

γ-ИЗЛУЧЕНИЕ, ВОЗНИКАЮЩЕЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕЙТРОНОВ НА ВЕЩЕСТВО

Изучая рассеяние нейтронов различными веществами, Ли¹ установил, что при облучении нейтронами парафина или жидкого водорода в них возникает γ-излучение с энергией в несколько миллионов вольт. Эти наблюдения были затем подтверждены Флейшманом². В своей последней работе Ли³ исследовал этот эффект более подробно; при этом было установлено, что возникновение γ-лучей при воздействии нейтронов на вещество наблюдается также для ряда других элементов. Хотя точность произведенных измерений и невелика, что объясняется малостью самого эффекта, тем не менее указанная работа заслуживает особого внимания ввиду важности рассматриваемого в ней вопроса.

В основном опыты Ли заключаются в следующем. Над стальной толстостенной ионизационной камерой с большим давлением помещается источник нейтронов (обычно полоний + бериллий, 10 — 15 милликюри). В этих условиях в камере наблюдается некоторый ток, вызываемый γ-лучами и нейтронами, идущими непосредственно от источника. Затем над источником располагается слой исследуемого вещества (рассеиватель) и вновь производится измерение тока в камере. Ток во втором случае оказывается большим. Добавочная ионизация, получающаяся в камере при помещении рассеивателя под источником, обычно очень мала и составляет 2 — 3% ионизации, наблюдаемой в отсутствии рассеивателя. Эта добавоч-

ная ионизация вызывается частично нейтронами, рассеиваемыми под большими углами, а частично γ -лучами, возникающими при воздействии нейтронов на вещество рассеивателя. Для определения ионизации, вызываемой в отдельности нейтронами и γ -лучами, производятся измерения двумя ионизационными камерами, одна из которых наполнена аргоном под давлением 90 ат, другая — водородом при 60 ат. Первая камера более чувствительна к γ -лучам, в то время как вторая — к нейтронам. Делая некоторые предположения об эффективности действия γ -лучей и нейтронов в той и другой камере, по результатам измерений в обеих камерах можно определить, какая часть добавочной ионизации принадлежит нейтронам и какая часть — γ -лучам.

Контрольные опыты, произведенные с препаратом радиотория, дающего только γ -лучи (энергия 2,65 MeV), показали отсутствие дополнительной ионизации при введении рассеивателя. Отсюда можно заключить, что часть дополнительной ионизации, создаваемая γ -лучами, обусловливается действием на вещество рассеивателя нейтронов, а не γ -лучей. Это подтверждается еще и тем обстоятельством, что для источника бор + полоний, испускающего γ -лучи (3 MeV) и нейтроны, добавочная ионизация наблюдается; при этом, если рассчитать ее на 1 нейтрон из бора, то она составляет приблизительно 2/3 ионизации, рассчитанной на 1 нейтрон из бериллия, что может быть объяснено меньшими скоростями нейтронов из бора.

Результаты, полученные для случая водорода*, показывают, что вызываемая в камере дополнительная ионизация в этом случае создается исключительно γ -лучами, как этого и следует ожидать, так как при одиночных столкновениях нейтронов с протонами первые не могут отклоняться от первоначального направления на углы, большие 90°.

В следующей таблице приведены результаты, полученные Ли для различных элементов. Приведенные значения дают в условных единицах добавочную ионизацию, вызываемую в камере лишь γ -лучами. Они рассчитаны на 1 атом рассеивателя.

Рассеиватель	H	C	Al	S	Fe	Ni
Его атомный номер	1	6	13	16	26	28
Добавочная ионизация	169±40	55±18	222±45	245±70	605±80	482±80

Рассеиватель	Cu	Zn	Ag	Hg	Pb	Bi
Его атомный номер	29	30	27	80	82	83
Добавочная ионизация	478±90	467±90	812±200	760±150	964±200	1215±450

При графическом изображении зависимости эффекта от атомного номера получается плавная кривая, возрастающая медленнее, чем Z . При этом бросается в глаза то обстоятельство, что для случая водорода эффект много больше, чем следовало бы из хода этой кривой.

* В этих опытах рассеивателем служил парафин. Действие углерода парафина учитывалось с помощью дополнительных опытов с графитовым рассеивателем.

Если допустить, что рассматриваемое γ -излучение изотропно и не очень сильно отличается по своей энергии для различных элементов, то приведенные выше числа будут пропорциональны эффективному сечению (рассчитанному на ядро) для процесса образования γ -кванта при взаимодействии нейтронов на веществе. В случае свинца было показано экспериментально (измерениями в интервалах $0-90^\circ$ и $90-180^\circ$), что возникающее в нем γ -излучение распределяется приблизительно изотропно. Энергия γ -излучения была определена из кривых поглощения в свинце для случая Pb, Fe, H. Однако ввиду малого числа точек, взятых для построения кривых поглощения, и большой неточности измерений полученные для энергий значения нужно рассматривать лишь как ориентировочные. Эти измерения показали, что в случае водорода γ -лучи имеют энергию, равную $3-4$ MeV, а в случае железа и свинца — приблизительно 1.5 MeV.

При объяснении возникновения γ -лучей под действием нейтронов основываемся сначала на сложных ядрах (все исследованные элементы, за исключением H). Как известно, при прохождении нейтронов через вещество они взаимодействуют практически лишь с ядрами атомов; при этом происходит или захват нейтрона ядром, или его рассеяние (упругое или неупругое). В некоторых случаях в результате захвата образуется радиоактивный элемент, распадающийся иногда с испусканием γ -излучения⁴. Можно было бы попытаться отождествить исследуемое излучение с этим излучением. Контрольные опыты, однако, показывают, что в условиях эксперимента искусственная радиоактивность практически не играет никакой роли.

Из работы Ферми с сотрудниками⁴ известно также, что в ряде случаев γ -излучение возникает в процессе образования самих радиоактивных атомов. Однако и это γ -излучение не может быть отождествлено с исследуемым ввиду того, что вероятность образования радиоактивных атомов при захвате нейтрона ядром, а следовательно, и интенсивность соответствующего γ -излучения меняется от элемента к элементу резкими скачками, в то время как исследуемое γ -излучение растет плавно с увеличением атомного номера элементов.

Для выяснения того, связано возникновение γ -лучей с поглощением нейтронов или не связано, Ли произвел определение коэффициентов поглощения и рассеяния нейтронов и вычислил из них эффективные сечения для этих процессов. Сопоставление этих эффективных сечений с эффективным сечением для процесса возникновения γ -лучей от нейтронов показывает, что возникновение этого излучения не связано с поглощением нейтронов. Поэтому Ли в конце концов приходит к заключению, что для рассматриваемых сложных элементов исследуемый эффект объясняется неупругим рассеянием нейтронов, в результате которого ядро возбуждается и затем, переходя в нормальное состояние, испускает γ -квант.

Исключительно большой интерес представляет эффект Ли для водорода, так как в этом случае получается резкое противоречие с другими экспериментальными данными. Совершенно ясно, что приведенное для случая сложных ядер объяснение здесь неприменимо, если только не делать допущения о том, что при соударении нейтрона с ядром происходит возбуждение нейтрона, а не ядра. В своей первой заметке об образовании γ -лучей при облучении парафина или жидкого водорода нейтронами Ли объяснил этот эффект следующим образом. При столкновении нейтрона с протоном происходит образование дейтона; при этом его энергия связи вместе с половиной кинетической энергии дейтона (это легко следует из законов сохранения) испускается в виде γ -кванта. Образовавшийся, таким образом, дейтон должен лететь в направлении, близком к направлению падающего нейтрона. Оже⁵ пытался приписать этим дейтонам короткие трэки, которые довольно часто возникают в наполненной водородом камере Вильсона, если производится облучение ее нейтронами. Однако его опыты показали, что эти трэки не имеют преимущественного направления по пути падающих нейтронов. Измерением кривизны этих трэков в магнитном поле было показано, что они вызываются протонами. Отметим, что отсутствие соответствующих дейтонам трэков еще не говорит окончательно

против объяснения Ли, так как неизвестно, нейтроны какой энергии могут образовать с протоном дейтон. Может быть дейтон получает при этом образовании настолько малую кинетическую энергию, что его нельзя обнаружить в камере Вильсона. Однако, если объяснять возникновение γ -излучения образованием дейтонов, то данные Ли находятся в резком противоречии с другими экспериментальными данными. Дело в том, что Чадвик и Гольдгабер⁶ наблюдали эффект, обратный эффекту Ли, а именно, расщепление дейтонов γ -лучами. Эффективное сечение для такого процесса было найдено равным $6 \cdot 10^{-28}$ см². С другой стороны, общие термодинамические и статистические соображения показывают^{6, 7}, что образование дейтона из нейтрона и протона с испусканием γ -кванта представляет собой значительно менее вероятный процесс, чем расщепление его γ -квантом. В действительности же между данными Ли и Чадвика и Гольдгабера существует обратное соотношение. Чем вызывается это противоречие, указать в настоящее время не представляется возможным. Поэтому вопрос о механизме образования γ -лучей при облучении водорода нейтронами остается пока нерешенным.

Л. Грошев

ЛИТЕРАТУРА

1. Lea, Nature, 133, 24, 1934.
 2. Fleischmann, Naturwiss. 22, 839, 1934.
 3. Lea, Proc. Roy. Soc., 150, 627, 1936.
 4. Fermi, Amaldi, D'Agostino, Pontecorvo, Rasetti, Segré, Proc. Roy. Soc. 149, 522, 1935; см. также Успехи физических наук № 7, 1935.
 5. Auger, C. R., 198, 365, 1934.
 6. Chadwick a. Goldhaber, Nature, 134, 237, 1934; Успехи физических наук, 14, 953, 1934.
 7. Bethe a. Peierls, Proc. Roy. Soc., 148, 146, 1925.
-