. P. Tschischow. Z. Physik. 44, 408, 1927.

α -частиц, самое явление прохождения α -частиц через толстый эмульсионный слой оказалось настолько интересным, что пришлось его исследовать независимо от поставленной задачи. Для того чтобы были понятны полученные результаты, остановимся вкратце на методе исследования. В качестве источника α -частиц бралось острое иглы, которое активировалось легким царапанием о внутренние части разбитой ампулки, содержащей около 1 милли-кюри эманации радия. Получившийся в результате этого точечный источник α -частиц помещался на расстоянии от 0,5 до 2 мм от пластинки для экспозиции α -лучами. После проявле-

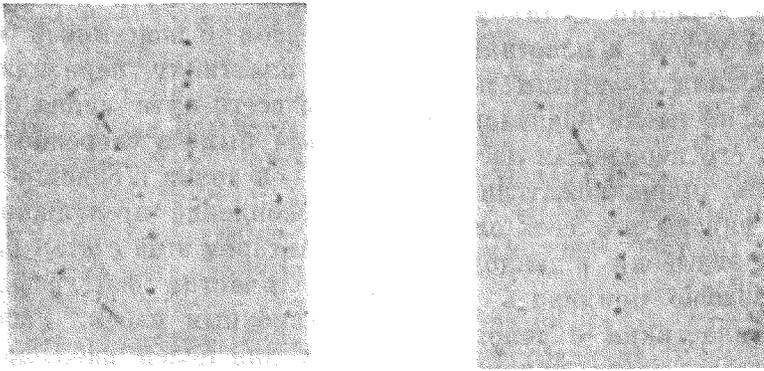


Рис. 8.

ния, промывки, фиксирования и окончательной промывки и высушивания, полученные под различными углами пути α -частиц можно было наблюдать в микроскоп. Уже при визуальном наблюдении в микроскоп можно было убедиться в правильности примененного метода. Еще больше убеждают в этом стереомикрофотографии. Для получения стереоскопического снимка пути какой-либо α -частицы, поступали следующим образом. Исследуемая пластинка клалась на клин, наклонная плоскость которого составляла 20° с горизонталью, и с избранного для изучения пути снималась микрофотография. Затем клин вдвигался с другой стороны, и еще раз снималась микрофотография с того же самого пути α -частицы. Оба эти снимка при рассмотрении в стереоскоп давали, конечно, обычный стереоскопи-

чем путь основной α -частицы. Естественно возникает вопрос, не есть ли это H -частица и не имело ли здесь место, расщепление атома. На первый вопрос можно не колеблясь ответить утвердительно. Что же касается второго вопроса то решить его пока не представляется возможным.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ СЧЕТ α -ЧАСТИЦ.

Вернемся теперь к основной задаче — счету α -частиц фотографическим путем. Уже в первой работе,¹ посвященной изучению прохождения α -частиц через толстый слой светочувствительной эмульсии, была сделана попытка осуществить фотографический счет α -частиц. Пластинка с толстым эмульсионным слоем медленно двигалась мимо активированного вышеописанным способом острья. После проявления на пластинке получились ясно видимые следы α -частиц. Этот способ обсуждался в заграничной научной литературе, причем высказывалось некоторое сомнение о возможности его применения, хотя и признавалось, что использование толстого слоя есть несомненный и значительный шаг вперед. Сомнение вызвано было, повидимому, тем обстоятельством, что снимок с пластины для счета был сделан простой, а не стереоскопический, и он много проигрывал при сравнении со стереоскопическими снимками отклоненных α -частиц и вилок. Применить прежний способ стереофотографирования одновременно для нескольких частиц было невозможно, а фотографировать каждую частицу в отдельности было бы слишком кропотливо и уничтожило бы преимущества фотографического метода. Этот недостаток был устранен сотрудницей Радиевого института М. Ю. Дейзенрот-Мысовской, которая применила для стереофотографирования всей видимой в микроскоп площади пластинки известный уже ранее способ косо́го освещения исследуемого препарата. На рис. 9 приведен фотографический снимок, полученный по этому способу. Этот снимок дает представление о толщине пластинки. Пространство,

¹ L. Myssowsky u. P. Tschischow. L. c.

ческий эффект. Мы не будем здесь приводить снимков с обычных прямых путей α -частицы, так как гораздо интереснее фотографии, дающие наглядное и объективное доказательство явлению рассеяния α -частиц тяжелыми атомами. На рис. 8 как раз изображен один из таких случаев. При рассматривании этого рисунка в стереоскоп можно убедиться, что начальная часть пути левой частицы идет параллельно прямолинейному пути правой, но приблизительно в середине путь первой частицы резко поворачивает в сторону, оставаясь при этом прямолинейным. Интересно отметить, что в вершине угла находится зерно эмульсии. Это обстоятельство наблюдается не только на приведенном снимке, но во всех остальных исследованных случаях. Объяснение этому найти нетрудно. Здесь мы, очевидно, имеем случай столкновения α -частицы со сравнительно тяжелым атомом серебра. Такие отклонения встречаются, конечно, чрезвычайно редко, но все же на одной и той же пластинке среди десятка тысяч прямых следов можно найти самые разнообразные случаи отклонения, наблюдавшиеся раньше единичными исследователями лишь при помощи субъективного метода сцинтилляций. Конечно, и в камере Бильсона можно было наблюдать явление рассеяния α -частиц, но там это происходит лишь в самом конце пути, здесь же можно было наблюдать такое же рассеяние и в самом начале пути α -частицы, и притом на углы до 90° . Нужно сказать, что отклонения путей α -частиц на фотографических пластинках как будто наблюдались и другими исследователями, но плоские микрофотографии не могли дать полной уверенности в их наличии. Действительно многие кажущиеся отклонения при стереоскопическом рассматривании оказываются случайным перекрещиванием двух путей.

Наблюдение вилок в толстом эмульсионном слое.

Кроме отклонений от прямолинейного пути в толстом эмульсионном слое, удалось наблюдать и образование вилок подобных тем, которые наблюдались раньше лишь в камере

Вильсона. Разница заключалась лишь в том, что и здесь можно было наблюдать образование вилки в самом начале пути α -частицы, а не только в конце, как это имеет место в камере Вильсона.

Если при рассматривании плоской микрофотографии можно было ошибиться в наличии отклонения, то еще в большей степени возможна была ошибка при суждении о наличии вилки.

Большое количество предполагаемых вилок при стереоскопическом рассматривании оказывалось простым перекрещиванием путей отдельных α -частиц, причем даже и перекрещивание это было лишь кажущимся, так как в пространстве они оказывались лежащими в различных плоскостях. Количество вилок чрезвычайно мало даже по сравнению с числом рассеянных на большие углы α -частиц.

В то время как при простом отклонении на большой угол в вершине угла всегда находится зерно эмульсии, образование вилки не только не связано этим условием, но даже наоборот — большей частью происходит в пространстве свободном от зерен. Это несомненно указывает на то, что образование вилки чаще происходит благодаря столкновению с более легкими чем атомы серебра атомами, входящими в состав молекулы желатины. Изучение вилок затрудняется их небольшим количеством. На пластинке с десятью, двадцатью тысячами следов, на которой без предварительного наложения осей координат в буквальном смысле можно заблудиться, удается при визуальном просмотре в микроскоп открыть 2 — 3 вилки. После получения с них стереоскопических снимков очень часто оказывается, что вилки были ложными. Несмотря на эти трудности, все же значительно меньшие чем трудности получения вилок в камере Вильсона, работа по изучению вилок продвигается вперед. Работу эту в Радиовом институте ведет А. П. Жданов. При рассматривании полученных им фотографий в стереоскоп видно, что прямой след α -частицы претерпевает приблизительно на середине небольшое отклонение и что в том же месте появляется ответвление, имеющее гораздо более тонкое строение и большую длину,

чем путь основной α -частицы. Естественно возникает вопрос, не есть ли это H -частица и не имело ли здесь место, расщепление атома. На первый вопрос можно не колеблясь ответить утвердительно. Что же касается второго вопроса то решить его пока не представляется возможным.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ СЧЕТ α -ЧАСТИЦ.

Вернемся теперь к основной задаче — счету α -частиц фотографическим путем. Уже в первой работе,¹ посвященной изучению прохождения α -частиц через толстый слой светочувствительной эмульсии, была сделана попытка осуществить фотографический счет α -частиц. Пластинка с толстым эмульсионным слоем медленно двигалась мимо активированного вышеописанным способом острия. После проявления на пластинке получились ясно видимые следы α -частиц. Этот способ обсуждался в заграничной научной литературе, причем высказывалось некоторое сомнение о возможности его применения, хотя и признавалось, что использование толстого слоя есть несомненный и значительный шаг вперед. Сомнение вызвано было, повидимому, тем обстоятельством, что снимок с пластины для счета был сделан простой, а не стереоскопический, и он много проигрывал при сравнении со стереоскопическими снимками отклоненных α -частиц и вилок. Применить прежний способ стереофотографирования одновременно для нескольких частиц было невозможно, а фотографировать каждую частицу в отдельности было бы слишком кропотливо и уничтожило бы преимущества фотографического метода. Этот недостаток был устранен сотрудницей Радиевого института М. Ю. Дейзенрот-Мысовской, которая применила для стереофотографирования всей видимой в микроскоп площади пластинки известный уже ранее способ косою освещения исследуемого препарата. На рис. 9 приведен фотографический снимок, полученный по этому способу. Этот снимок дает представление о толщине пластинки. Пространство,

¹ L. Myssowsky u. P. Tschischow. L. c.

заполненное эмульсией, кажется не меньшим чем глубина обычной камеры Вильсона. Путь каждой α -частицы отчетливо виден в пространстве, заполненном эмульсией. Несколько портит впечатление изображение окулярной сетки, но, с другой стороны, такая сетка очень облегчает счет большого количества α -частиц. На фотографии видны, как и следовало ожидать, α -частицы с более длинным и более коротким пробегом, так как источник α -лучей был неоднороден. Кроме того, на том же снимке встречаются еще

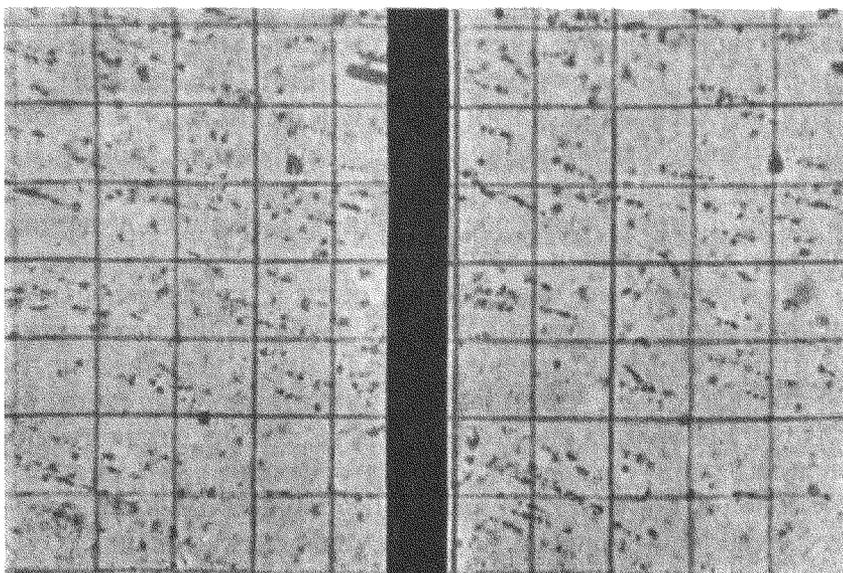


Рис. 9.

отдельные зерна, обязанные своим происхождением действию бета- и гамма-лучей. Эти отдельные точки однако несколько не мешают наблюдению путей α -частиц, так как все они расположены неправильно и совсем не похожи на прямолинейные пути α -частиц. Конечно, и в этот метод можно ввести еще дальнейшие усовершенствования, и работа в этом направлении продолжается, но уже из полученных результатов видно, что вопрос о применении фотографической пластинки для счета α -частиц можно считать решенным.

СЛЕДЫ β -ЧАСТИЦ В ТОЛСТОМ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОМ СЛОЕ.

Основной задачей в деле дальнейшего улучшения фотографического метода является выбор подходящей эмульсии. Эмульсии, на которых велась работа до сих пор, были выбраны почти случайно. Систематический подбор и испытание эмульсий еще только начинается и, несомненно, должен привести к очень интересным результатам. Как пример можно привести впервые установленный автором настоящей статьи совместно с М. Ю. Дейзенрот-Мысовской факт возможности наблюдения следов отдельных β -частиц в таких же толстых слоях светочувствительной эмульсии, но лишь другого состава (с более мелкими зернами). Пока удалось наблюдать β -частицы лишь в самом конце их пути, где ионизация наиболее интенсивна. На рис. 10 дан стереоскопический снимок пластинки, освещенной β - и γ -лучами; стереоскопический эффект получен по упомянутому уже выше способу косо́го освещения. Так как сведение зрительных осей глаз в этом случае представляет некоторые трудности (в виду кажущейся при простом рассматривании однородности всего поля), то для облегчения внизу снимков проведено по царапине. Одновременно с совмещением этих царапин появляется стереоскопический эффект. При сколько-нибудь внимательном рассматривании этого снимка в стереоскоп легко убедиться, что черные точки расположены не случайно, а связаны в отдельные нити, висащие в пространстве. Это и есть концы путей электронов. Во многих случаях между зернами видны тонкие связующие нити, что еще более облегчает наблюдение. При более внимательном рассмотрении можно в некоторых местах проследить образование вилок, выход 2 электронов из одного центра (сложный фотоэффект) и т. д.

При рассматривании этого снимка естественно возникает вопрос, возможно ли будет пойти еще дальше в этом же направлении и получить прямолинейные пути электронов подобные тем, какие наблюдаются в камере Вильсона. Некоторую надежду на это дают, с одной стороны, работы

Шепарда и Тривелли (в лаборатории компании Истман Кодак), которым удалось, повидимому, наконец выяснить сущность фотографического процесса, бывшую до сих пор загадкой как для физиков, так и для химиков. С другой стороны, улучшение техники микрофотографии, позволившее в настоящее время при условии использования ультрафиолетовых лучей получить снимки с увеличением до 4000 раз. Если удастся подобрать достаточно мелкозернистую эмульсию и получать затем настолько увеличенный

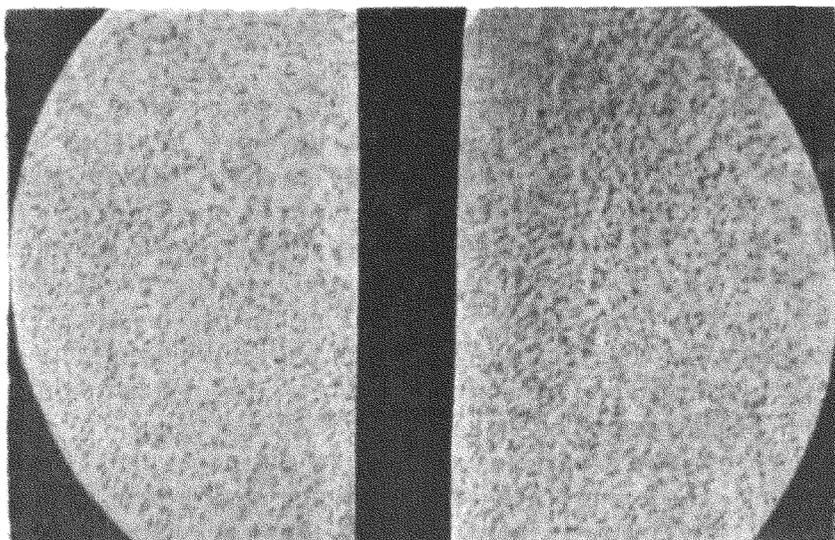


Рис. 10.

снимок, чтобы можно было видеть отдельные зерна, то задача в той или иной степени будет разрешена.

Новый счетчик Гейгера.

Классическая работа Резерфорда и Гейгера по счету α -частиц от радия была произведена при помощи цилиндрической ионизационной камеры, вдоль оси которой была натянута тонкая металлическая проволока. Автор настоящей статьи совместно с К. Ф. Нестурхом¹ повто-

¹ L. Mysowsky u. K. Nesturch, Ann. d. Phys. 43. 461, 1914.

рил эту работу, причем было высказано предположение, что в большинстве случаев не вся проволока служит электродом, а лишь некоторые ее части, имеющие изгибы или выступы в форме острия. В дальнейшем правильность этого мнения подтвердилась, так как сам Гейгер предложил для счета α -частиц другой прибор, свой известный счетчик с острием. Громадное число работ, произведенное с этой первой моделью счетчика, достаточно известно, и нет необходимости на них останавливаться; здесь нам придется лишь отметить основной недостаток этого счетчика, для того чтобы лучше выяснить преимущества нового. Этот основной недостаток заключался в малом коэффициенте полезного действия. Пространство перед острием, в которое должна была попасть частица, чтобы вызвать ионизацию, величина которой могла бы быть отмечена электрометром, было слишком мало. Этот недостаток живо чувствовался всеми, кому приходилось работать со счетчиком Гейгера, и мысль об использовании цилиндрической камеры все еще не была оставлена. Однако лишь в самое последнее время тому же Гейгеру удалось ввести в конструкцию такой камеры чрезвычайно простое и вместе с тем очень существенное улучшение. Внутри цилиндрической трубки Гейгер поместил не чистую металлическую проволоку, а слегка окисленную. При соответствующем разрежении и потенциале эта камера дала результаты, которые, как пишет сам Гейгер, оказались „поразительными“. Такой счетчик нельзя держать незащищенным в комнате, так как радиоактивность стен оказывает на него слишком сильное действие, и отклонения связанного с ним электрометра оказываются слишком частыми. Гейгер применил свой новый счетчик между прочим и к изучению поглощения космических лучей. Однако еще более интересной является попытка Боте и Кольгерстера¹ применить этот счетчик к изучению природы космических лучей. Воспользовавшись не одним, а двумя счетчиками Гейгера нового типа, расположенными, как показано на рис. 12, Боте и Коль-

¹ W. Bothe u. W. Kolhörster. Naturwiss. 17, 271, 1929.

герстеров наблюдали только совпадения отсчетов. Стрелка на изображенном рисунке соответствует одновременному прохождению луча через оба счетчика. Между счетчиками вставлялся поглощающий экран, и таким образом могло быть определено поглощение наблюдаемых лучей. В качестве экрана брался брусок золота, толщиной в 4,1 см. Результаты опыта показаны в следующей таблице.

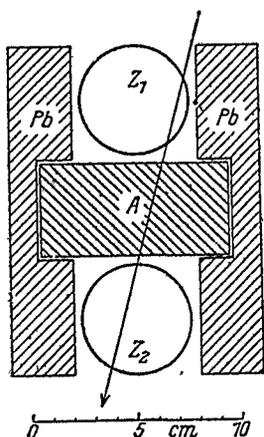


Рис. 11. *A* — Брусок золота. *Pb* — Свинцовые экраны, *Z*₁, *Z*₂ — Счетчики.

Предварительные опыты, сделанные теми же авторами, показали, что с гамма-лучами от радия *C* совпадений от обоих счетчиков при наличии экрана не получается. Только частицы от космического излучения могли из первого счетчика, пройдя экран, попасть затем во второй. Самым интересным является то обстоятельство, что коэффициент поглощения, полученный при этих опытах, оказался в пределах ошибки равным коэффициенту поглощения первичных космических лучей. Так, для воды $\rho = 1$ имеем из таблицы $\mu = 3,6 \cdot 10^{-8}$. Следова-

тельно, это не комптоновские электроны, вызванные квантами космических лучей, как предполагал Скобелев,

Время регистрации в минуту	Число совпадений	Совпадения в минуту	Ослабление в % \pm средн. ошибка	Коэфф.ц. поглощения $\frac{\mu}{\rho}$ \pm средн. ошибка
Без поглотителя:				
360	987	2,74	$24,7 \pm 4,2$	$(3,6 \pm 0,05) \cdot 10^{-8}$
С поглотителем в 4,1 см золота				
360	734	2,06		

а сами первичные лучи. Боте и Кольгерстер считают, что корпускулярная природа космического излучения доказана ими окончательно, но не предпрещают вопроса о том,

какие это частицы — отрицательные ли электроны, протоны, или же α -частицы, приходящие к нам из мирового пространства. Не вдаваясь в критику заключений Боте и Кольгерстера, так как это выходит из рамок настоящей статьи, заметим лишь, что аналогичная установка с двумя счетчиками Гейгера нового типа собрана мною и аспирантом Л. Р. Тувимом в Радиевом институте в Ленинграде и, насколько мы уже успели убедиться, прекрасно работает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Хотя настоящий очерк и не может претендовать на полноту, все же автор надеется, что ему удалось дать представление о той изумительной технике, с которой в настоящее время изучаются свойства отдельных корпускул. Следует отметить, что в этой тонкой экспериментальной работе ученым Союза принадлежит не последнее место.
