

НОВЫЕ ПУТИ К ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДЫ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ*Л. В. Мысовский, Ленинград*

В моем прошлом обзоре * о космических лучах были подробно описаны те затруднения, которые возникли перед физиками, изучавшими природу космических лучей. В том же обзоре было отмечено, что из двух различного типа установок, а именно установок с камерой Вильсона и установок со счетчиками Гейгера-Мюллера предпочтение следует отдать установкам со счетчиками. Повидимому, того же мнения придерживалось и большинство физиков, работающих в этой области. За последние два года появилось громадное количество работ, посвященных исследованию природы космических лучей, причем почти все они сделаны со счетчиками Гейгера-Мюллера. Количество этих работ столь велико, что мы здесь не имеем возможности даже в самых кратких чертах описать все эти работы. Поэтому нам придется остановиться только на таких, которые, по нашему мнению, больше всего заслуживают внимания читателя. Следует оговориться, однако, что счетчики Гейгера-Мюллера далеко не оправдали возложенных на них надежд. В дальнейшем мы убедимся, что вопрос о природе первичных космических лучей, так же, как это было и два года назад, упирается в три различных гипотезы — гипотезу квант, гипотезу электронов и гипотезу протонов. Затруднения, связанные с выбором одной из этих гипотез, обнаружались с особенной ясностью на конференции по космическим лучам, происходившей осенью 1931 г. в Кембридже. В обмене мнений на этой конференции принимали участие выдающиеся физики, работающие по космическим лучам и по радио-

* См. Указатель литературы, стр. 648.

активности, однако, общей точки зрения не было найдено и природа космической радиации осталась попрежнему невыясненной. Все же, как мы увидим, вопрос о составе космической радиации в самое последнее время сдвинулся с мертвой точки, но произошел этот сдвиг благодаря работам, произведенным в другой области и другим методом.

Кривые, полученные Регенером и выводы из них

Прежде чем приступить к описанию работ со счетчиками Гейгера-Мюллера, сообщим дополнительные сведения о работе Регенера, который, как известно, проследил на Боденском озере поглощение космических лучей до глубины в 230 м. В сущности установка Регенера и главные результаты, полученные им, были уже нами описаны в предыдущем обзоре¹. Описание это было сделано на основании письма (правда, довольно подробного), помещенного в „Naturwissenschaften“ в 1929 г. Полное описание работы дано Регенером в „Z. f. Physik.“ лишь в феврале 1932 г. Так как Регенер нашел наиболее жесткую компоненту космических лучей, то мы считаем необходимым привести из его последней статьи² некоторые дополнительные сведения. Оставляя в стороне детали установки перейдем к кривым, вычерченным Регенером на основании фотографической регистрации показаний его электрометра и последующей обработки этих показаний по способу наименьших квадратов.

На рис. 1 даны кривые ионизационного тока на различных глубинах. Прежде всего обратим внимание на небольшой подъем средней части кривых со временем. Регенер пишет, что подъем этот может быть замечен только на сравнительно больших глубинах. На глубине в 32,4 м, где ионизационный ток гораздо сильнее, подъема кривой заметить не удастся. Из этого обстоятельства можно заключить, что увеличение ионизации со временем идет за счет остаточного тока⁴ в самом приборе. Поднятие всей установки на поверхность для перемены фотографических пластин, завода часов и зарядки электрометра вновь понижает средний уровень кривой до начального положения. Так как

упомянутые операции сопровождаются открыванием некоторых частей аппарата и воздух в них при этом меняется, то естественно предположить, что подъем кривой вызывается постепенным накоплением едва измеримого коли-

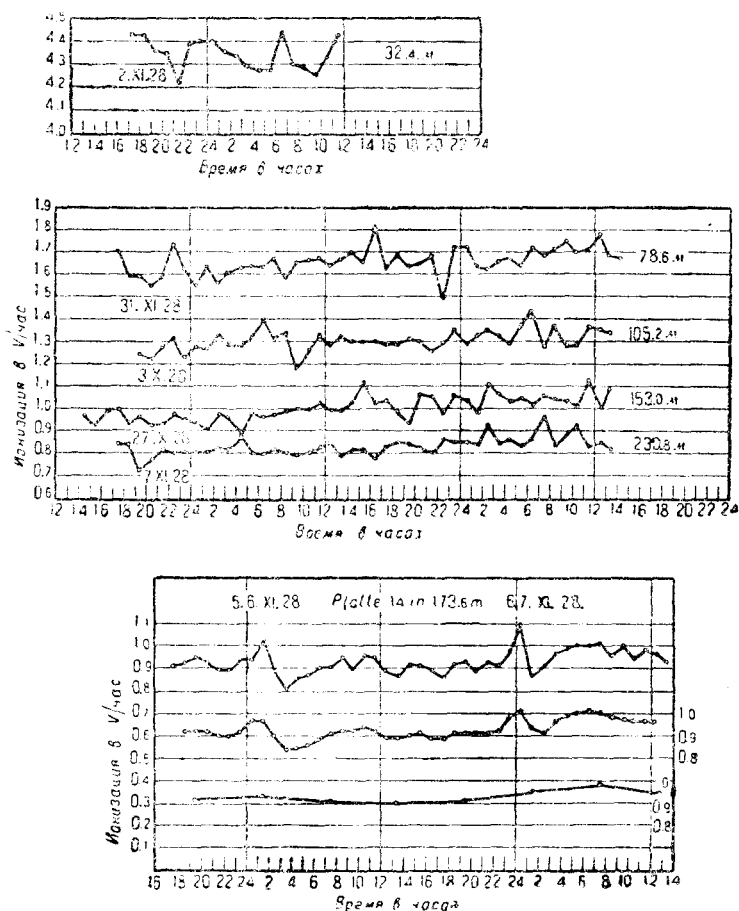


Рис. 1.

чества эманации, выделяющейся из внутренних стенок прибора. Однако проверить это предположение не удалось, потому что эффект слишком мал и пришлось бы ставить специальные и продолжительные опыты для его исследования. Кроме подъема на тех же кривых (рис. 1) мы мо-

жем подметить колебания ионизационного тока, иногда превосходящие по своей величине ошибку наблюдений в 50 раз. Эти колебания не могут быть объяснены изменениями в атмосферном давлении⁵, так как на глубине в 100 м и больше, по наблюдениям Регенера, величина атмосферного давления уже не влияет заметно на интенсивность ионизационного тока в камере. По мнению Регенера

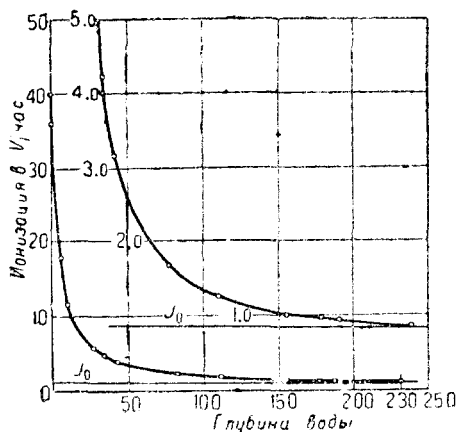


Рис. 2.

не только подъем кривой, но и ее колебания также обязаны своим происхождением, главным образом, остаточному току. Не входя в критику этого утверждения, заметим только, что нам придется при описании последней работы Штейнке еще раз вернуться к такого рода колебаниям и рассмотреть их более подробно.

Обратимся теперь к рис. 2, на котором изо-

бражена данная Регенером кривая поглощения. По оси абсцисс отложены в метрах глубины, на которые опускался прибор. На оси ординат нанесены значения силы ионизационного тока в вольт/часах. J_0 —прямая, соответствующая остаточному току. Так как нижняя часть кривой настолько вытянута, что не дает уже представления о ходе поглощения, то отрезок кривой, начиная от 30 м, изображен еще раз (верхняя кривая), причем масштаб ординат увеличен в 10 раз. Не отрицая того факта, что космические лучи идут со всех сторон, а не параллельным пучком, и что, следовательно, закон поглощения космических лучей должен быть представлен функцией $\Phi(\mu x)$ ⁶, а не простым показательным множителем $e^{-\mu x}$, Регенер, тем не менее, вычисляет из своей кривой коэффициент поглощения, пользуясь выражением:

$$J_0 = J_c + (J_1 - J_0) e^{-\mu_0 x}$$

(здесь J_1 —интенсивность космических лучей в мировом пространстве, а J_0 —остаточный ток, вызываемый следами радиоактивности на стенках прибора). По его мнению вычисление по $\Phi(\mu x)$, взятой с учетом рассеяния первичных лучей, приводит к тому же результату, как и вычисление по $e^{-\mu x}$ без учета рассеяния. Согласиться с этим утверждением Регенера довольно трудно. Дело в том, что мы пока еще слишком мало знаем о рассеянии космических лучей, для того чтобы с уверенностью высказывать подобное утверждение. Сам Регенер принимает, что рассеяние наиболее жестких лучей происходит согласно формуле Клейна-Нишины, причем ядерные электроны участвуют в этом процессе наравне с внешними. Таким образом при вычислении μ в воде он берет для молекулы H_2O 18 электронов (8 внешних и 10 ядерных). Если предположить сверх того, что наиболее проникающие космические лучи получаются при превращении массы атома гелия целиком в квант лучистой энергии, то коэффициент поглощения получается на основании формулы Клейна-Нишины равным $2,0 \cdot 10^{-4}$ см H_2O . Найденный Регенером из экспериментальной кривой коэффициент поглощения $1,88 \cdot 10^{-4}$ см H_2O указывает, по его мнению, на вероятность такого предположения. Как видим, Регенер твердо придерживается квантовой гипотезы о природе космических лучей. К сожалению, однако, все его конечные выводы основаны на целом ряде предположений, а сами эти предположения, как мы выяснили в дальнейшем, нужно считать по меньшей мере неполными и недостаточными для окончательного решения вопроса о природе космических лучей.

УСТАНОВКА СО СЧЕТЧИКАМИ И КАМЕРОЙ ВИЛЬСОНА

Мотт-Смит и Лочер попытались создать установку, в которой можно было бы одновременно использовать преимущества камеры Вильсона и счетчиков Гейгера⁷. Первоначально авторы этой работы задались целью наглядно (при помощи камеры Вильсона) показать, чем именно вы-

зывается совпадение показаний у счетчиков Гейгера. Однако число совпадений в двух счетчиках настолько мало, что их трудно было обнаружить в камере Вильсона. Поэтому Мотт-Смит и Лочер отказались от совпадений в счетчиках и изучали лишь одновременное появление импульса в счетчике и следа в камере Вильсона. Для увеличения числа импульсов взяты были два счетчика T_1 и T_2 (рис. 3). Фотографирование следов производилось при помощи камеры C . Для освещения камеры употреблялась ртутная лампа. Самый опыт состоял в следующем. Счетчики работали непре-

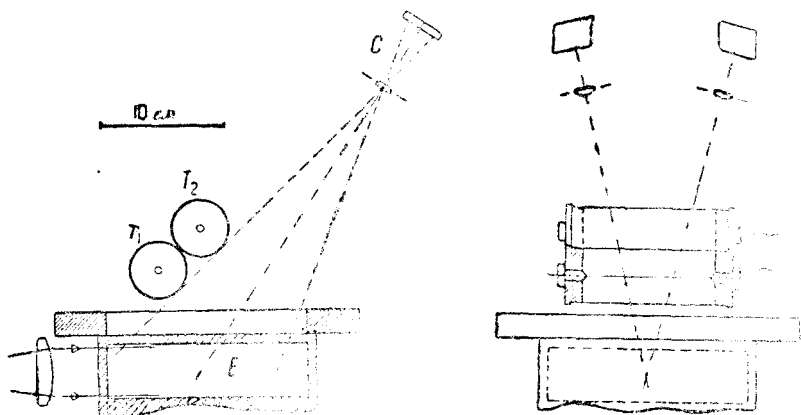


Рис. 3.

рывно. В некоторые произвольно выбранные моменты времени производилось опускание поршня камеры Вильсона и фотографировались появлявшиеся при этом следы. Полученные таким образом фотографии Мотт-Смит и Лочер делят на две группы. К первой группе, которую они называют C , относятся фотографии, снятые одновременно с импульсом в одном из счетчиков. Ко второй группе N относятся фотографии, произведенные в моменты отсутствия разрядов в счетчиках. Негативы группы C отличались от негативов группы N по блику от лампы, которая посредством специальной схемы соединений зажигалась только при совпадении импульса в счетчике с опусканием поршня в камере Вильсона. Устройство приспособления для зажигания лампы можно уяснить себе из рис. 4. На этом ри-

сунке буквой *H* обозначен источник потенциала в 1500 В, *T* — счетчики Гейгера-Мюллера, *A* — усилитель, *L* — лампа, *R* — реле в контуре лампы, а *F* — ключ с кривошипом *M*, соединенным с поршнем камеры Вильсона *E*. Опускание поршня производилось путем вращения оси в направлении, указанном на чертеже стрелкой. Ключ *F* был рассчитан так, чтобы замыкать контур лампы только на промежуток времени, необходимый для образования следов в камере Вильсона (около 0,06 сек.). Если одновременно с появлением следов происходило и замыка-

ние реле, вызванное разрядом в одном из счетчиков, то лампа оказывалось включенной и зажигалась (фотография группы *C*). Если же контур замыкался только в одном месте благодаря опусканию поршня или включению реле, то лампа не зажигалась (фотография группы *N*).

Для получения количественных результатов понадобились фотографии обеих групп. Из всех следов на фотографиях группы *C* нужно было прежде всего отобрать только те следы, у которых направления проходят через один из счетчиков. Однако часть этих следов могла иметь случайное происхождение. Поэтому число отобранных таким образом следов нужно было еще несколько уменьшить. Процент уменьшения можно было найти, воспользовавшись фотографиями группы *N*. Очевидно, что для этого достаточно на фотографиях *N* найти отношение числа направленных следов к общему их числу. Всего было получено Мотт-Смитом и Лочером 137 *C*-фотографий и 1107 *N*-фотографий. На *C*-фотографиях число направленных к счетчикам следов равнялось 12, а на *N*-фотографиях 23. Таким

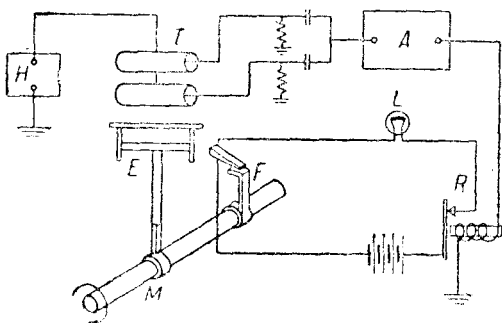


Рис. 4.

образом вероятность таких следов для *C* будет $\frac{12}{137} = 0,088$,

а для $N = \frac{26}{1107} = 0,024$. Уменьшая 0,088 на 0,024 получим 0,064. Рассматривая распределение космических лучей по телесным углам с вертикалью и учитывая угол, стягиваемый счетчиками и камерой Мотт-Смит и Лочер, на основании работ других авторов, получают величину, совпадающую с их результатом, а именно 0,066. К сожалению, авторы не приводят в своей статье ни одного из полученных ими снимков. Сами они на основании своих фотографий приходят к заключению, что выделенные ими вышеописанным способом следы в камере Вильсона легче всего можно объяснить ионизацией от электронов большой скорости. Предположение о том, что такие следы могут быть получены благодаря ионизации фотонами, Мотт-Смит и Лочер отвергают совершенно.

В сущности только что описанная нами работа, несмотря на то, что она интересна с точки зрения экспериментальной техники, не дает по отношению к космическим лучам почти ничего нового. Повидимому, к такому же заключению пришли и авторы работы, если судить по тому, что один из них Лочер подверг полученные фотографические снимки дальнейшей обработке и критическому анализу⁸. Прежде всего Лочер попытался точно определить интенсивность ионизации, вызываемой лучом на отрезки пути в 1 см. Для этой цели фотографии следов от лучей, прошедших через счетчик, помещались в поле микроскопа с небольшим увеличением и вновь фотографировались. Лочер в своей статье приводит несколько отпечатков с таких фотографий. Однако нужно сказать, что даже в оригинальной статье микрофотографии отрезков следов вышли довольно плохо и кажутся мало убедительными. При дальнейшей перепечатке изображения сделались бы еще более туманными, и потому мы их здесь не приводим. Рассматривая свои микрофотографии и, подсчитывая на них ионы, Лочер получает, что на 1 см приходится 32 пары ионов при давлении в 68 см (давление в камере при опускании поршня). Для атмосферного давления число двойных ионов будет в $\frac{76}{68}$ раз больше, т. е. 36. Таким образом, судя по

характеру ионизации, легче всего предположить, что мы имеем дело с быстрыми электронами.

Второй вопрос, которым занялся Лочер, касался одновременного появления двух или более следов, выходящих из одной точки. В 148 следах было обнаружено 20 групп. В одном случае 5 следов находились на одной фотографии, причем три из них выходили из стенки камеры. В 5 случаях были обнаружены группы по 3 следа. Остальные 14 группы представляли собой пары. Лочер приводит также и фотографии групп, но, так как они настолько же неясны, как и в предыдущем случае, то мы считаем излишним их воспроизводить. Что касается до ионизации, то она оказалась попрежнему равной 36 парам ионов на 1 см, при 76 см ртутного столба. Отсюда Лочер выводит, что, если каждый член группы представляет собой электрон, то скорость их должна быть больше, чем 0,9 скорости света. По мнению Лочера наличие групп позволяет заключить, что первичные космические лучи состоят из фотонов с большой энергией. Если бы электроны непосредственно шли к нам из мирового пространства, как полагают Боте и Кольхерстер, то трудно было бы объяснить столь частое перекрещивание их путей в одной точке. Также трудно, по мнению Лочера, представить себе, что расходящиеся из одной точки следы получаются путем комптон-эффекта (предположение Оже и Скобельцына)⁹. Толщина стекла в камере (5 мм²) слишком мала для того, чтобы можно было ожидать столь частых столкновений фотона с электроном. Остается принять, что группы быстрых электронов возникают в ядре атома. Однако объяснить более или менее удовлетворительно вылет из ядра атома двух или даже трех электронов одновременно Лочеру не удастся. Таким образом экспериментально установленное наличие групп не позволяет еще решить вопроса о природе первичных космических лучей. Нельзя, однако, не согласиться с Лочером, когда он говорит о том, что нужно с осторожностью подходить к данным, получаемым при помощи счетчиков. Наличие двух, трех или даже четырех электронов, одновременно пронизывающих счетчик, отмечаются им так же,

как и прохождение одного электрона. Вследствие этого число импульсов в счетчиках всегда меньше действительного числа электронов, прошедших через них. Если же иметь в виду, что группы электронов в космических лучах, судя по опытам с камерой Вильсона, встречаются довольно часто, то на основании данных, полученных со счетчиками, мы должны при расчете ионизации получить большое количество пар ионов на 1 см пути. Такая переоценка и допущена была, по мнению Лочера, в работе Кольхерстера и Тувима.

ПРОХОЖДЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Если Лочер считал, что больше данных можно получить, основываясь на фотографиях следов в камере Вильсона, то

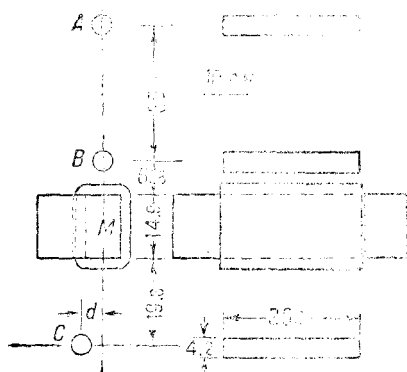


Рис. 5.

Мотт-Смит решил пойти по другому пути и занялся усовершенствованием установки со счетчиками Гейгера. Уже неоднократно высказывалась мысль, что наиболее точное представление о природе космических лучей мы можем получить, попытавшись их отклонить в соответствующем магнитном поле. Такая попытка и была сделана Мотт-Смитом. Установка его схематически изображена на рис. 5.

Для наблюдения совпадений Мотт-Смит вместо двух счетчиков взял три (A, B и C на рис. 5). На пути лучей из счетчика B к третьему счетчику C помещался брусок намагничиваемого железа. Размеры бруска показаны в масштабе на рис. 5. Обмотка этого магнита состояла из 2000 оборотов проволоки и по ней мог циркулировать ток в 2,2 А. При таком токе внутри железного бруска создавалось поле H , равное 17 000 гаусс. Предполагалось, что после включения тока в катушку космический луч, пройдя около

тивлений и потенциалов даны на самом чертеже. На нем же видны и некоторые детали соединений.

ТАБЛИЦА

Промежуток времени h	Число совпа- дений C	Число совпа- дений в час C/h	Отклонения D	C/h	
19,32	588	31,5	2,1	2600	Среднее значение $= \frac{4454}{151,5} = 29,4 \text{ C/h}$
17,79	494	27,8	-1,6	1300	Средняя ошибка $= \frac{(8400)^{1/2}}{4454} = 1,4$
14,40	451	31,3	1,9	1600	Вероятная ошибка $= 0,67 \cdot 1,4 = 0,92$
12,00	360	30,0	0,6	100	Вероятная ошибка в % $= \frac{0,92 \times 100}{29,4} = 3,1$
24,13	690	28,6	-0,8	400	
39,90	1134	28,4	-1,0	1100	
24,00	737	30,7	1,3	1300	
151,54	4454			8400	

С увеличением в измерительной установке числа счетчиков Гейгера-Мюллера, расположенных по прямой, уменьшается стягиваемый ими телесный угол и вместе с этим уменьшится и число регистрируемых совпадений. Для того чтобы получить достаточное количество совпадений в трех счетчиках, Мотт-Смиту пришлось неделями оставлять свою установку в действии. Очевидно, что при этом было чрезвычайно важно в течение всего этого срока сохранять условия работы счетчиков по возможности неизменными. Поэтому особое внимание было обращено на сохранение постоянства потенциала и давления газа внутри счетчиков. Для сохранения давления неизменным электроды счетчика помещались в стеклянную трубку так, как это показано

на рис. 7а. Расположение вводов, а также отросток для откачки видны на том же рисунке, и не требуют дальнейших пояснений. Давление в счетчиках было равно 7 см

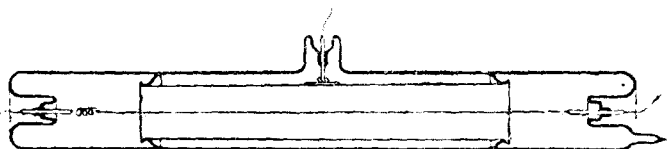


Рис. 7а.

ртутного столба. Диаметр центрального электрода (платиновая проволока) был 0,076 мм. Размеры второго электрода даны на рис. 5. Окончательные результаты, полученные с этой установкой, изображены в виде кривой на рис. 7б

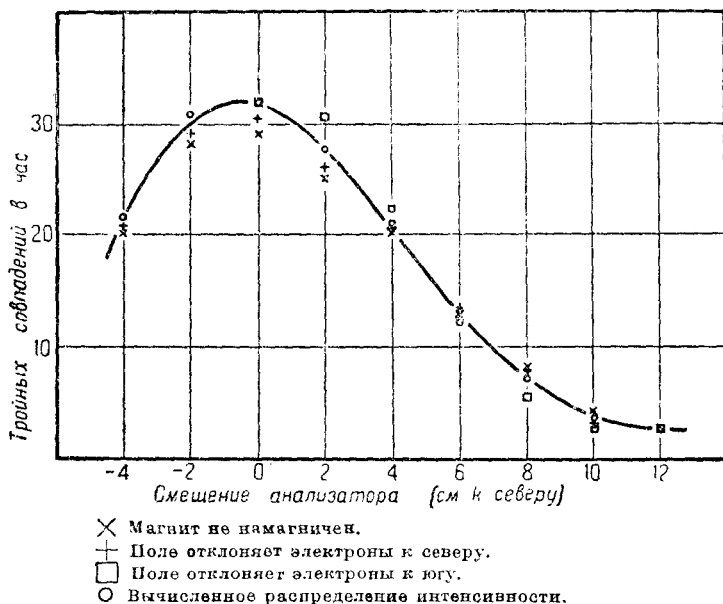


Рис. 7б.

По оси ординат отложено число совпадений в час, а по оси абсцисс смещение счетчика S от его среднего положения, выраженное в сантиметрах (смотри d на рис. 5). Кружки соответствуют отсутствию магнитного поля. Кресты (X) и

(+) — магнитным полям в двух взаимно противоположных направлениях. Квадратики представляют собой вычисленные значения в предположении, что путь космических лучей прямолинеен и все лучи, попадающие в счетчики, вызывают в них разряды. При вычислении центральная точка (0) и крайняя справа были приняты за данные.

Для пояснения способа вычерчивания кривой Мотт-Смит приводит таблицу, служившую для нахождения точки (X) (0, 29,4). В первом столбце помещены интервалы наблюдений, во втором — числа совпадений C за данный интервал, в третьем — числа совпадений в час C/h , в четвертом — отклонения от среднего для отношения C/h . В последнем столбце приведено вычисление вероятной ошибки по обычной формуле:

$$0,67 \sqrt{\frac{\sum D^2}{C}} = \frac{0,67 \sqrt{\sum C D^2}}{C}.$$

При взгляде на кривую видно, что ожидаемого отклонения максимума совпадений не получилось и единственное заключение, которое можно из этой кривой вывести, состоит в том, что лучи совсем не отклоняются данным магнитным полем. Расхождение между точками, обозначенными кружками и крестиками, приходится приписать действию магнитного поля на вторичные (а может быть, и третичные) лучи с малой энергией. Остается все же непонятным, почему действие поля не зависит от его направления (X и + почти совпадают). Так как отклонения не произошло, то Мотт-Смит, исходя из интенсивности и размеров магнитного поля, вычисляет, что энергия электронов должна быть больше, чем $2 \cdot 10^9$ V. Если предположить, что совпадения в счетчиках вызываются не электронами, а протонами, то их энергия на основании таких же вычислений должна быть больше, чем 10^9 V. Нужно, однако, иметь в виду, что существование столь быстрых протонов или электронов плохо согласуется с показательным законом поглощения космических лучей, установленным, как известно, целым рядом наблюдений.

Усовершенствование установок для счета совпадений в счетчиках Гейгера-мюллера

Трудности, которые приходится преодолевать при работе со счетчиками, заставили физиков подумать об улучшении и усовершенствовании установок со счетчиками. С этой точки зрения задача счета простых импульсов счетом совпадений в двух или трех счетчиках можно рассматривать уже как несомненный прогресс. Мы здесь опишем две работы, посвященные дальнейшему изучению и упрощению метода совпадений. Первая работа принадлежит Гуммелю в Геттингене. Гуммель предложил схему соединений любого количества счетчиков, при помощи которой можно считать или автоматически регистрировать только одни совпадения, а

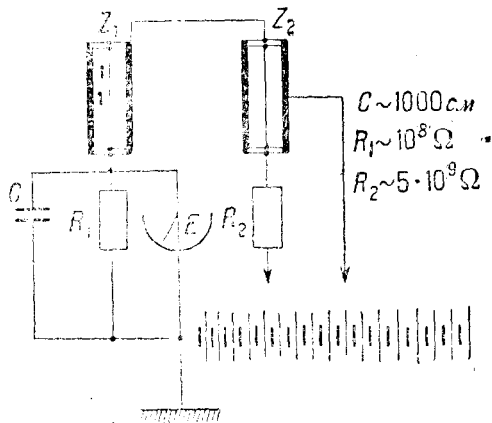


Рис. 8.

все остальные разряды независимо от их происхождения остаются в стороне и не загружают, как излишний балласт, таблицы или фильмы. Схема эта, изображенная на рис. 8, очень проста и требует для своего осуществления лишь увеличения числа элементов в батареях. Число элементов растет прямо пропорционально числу счетчиков. О действии предложенной установки можно составить себе ясное представление на основании схемы рис. 8. Счетчик Z_2 работает независимо от первого и особенность его (если только это можно назвать особенностью) заключается лишь в том, что у него внутренний электрод находится под высоким потенциалом, причем разность потенциалов между проволокой и внешним цилиндром остается такой же, как и во всех других установках. Что же касается до счетчика Z_1 , то в нем может образоваться разряд заметной вели-

ны только в том случае, если необходимое для разряда количество электричества поступит на него от счетчика Z_2 . Если притока электричества не будет, то внутренний электрод может зарядиться лишь до весьма малого потенциала и отброс на электрометре E будет еле заметен. Вводя добавочную емкость C , можно сделать этот зародыш отброса от Z_1 сколь угодно малым. Очевидно, что такую же схему можно собрать для трех и более счетчиков. Если вместо электрометра E поместить усилитель, соединенный с реле, то реле будет замыкаться только от импульсов значительной силы, т. е. от совпадений, слабые же импульсы от одного счетчика Z_1 останутся незарегистрированными. Такая именно установка работает в настоящее время и в Государственном радиовом институте в Ленинграде с той лишь разницей, что между счетчиками Z_1 и Z_2 включен еще струнный электрометр, который позволяет непрерывно контролировать работу каждого счетчика в отдельности. (Очевидно, что корпус этого электрометра находится при том же потенциале, как и внутренний электрод Z_2 , т. е. 1000 V.) Хотя такая установка регистрирует только совпадения, но и среди совпадений имеется большое количество случайных¹. Определить число случайных совпадений в единицу времени нетрудно. Для этого достаточно поместить счетчики на сравнительно большем расстоянии друг от друга. Тогда будут регистрироваться почти исключительно случайные совпадения. Можно поступить иначе и воспользоваться для определения числа случайных совпадений формулой, аналогичной той, которой пользовались для той же цели Боте и Кольхерстер¹, а именно:

$$v = 2\tau N_1 N_2,$$

где N_1 и N_2 числа разрядов в счетчике Z_1 и Z_2 в единицу времени, τ продолжительность разряда, v — искомое число случайных совпадений. Благодаря установке Хуммеля оказалось возможным освободиться от счета разрядов в отдельных счетчиках и заняться счетом отдельных совпадений. Метод, предложенный Медикусом¹³, позволяет пойти еще дальше и освободиться от случайных совпадений. Сущ-

ность предложенного им метода заключается в применении для наблюдений и счета совпадений катодного осциллографа. Для включения счетчиков берется обычная схема (рис. 9). К каждому счетчику присоединяется одна из отклоняющих пластин осциллографа. Так как заряды на пластинах отклоняют катодный пучок во взаимно перпендикулярных направлениях, то в случае совпадения разрядов в счетчиках пятно осциллографа движется по диагонали. Элементарный расчет, сделанный по только что приведенной нами формуле $v = 2\tau N_1 N_2$, показывает, что в этой установке число случайных сов-

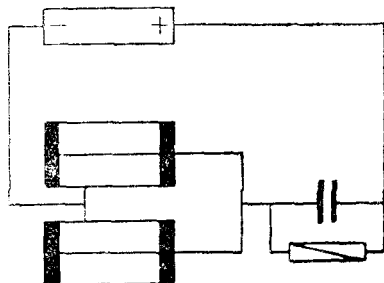


Рис. 9.

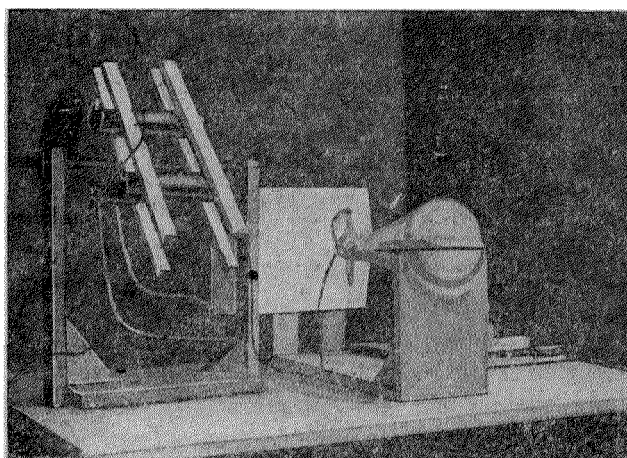


Рис. 10.

падений в несколько тысяч раз меньше действительных. Таким образом можно считать, что практически в установке с катодным осциллографом случайные совпадения отсутствуют. С целью испытать пригодность своего метода для изучения космических лучей Медикус иссле-

довал распределение интенсивности космической радиации по углам с вертикалью. Общий вид чрезвычайно простого приспособления изображен на прилагаемой фотографии (рис. 10). Два счетчика Гейгера-Мюллера вставлены в раму, которая может быть наклонена под любым углом к горизонтальной плоскости. Наблюдая число импульсов при различных наклонах рамы, Медикус полу-

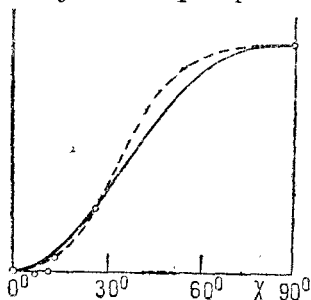


Рис. 11.

чил кривую, представленную на рис. 11. Рядом со своей кривой Медикус дает для сравнения кривую, полученную Мысовским и Тушимом в Ленинграде (пунктирная линия). Совпадение, как видно из рисунка, нужно признать достаточно хорошим, в особенности, если принять во внимание разницу в методах и установках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время все чаще и чаще при истолковании экспериментальных результатов, относящихся к космическим лучам, приходится прибегать к ядру атома. Как было уж нами указано, Регенер при вычислении поглощения космических лучей решил принимать в расчет не только внешние, но и внутренние электроны. Но, если каким-либо путем (безразлично путем ли комpton-эффекта или фотоэффекта) ядро под действием космических лучей теряет свои электроны, то должно иметь место превращение элементов. Физики, наблюдавшие следы космических лучей в камере Вильсона, обращают особое внимание на получение групп следов, причем для объяснения этого явления обычно также рассматривают воздействие космических лучей на ядро атомов. Мотт-Смит видит выход из тех противоречий, к которым приводят данные различных экспериментаторов (например, противоречие между наличием быстрых электронов и показателем — законом поглощения) в предположении, что поглощение космических

лучей происходит, главным образом, ядрами атомов. Наконец, в самое последнее время появилась работа Штейнке и Шиндлера¹⁴, в которой они сообщают о расщеплении атомов свинца космическими лучами. Несмотря на то, что вычисления Штейнке и Шиндлера, сделанные ими на основании результатов своей работы, вызывают сомнения, их

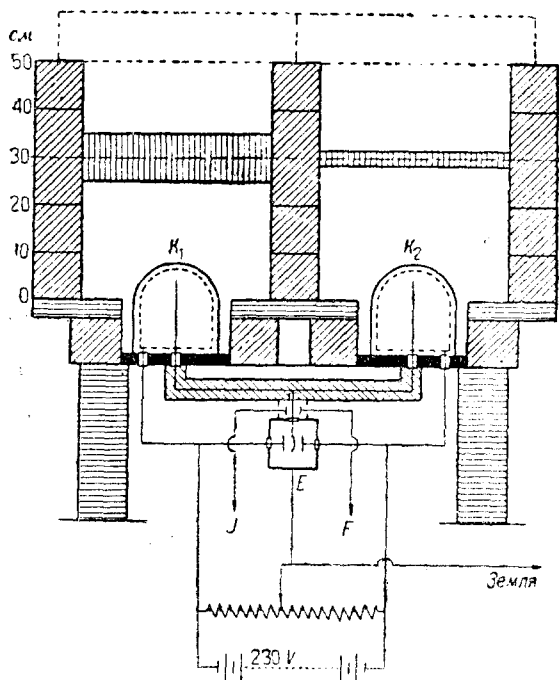


Рис. 12.

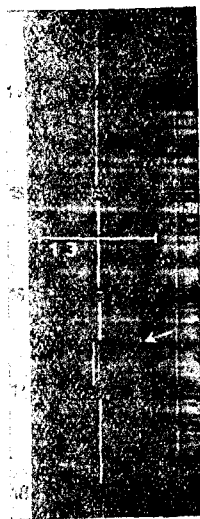


Рис. 13.

работа представляет несомненный интерес. Установка, с которой работали Штейнке и Шиндлер, изображена на рис. 12. Не входя в детальное описание установки, укажем только, что покрытие камер свинцом толщиной в 10 см вызывало увеличение числа внезапных колебаний нити электрометра. Характер отклонений показан на рис. 13. Величина отклонений нити электрометра приводит Штейнке и Шиндлера к заключению, что в камере имеет место внезапное усиление ионизации, вызванное H -частицами, вылетевшими из свинца. Конечно, установка с ионизационными камерами

мало подходит для обнаружения такого тонкого явления, тем более, что оно происходит довольно редко. В виде примера приведем, что в течение 1345 час. наблюдалось, при наличии покрывки, всего 102 толчка, т. е. меньше одной H -частицы за промежуток времени 10 час. Штейнке и Шиндлер указывают, что, вероятно, наиболее подходящим для исследования такого рода явлений был бы фотографический метод. Возможно, что наиболее удобным окажется предложенный автором настоящего обзора, специально для этой цели, метод фотографирования на пластинках с толстым эмульсионным слоем¹⁵.

Если бы нам пришлось ограничиться только изложенными выше выводами, то картину современного вопроса о природе космических лучей нельзя было бы назвать особенно утешительной. Однако уже во введении было указано, что для исследователей космических лучей неожиданно явилась помощь из другой области физики. Как известно, в последнее время, благодаря работам Жолио и Ирэн Кюри, было открыто весьма проникающее излучение, получающееся при бомбардировке бериллия α -частицами от препарата полония. В начале также, как это было и с космическими лучами, никто не сомневался в квантовой природе вновь открытого излучения. При дальнейших исследованиях, однако, обнаружилось, что лучи, испускаемые ядром бериллия, могут, в свою очередь, создавать H -лучи с большим пробегом. Наблюдавшихся H -лучей было гораздо больше, чем можно было ожидать, принимая во внимание квантовую природу бериллиевого излучения. Мы не можем в этом обзоре, посвященном космическим лучам, подробно описывать постепенное изменение взглядов на сущность новых проникающих лучей. Заметим только, что в результате различных затруднений и противоречий, которые во многом напоминали затруднения, встречающиеся при изучении космических лучей, Чадвик предложил и обосновал гипотезу о нейтронах. Масса нейтрона равна массе водорода, но не обладает электрическим зарядом, в этом смысле она нейтральна. Из всех работ, посвященных нейтронам, я приведу только несколько снимков, полученных

Ди¹⁶ при помощи камеры Вильсона. На рис. 14 изображен быстрый протон, получивший ускорение от удара нейтроном. Этот рисунок приведен нами лишь для того, чтобы характеризовать одно из основных свойств нейтрона — его скорость. По мнению Чадвика максимальная скорость, которой обладает нейтрон из бериллия, равна $3,3 \cdot 10^9$ см. Рис. 15



Рис. 14.

дает нам картину расщепления атома азота. Следа нейтрона, вызвавшего это расщепление, как и следовало ожидать, не видно. Длинная ветвь с постепенным утолщением, по мере уменьшения скорости и со слабым загибом на конце — это путь α -частицы, вылетевшей из ядра азота при

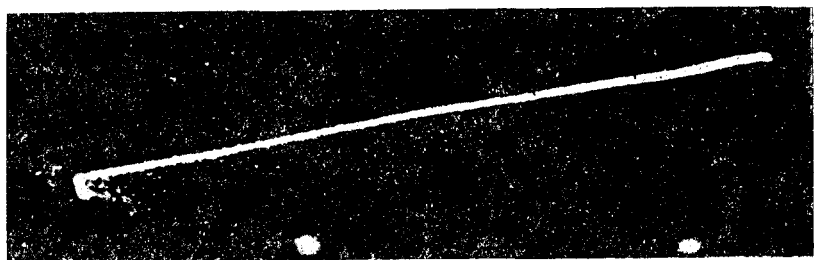


Рис. 15.

его расщеплении. Короткая ветвь является следом атома отдачи. Заметим тут же, что α -частицы, возникающие внутри камеры Вильсона, приходилось наблюдать и автору этого обзора и, вероятно, многим другим физикам, работавшим с камерой Вильсона. Объяснить эти явления присутствием эманации было довольно трудно, так как они повторялись с одинаковой частотой и в течение долгого времени в герметически закрытой камере. Вероятнее всего, что эти

α -частицы появлялись вследствие расщепления азота космическими лучами. Описание подобных α -частиц встречалось и в литературе.

Например, автором настоящего обзора приведен ¹⁷ стереоскопический снимок с α -частицы, полученной вместе с β -частицами рубидия. Но если α -частицы, которые можно приписать космическим лучам, встречаются сравнительно редко, то гораздо чаще можно было наблюдать в камере Вильсона короткие толстые следы, которые нельзя было приписать α -частицам ни одного из известных нам радиоактивных элементов. Снимки с таких следов можно найти в литературе при описании различных опытов с камерой Вильсона. Чтобы не быть голословным, можно указать, например, на работу Орбана ¹⁸, в которой на одном из снимков имеется короткий след. Нужно сказать, что до сих пор появление этих коротких следов рассматривалось лишь как обстоятельство, мешающее получению хороших снимков. Совсем иначе обстоит дело после появления работ по

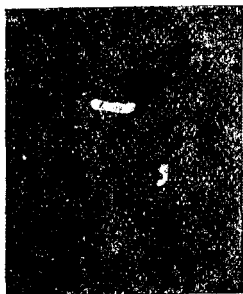


Рис. 16.

изучению действия нейтронов. Оказалось, что α -частицы с аномально малым пробегом представляют собой след атома азота, столкнувшегося с нейтроном. В настоящий момент имеются уже работы, специально посвященные изучению столкновения нейтрона с атомом азота. Для иллюстрации приведем весьма показательный снимок, Ди (рис. 16). На этом рисунке мы одновременно видим след азота и утолщенный след медленного электрона. Очевидно, что они резко отличаются друг от друга, и потому нельзя, как это иногда делалось раньше, приписывать появление коротких следов действию медленных электронов. В заключение приведем еще снимок двух электронных следов, выходящих из одной точки (рис. 17). При рассмотрении этого снимка само собой напрашивается сравнение с „группами“ от космических лучей.

Можно ли на основании всех этих данных с уверенностью

сказать, что космические лучи состоят из нейтронов? На этот вопрос приходится дать отрицательный ответ. Пока нет количественных данных, присутствие коротких толстых следов и появление α -частиц может быть объяснено „радиоактивным загрязнением“. Можно при желании даже использовать и гипотезу о нейтронах и сказать, что следы радиоактивных веществ вызывают образование нейтронов, а эти последние, в свою очередь, обуславливают наблюдаемые в камере Вильсона явления.

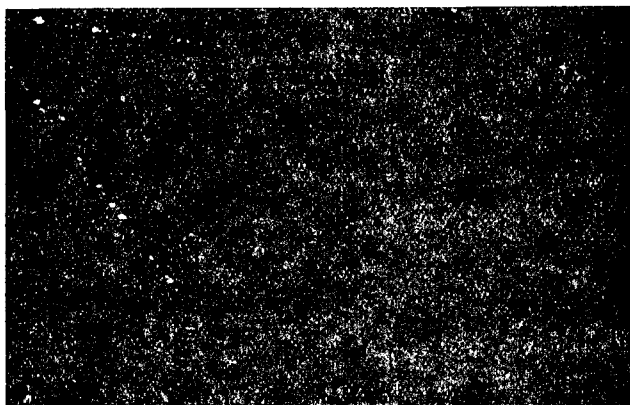


Рис. 17.

Следует вспомнить, что в свое время много труда пришлось затратить на доказательство независимости ионизации, вызываемой космическими лучами от „радиоактивности окружающей среды“. Однако тщательно поставленные эксперименты, давшие не только качественные, но и количественные результаты, окончательно выяснили этот вопрос. Очевидно, что и теперь, в связи с новой гипотезой о нейтронах, исследователи пойдут по тому же самому пути количественного анализа. Мы в ближайшее время должны ожидать появления ряда весьма интересных экспериментальных работ по космическим лучам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Мысовский, „Успехи физич. наук“, 1930 г., т. X, вып. I.
 2. Конференция по космическим лучам в Кембридже, Proc. Roy Soc., A. 132, 331 (1931).
 3. E. Regener, Zs. f. Phys., 1932, Bd. 74, H. 7/8, S. 433.
 4. Л. Мысовский, Космические лучи, Госизд., 1929, стр. 39 и 55.
 5. Он же. Космические лучи, Госизд., 1929, стр. 79.
 6. Он же Космические лучи, Госизд., 1929, стр. 72.
 7. L. Mott-Smith, a. Cordon L. Locher, Phys. Reviewc. 1931, v. 38, p. 1399.
 8. Gordon, L. Locher, Phys. Rev., 1932, v. 39, p. 883.
 9. P. Auger et D. Skobeltzyn, C. R. 19, p. 55, 1929.
 10. W. Kolhösster u. L. Tuwim, ZS. f. Phys. 73, 130, 1931.
 11. L. Mott-Smith, Phys. Rev., v. 39, p. 403, 1932.
 12. I. N. Hummel, ZS. f. Phys., 70, H. 11/12, S. 785, 1931.
 13. J. Medicus, ZS. f. Phys., Bd. 74, H. 5/6, S. 350, 1932.
 14. E. Steinke u. H. Schindler, ZS. f. Phys., Bd. 75, H. 1/2 S. 115, 1932.
 15. L. Myssowsky u. P. Tschischow, ZS. f. Phys., Bd. 44, H. 6/7, S. 408, 1927.
 16. P. I. Dee, Proc. Roy. Soc., A. v. 136, p. 727, 1932.
 17. L. Myssowsky u. R. Eichelberger, Strahlen des Rubidium in der Wilsonscher Nebelkammer. Доклад Акад. наук СССР 1930.
 18. G. Orban, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. i. Wien., A. II, Bd. 140, H. 3/4, S. 101.
-