Доклады Академии Наук СССР
1939. Том XXII, № 6

ФИЗИКА

В. И. ВЕКСЛЕР

О НЕИОНИЗУЮЩИХ ЧАСТИЦАХ В ПРОНИКАЮЩЕЙ КОМПОНЕНТЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 27 XII 1938)

В сообщении ([1]), сделанном автором 1 октября 1938 г. на совещании по атомному ядру, созванном Академией Наук СССР в Ленинграде, было высказано предположение о том, что в составе проникающей компоненты космической радиации присутствуют неионизующие частицы. Было указано, что о существовании таких частиц можно заключить из данных наших опытов, а также из ряда фактов, относящихся ко второму максимуму кривой Росси.

Целью настоящей заметки является несколько более подробное обсуждение гипотезы о неионизующих частицах.

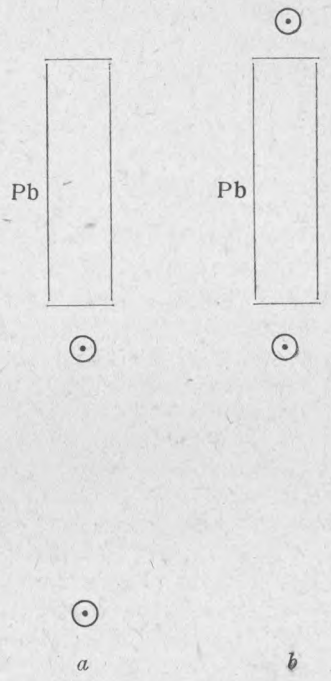
Анализ ливневых кривых Росси. Акеман ([3]), Дриго([4]) и особенно Боте и Шмейзер ([5]) обнаружили, что в различных материалах при толщинах, соответствующих 200 г/см², наблюдается второй максимум кривой Росси.

Боте и Шмейзер, исследовавшие свойства частиц, соответствующих второму максимуму, считают их вторичными тяжелыми электронами, образуемыми жесткой компонентой. Согласно Шмейзеру ([6]) свыше 80% этих частиц имеют пробеги, не превышающие 100—110 г/см². Однако по данным этих авторов второй максимум кривой Росси соответствует толщине порядка 180—200 г/см². Если бы его положение определялось максимальными пробегами частиц, обнаруженных например в цитированной работе, то в пределах от 110 до 180—200 г/см² число ливней должно было бы возрастать не больше, чем на 18—20%. В действительности же в указанных пределах оно возрастает минимум на 50%. Предположение, что ливни во втором максимуме создаются непосредственно самими ионизующими проникающими частицами, противоречит также тому, что после толщины порядка 180 г/см² (соответствующей максимуму) число этих ливней (см. кривые Боте и Шмейзера) падает гораздо быстрее, чем интенсивность ионизующей проникающей компоненты, с которой они должны были бы находиться в равновесии, если бы создавались ею.

Таким образом уже наличие быстрого спада числа ливней после максимума доказывает существование еще каких-то промежуточных частиц, которые генерируют ливни Боте и Шмейзера. Пользуясь данными этих авторов о распределении частиц по пробегам, можно заключить, что пробег основной группы ливневых частиц второго максимума не превышает 60—70 г/см². Этот факт в совокупности с тем фактом, что кривая поглощения космической радиации, определенная методом Оже-Росси в области

200 г/см², идет совершенно плавно и не имеет перегиба, требует введения неионизующей компоненты.

Кривые поглощения космического излучения. Куленкампф ([7]), Клей ([8]), Эмерт ([9]), Зиткус ([10]) и особенно Маасс ([11]) исследовали влияние вторичного излучения на кривую поглощения космической радиации. По данным указанных авторов помещение плотного материала над вертикально расположенными счетчиками (фиг. *a*) заметно увеличивает число совпадений по сравнению с тем, когда фильтр помещен между счетчиками (фиг. *b*).



Согласно Маассу эта разница возрастает с возрастанием толщины железного фильтра и при толщине порядка 200 г/см² составляет 20% от полного числа совпадений в единицу времени, соответствующих расположению *b*. Воспользовавшись числовыми данными Зиткуса (исследовавшего вторичное излучение из свинца), можно оценить дополнительное число совпадений, вызванное помещением свинца над счетчиками, в 30%. Естественно разницу в числе совпадений, соответствующих этим двум различным положениям фильтра, объяснить наличием неионизующего излучения. (Это и было в частности сделано Маассом, ошибочно идентифицировавшим это неионизующее излучение с ультра-γ-лучами.) Однако такое объяснение не могло считаться единственным. Действительно, ясно, что при помещении фильтра над счетчиками в положение *a* гораздо большее число проникающих ионизующих частиц окажется зафиксированным благодаря вторичным частицам, которые создадут эти частицы в свинце. Таким образом хотя сами эти ионизующие частицы и не пройдут через счетчики, через счетчики могут пройти вторичные частицы, созданные ионизующими. Это и может дать то увеличение, которое обнаруживается на опыте. Однако после опытов Боте и Шмейзера это возражение может считаться несущественным. Работой этих авторов показано, что частицы с большой проникающей способностью концентрируются в очень узком телесном угле. Отсюда следует, что разница в ходе кривых поглощения в случае *a* и *b* не может объясняться различным числом ионизующих, не фиксируемых во втором случае и фиксируемых в первом, благодаря вторичным.

Точно так же эта разница не может объясняться рассеянием проникающих частиц, так как на кривой поглощения, соответствующей случаю *a*, имеется горб, отсутствующий на кривой *b*. Положение этого горба и в железе (Маасс), и в свинце (Клей) согласуется с положением максимума для ливней Боте-Шмейзера. Таким образом сопоставление данных Зиткуса, Маасса, Клея с экспериментами Боте, Шмейзера, Дриго и др. показывает, что вторичное ливневое излучение, измеряемое во втором максимуме кривой Росси, является непосредственной причиной разницы в ходе кривых поглощения.

Однако из сказанного выше ясно, что эта разница может быть обусловлена только неионизующим излучением. Таким образом и из кривых поглощения прямо следует, что ливни во втором максимуме создаются неионизующим излучением.

Сказанное выше показывает, что понимание совокупности изложенных экспериментальных фактов невозможно без допущения существования неионизующей компоненты в составе проникающей радиации. Следующие соображения показывают недопустимость предположения о том, что неионизующая компонента состоит из фотонов большой энергии*.

1) В работе Векслера и Добротина ([2]) обнаружено возрастание числа сильно поглощаемых частиц при увеличении толщины свинца до 200г/см². Это следует поставить в связь с данными Боте и Шмейзера, согласно которым второй максимум кривой Росси обусловлен действием жесткой компоненты. Фотоны же входят в состав мягкой компоненты космического излучения. Следовательно частицы, наблюденные в цитированной выше работе ([1]), не могут создаваться фотонами.

2) Боте и Шмейзером было показано также, что и в железе, и в свинце максимум ливней соответствует примерно толщине 200 г/см². Однако, если бы фотоны создавали эти ливни, то положение максимума в железе должно было бы сместиться к толщине примерно 400 г/см² в соответствии с соотношением масс l единиц для железа и свинца.

3) В противоположность сказанному выше Гейтлер ([12]), исходя из теории Юкавы, нашел, что тяжелые электроны, составляющие проникающую компоненту, образованы на высоте 10 см Hg фотонами с энергией 10^8—$5 \cdot 10^8$ eV. Легко показать однако, что та величина эффективного сечения, которую получил Гейтлер для процессов рождения тяжелых электронов такими фотонами, не согласуется с опытом.

а) На сколько-нибудь значительном расстоянии от границы атмосферы согласно каскадной теории ливней первичные частицы уже размножились. Поэтому число квантов с энергией, близкой к 10^8, т. е. к критической, должно быть пропорционально полному числу электронов (+ и —) на данной высоте.

Ясно однако, что в этом случае широтный эффект для проникающей компоненты на уровне моря был бы таким же большим, как и широтный эффект для электронов на большой высоте, чего на самом деле не наблюдается.

б) Вычисление интенсивности проникающей компоненты на уровне моря, приводимое Гейтлером в подтверждение правильности его расчета, основано на ошибке**. Поэтому сравнение теории с опытом должно проводиться для высоты 36 см Hg и меньше, до которой могут дойти тяжелые электроны с энергией $5 \cdot 10^8$ eV, рожденные на высоте 10 см Hg фотонами.

Полная интенсивность проникающей радиации на этой высоте должна составляться из двух частей. Первая—это те частицы, которые обладают энергией, достаточной (учитывая только ионизационные потери), чтобы дойти до поверхности земли. Полное число таких частиц можно найти, экстраполируя интенсивность космической радиации на уровне моря до высоты 36 см Hg. Кроме того, начиная примерно с этой высоты, должны добавляться те частицы, которые образованы фотонами в процессах, рас-

---

* Большие энергии требуются, чтобы объяснить существование ливней и наличие во втором максимуме частиц с большой проникающей способностью.

** Рассматриваются процессы рождения тяжелых электронов с максимальной энергией $5 \cdot 10^8$ eV. Однако ни одна частица, образованная фотонами такой энергии на высоте 10 см Hg, вообще не сможет достигнуть поверхности земли, так как потеря ее энергии только на ионизацию равна $1.3 \cdot 10^9$ eV, т. е. будет почти в три раза больше полной энергии фотона.

смотренных Гейтлером. Следовательно мы вправе ожидать резкого возрастания интенсивности проникающего излучения, начиная с высоты примерно 36 см Hg.

Экспериментально установлено однако, что жесткая компонента возрастает с одинаковым коэффициентом поглощения от уровня моря до больших высот.

Таким образом расчет Гейтлера не согласуется с опытом.

Из сказанного ясно, что неионизующие частицы, ответственные за создание второго максимума кривой Росси, не являются фотонами. Возможно, что они представляют из себя нейтрино с большой энергией, которые согласно Эйлеру и Гайзенбергу ([13]) возникают при спонтанном распаде тяжелых электронов. Возможно наконец, что это новые частицы, т. е. так называемые «нейтрето», существование которых было предположено Гейтлером на основании теоретических соображений о ядерных силах.

Имеющийся экспериментальный материал не позволяет однако сказать, какая из этих гипотез правильна.

После того, как настоящая заметка была написана, нами был получен декабрьский номер журнала Science. Опубликованное в нем краткое сообщение о работе Шонка подтверждает высказанные нами ранее и подробнее обсужденные здесь аргументы в пользу существования нейтральных частиц в космической радиации.

Физический институт им. П. Н. Лебедева.
Москва.

Поступило
27 XII 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. И. Векслер, К. И. Алексеева и Н. М. Рейнов, ДАН, XXI, № 3 (1938). [2] Векслер и Добротин, ДАН, XIX, 479 (1938). [3] Ackeman, ZS. f. Phys., **94**, 303 (1935). [4] Drigo, La ricerca scientifica, VII, 88 (1934). [5] Bothe u. Smeiser, Annalen d. Phys., **32**, 1—2 (1938). [8] Smeiser, ZS. f. Phys., **110**, 443 (1938). [7] Kulenkampf, Phys. Zeit., **35**, 996 (1934). [8] Clay, Physica, VIII, № 5 (1936); VII, 627 (1936). [9] Ehmert, ZS. f. Phys., **106**, 751 (1937). [10] Sittkus, ZS. f. Phys., **108**, 420 (1938). [11] Maass, Annalen d. Phys., **27**(5), 507 (1936). [12] Heitler, Proceed. of the Roy. Society, **166**, 529 (1938). [13] Euler, ZS. f. Phys., **110**, 692 (1938).