1926 г. Т. VI. ВЫП. 1.

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ [1]).

Р. А. Милликэн.

Еще в 1903 г. английские физики Резерфорд и Мак Леннан заметили, что скорость стекания электрического заряда с электроскопа в металлической воздухонепроницаемой камере уменьшается, если камеру окружить металлическим щитом или ящиком со стенками толщиною в сантиметр или более. Это значило, что потеря заряда в замкнутом электроскопе вызывалась не дефектами изоляции, но какими-то лучами с высокой проникающей способностью, подобными гамма-лучам радия. Эти лучи могут проходить через толщу металла более сантиметра и ионизировать воздух внутри камеры.

В связи с этим свойством проходить в измеримых количествах через относительно толстые слои металла, новые лучи были названы „проникающим излучением" атмосферы и сначала естественно приписывались радиоактивным веществам на земле. Но в 1910 и 1911 гг. обнаружилось, что интенсивность этих лучей не убывает с высотой столь быстро, как это следовало бы из гипотезы о земном происхождении неизвестного излучения. Первое важное сообщение по этому вопросу было сделано немецким физиком Гоккелем (Gockel); он поднимался с замкнутым электроскопом на воздушном шаре на высоту до 4 *км* и нашел, что на этой высоте „проникающее излучение" имело, примерно, такую же интенсивность, как и на поверхности земли. Между тем, по расчетам проф. Ива (Eve), интенсивность лучей должна бы уменьшиться вдвое уже на высоте в 75 *м*, если бы они испускались земной поверхностью. Два других немецких физика, Гесс (Hess) и Кольгэрстер (Kohlhörster), повторили измерения Гоккеля. Кольгэрстер поднимался на 9 *км* и нашел, что интенсивность излучения сначала, примерно, до 3 *км*, несколько убывает, а затем начинает возрастать, достигая на высоте 9 *км* значения в 8 раз большего, чем

[1]) Доклад, прочтенный 9 ноября 1925 г. на заседании Национальной Академии Наук в Вашингтоне (Science, *62*, стр. 445, 1925). Перев. С. И. Вавилов Подробное изложение большой литературы о проникающем излучении можно найти в брошюре W. Kolhörster. Die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre. 1924.

на поверхности. Эти наблюдения показывали, что проникающие лучи проходят откуда-то извне и имеют космическое происхождение. Война остановила исследования такого рода. После войны, весной 1922 г. Боуэн (Bowen) и я отправились в Келли Фильд (Kelly Field) около Сан-Антонию в Техасе с четырьмя маленькими, заново построенными, саморегистрирующими электроскопами. Нам удалось запустить шары-зонды на высоту до 15,6 *км*, почти вдвое превышающую достигнутые до сих пор высоты.

Примененные приборы были построены с расчетом на 300 *см*³ воздуха при давлении в 60 атмосфер и содержали внутри саморегистрирующий барометр, термометр и электроскоп (т.-е. три отдельные установки с двигающейся фотографической пленкой и движущим механизмом каждая). Интересно, что вес прибора со всеми частями был только 180 *г*.

Основываясь на вышеуказанных результатах Кольгэрстера, мы ожидали найти в наших опытах весьма большое значение разряда электроскопов. Наши приборы поднимались на такую высоту, на которой $^9/_{10}$ атмосферы (в отношении массы) оставались уже позади; ослабление интенсивности гипотетических лучей, проходящих извне, могло происходить здесь только за счет поглощения в $^1/_{10}$ атмосферы. Наши опыты убедительно показали, в согласии с наблюдениями Кольгэрстера и Гесса, что интенсивность проникающих лучей на высоте была больше, чем на поверхности. Однако на предельной высоте мы нашли возрастание, примерно, только на четверть той величины, которую можно было ожидать по данным немецких исследователей. (Два года спустя, основываясь на дальнейших опытах, они несколько исправили свои данные, которые теперь уже не противоречат нашим измерениям).

Происхождение лучей все же оставалось невыясненным, хотя имелись основания предполагать их космическую природу. Мр. Рэссель Отис (Russel Otis) и я полагали, что надо определить степень проникания лучей. Лучи были слабее внизу, чем наверху. Поэтому летом 1923 г. мы отправились на вершину пика Пайк (Pike), захватив 120 *кг* свинца и большой бак для воды ($2{,}7 \times 2{,}7 \times 2{,}7$ *м*) с целью произвести на высоте измерение абсорпции лучей.

Мы нашли, что электроскопы на горе разряжались вдвое быстрее, чем в Пазадене; однако, лучи весьма сильно поглощались нашими экранами; проникающая способность большей части этих лучей не превышала проникающую способность обыкновенных гамма-лучей радия. Мы нашли далее, что скорость разряда нашего электроскопа уменьшилась на 10 проц. благодаря снежной буре, случившейся во время нашего пребывания на горе. Отсюда ясно следовало, что, по крайней мере, главная часть лучей, с которыми мы экспериментировали на горе, была местного происхождения; эти лучи могли вызываться радиоактивными веществами, заносимыми неизвестным способом в верхние слои атмосферы.

Выяснение причины возрастания интенсивности этих мягких лучей (подобных гамма-лучам) с высотой стало задачей столь же интересной, как и вопрос о существовании космического излучения с большой проникающей способностью. Эти проникающие лучи могли обусловливать только очень небольшую долю того возрастания интенсивности, которую мы наблюдали при подъеме с уровня Пазадены на пик Пайк. Поэтому летом 1925 г. Мр. Гарвэй Камерон и я решили произвести новые опыты. Цель этих опытов была: 1) определенно решить вопрос о существовании или несуществовании лучей большой проникающей способности космического происхождения; 2) выяснить причину наблюденного нами изменения интенсивности мягкой радиации, типа гаммалучей с высотой.

Для обнаружения проникающих лучей, если таковые существуют, надо было отыскать на очень большой высоте весьма глубокие озера из растаявшего снега. Всякое радиоактивное загрязнение воды, при ее странствовании под землею, могло бы исказить результаты, которые мы надеялись получить при погружении электроскопов на различные глубины в озеро.

Для первого опыта мы выбрали прекрасное озеро Мюр (Muir) на высоте 3,5 *км*, глубиною в несколько десятков метров, расположенное как раз под горою Уайтней (Whitney), наивысшей горой С. Ш. Здесь мы работали в течение последних 10 дней августа 1925 г., погружая наши электроскопы на различные глубины до 18 *м*. Наши опыты обнаружили совершенно бесспорно космическую радиацию столь необычайно проникающей силы, что спадение заряда электроскопа можно было проследить до глубины в 14 *м*. Атмосфера над озером в отношении поглощательной способности была эквивалентна 7 *м* воды. Таким образом мы обнаружили лучи, приходящие на землю из внешнего пространства с такой проникающей способностью, что они преодолевали слой в $14+7=21$ *м* воды, что эквивалентно 180 *см* свинца. Жесткость этих лучей превосходит таким образом все, что можно было воображать.

Наиболее проникающие рентгеновские лучи медицинских установок проходят не более 1 *см* свинца. Новые лучи в сотни раз превосходят по своей проникающей способности рентгеновские лучи.

По современным физическим воззрениям большая проникающая способность соответствует высокой частоте, или короткой длине волны. Наши опыты показывают, что существует область частот, превосходящих частоты рентгеновских лучей, примерно, во столько же раз, во сколько рентгеновские лучи превосходят своей частотой видимые волны. Опыты показывают вполне определенно, что эти лучи огромной частоты не однородны, но распределены по некоторому спектральному участку. Наиболее короткие волны, наблюденные нами, почти вдвое короче самых длинных. Мы заключаем это потому, что жесткость

или частота лучей, наблюдавшихся на озере Мюр, менялась по мере фильтрации их через все бо́льшие и бо́льшие толщи воды, подобно тому как рентгеновские лучи становятся все более жесткими при пропускании их через последовательные слои свинца. Опыты с шарами-зондами показывают, что частоты этих космических лучей не заходят в область рентгеновых лучей, иначе мы получили бы значительно бо́льшую скорость спадения заряда электроскопов на тех высотах, где остается только 0,1 атмосферы.

Далее, мы получили надежные доказательства того, что новые лучи летят в пространстве по всем направлениям; об этом свидетельствует постоянство интенсивности этих лучей и днем и ночью.

Все эти результаты, полученные на озере Мюр, с удивительною точностью подтверждались в другом ряде наблюдений на другом снежном озере Арроухид (Arrowhead) на 2,1 *км* ниже озера Мюр. Глубина этого озера приблизительно такая же, как и на озере Мюр. Поглощательная способность атмосферы, соответствующей разности высот озер Мюр и Арроухид, приблизительно эквивалентна 2 *м* воды. Действительно, каждое измерение на озере Арроухид практически давало те же цифры, как и на озере Мюр, но на глубине двумя метрами ниже.

Можно сделать некоторые вполне вероятные заключения о происхождении этих проникающих лучей высокой частоты. Наиболее жесткие лучи, которые мы знали до сих пор, гамма-лучи радия и тория возникают только при изменениях в ядре атома. Иными словами, они получаются при превращениях одного атома в другой или при создании атома нового типа. Поэтому едва ли возможно обойти заключение, что и новые, еще более проникающие лучи, которые мы изучили, происходят при превращениях подобного типа. Однако эти превращения должны быть во много раз энергичнее тех процессов, которые мы знали до сих пор. Согласно нашим новым представлениям, энергия внутриатомных преобразований должна быть пропорциональной частоте излучаемого при этом света. Поэтому, повидимому, неизбежно предположить, что изменения ядра, соответствующие излучению проникающих лучей, сопровождаются выделением энергии, примерно, в 50 раз большей, чем в обычных радиоактивных процессах. Эти превращения ядер происходят по всему пространству, и сигналы о них доходят до нас в виде проникающих лучей.

Энергия, соответствующая образованию гелия из водорода, известна. Из нее мы вычислили соответствующую частоту и нашли, что она очень близко совпадает с наибольшей частотой проникающих лучей, найденной нами этим летом [1]). Найденные частоты этих лучей

---

[1]) Энергия образования атома гелия из водорода рассчитывается так: атомный вес гелия 4,002, атомный вес водорода 1,008. Если бы вес гелия был суммой весов 4 водородов, то он равнялся бы 4,032. Разница в массе 0,030 приписывается энергии образования гелия, эта избыточная масса соответствует излучаемой энергии. Эта разница

близко совпадают также с частотой, излучаемой при простом захвате электрона положительным ядром [1]). Возможно, что процесс такого рода происходит по всему пространству. Я полагаю, что это наиболее вероятный источник новых лучей. Правда, частоту приходится вычислять по формуле, связывающей частоту лучей с коэффициентом поглощения; насколько точна эта формула—еще недостоверно. Она оправдывается, однако, в совершенно независимых областях X-излучения и гамма-лучей.

На основании этой формулы наиболее короткая длина волны, найденная нами, равна 0,0004 Å, т.-е., примерно, в 50 раз короче самых жестких, известных до сих пор, гамма-лучей. Самая длинная волна проникающего излучения составляет $^5/_3$ наиболее короткой, т.-е. 0,00067 Å.

Когда эти необычайно жесткие лучи встречают землю, то, согласно прочно установленному теперь эффекту Комптона, они частью превращаются в более мягкие лучи, почти такой же жесткости, или длины волны, которую мы наблюдали на горе Пайк и Моунт Уайтней. Причина большей интенсивности этих мягких лучей на горных вершинах, чем в Пазадене, объясняется просто тем, что интенсивность первичных жестких лучей, превращающихся в мягкие, на этих высотах, примерно, вдвое больше, чем в Пазадене. Таково, повидимому, решение второй задачи, поставленной нами этим летом.

Но как может излучение, сопровождающее образование гелия из водорода, или захват электрона положительным ядром распространяться по всему пространству? Мы получали совершенно одинаковые результаты и в полдень и в полночь, поэтому лучи, повидимому, идут с одинаковою интенсивностью со всех сторон независимо от положения солнца. Это затруднение не столь велико, если принять во внимание прозрачность даже очень больших скоплений материи для этих жестких лучей. По данным Хэббля (Hubble), полученным недавно на обсерватории Моунт Вильсон, некоторые спиральные туманности находятся от нас, по крайней мере, на расстоянии миллиона световых лет, и тем не менее видимый свет от них доходит. Центры указанных ядерных изменений должны быть только весьма редко рассеяны по

в граммах соответствует $4{,}95 \cdot 10^{-26}$ *г*. По теории относительности эквивалентность массы и энергии устанавливается соотношением: $E = mc^2$ (c — скорость света), т.-е. в данном случае $E = 4{,}45 \cdot 10^{-5}$ *эрг*. Приравнивая эту энергию кванту $h\nu = 4{,}45 \cdot 10^{-5}$, определяем частоту $\nu = 6{,}68 \cdot 10^{-21}$. Соответственно $\lambda = 4{,}5 \cdot 10^{-12}$ *см* = 0,00045 Å. Предельная частота спектра, которую можно было бы принципиально ожидать во вселенной, соответствовало бы исчезновению массы всего протона и превращению ее в энергию. Легко найти, что эта предельная частота будет $2{,}27 \cdot 10^{23}$ и предельная длина волны $1{,}31 \cdot 10^{-13}$ *см*, т.-е. еще в 35 раз короче найденной Милликэном.

Прим. перев.

[1]) Для расчета этой энергии нужно сделать предположение о размерах ядра. Все предположения такого рода, однако, весьма произвольны. *Прим. перев.*

пространству, этого достаточно для объяснения той интенсивности проникающих лучей, с которой мы имели дело на озере Мюр.

Иная гипотеза, кроме указанной, могла бы только исходить из предположения о том, что проникающие лучи образуются в верхних слоях атмосферы электронами, пронизывающими практически со скоростью света пространство во всех направлениях. Такая гипотеза могла бы объяснить загадочное постоянство отрицательного заряда земли, однако, она встречается с непреоборимыми затруднениями: именно, она не может количественно объяснить изменения ионизации с высотой в замкнутых сосудах.

Во всяком случае, эта вторая гипотеза в существенных чертах очень похожа на первую, и в той и в другой пространство приходится представлять себе заполненными лучами того или иного сорта, летящими во всех направлениях со скоростью света. Других выходов, кроме указанных, повидимому, нет. Такое представление может послужить могучим стимулом для воображения. Проф. Мак Миланн (Чикаго) желает видеть здесь доказательство превращения света в материю в пространстве, и психологи, может быть, будут объяснять новыми лучами телепатические явления всякого рода.

Во всяком случае, наши опыты позволяют сделать следующие заключения: 1) проникающие лучи существуют; 2) их массовый коэффициент абсорпции равен 0,18 на 1 *м* воды; 3) они неоднородны, но распределены по спектральной области, находящейся очень далеко от области *X*-лучей, частота их, примерно, в 1000 раз больше средней частоты рентгеновых лучей; 4) эти жесткие лучи, встречая материю, превращаются в более мягкие, частота которых предсказывается теорией эффекта Комптона; 5) проникающие лучи доходят до земли с одинаковой интенсивностью днем и ночью и во все часы дня и ночи, интенсивность их практически одинакова во всех направлениях.