

Далее, автору удалось установить влияние на получаемое изображение пространственного заряда, возникающего при больших плотностях тока в трубке, а также угла, под которым первичные электроны попадают на объект, имеющий неровную поверхность.

В заключение автор приводит весьма интересные предварительные результаты изучения вторичного излучения различных внутренних частей трубки. При этих опытах плоский объект был заменен кольцом из никелевой проволоки, благодаря чему пучок первичных электронов мог попадать на внутренние части трубки. Оказалось, что значительная вторичная эмиссия наблюдается не только у проводников, находящихся внутри трубки, но и у изоляторов. Электронограммы отчетливо доказали, что при изучении распределения тока в трубке или лампе необходимо учитывать не только первичный электронный пучок, но и вторичную эмиссию электронов с различных участков, бомбардируемых первичными электронами.

Что касается разрешающей способности этого нового метода получения электронограмм, то она ограничивается прежде всего размерами первичного электронного пучка, который едва ли может иметь диаметр, меньший 0,1 мм (обычно диаметр пучка близок к 1 мм). Однако по сравнению с обычным электронным микроскопом этот метод имеет и ряд преимуществ, как, например, отсутствие сильного ускоряющего поля, могущего исказить первоначальное распределение электронов, отсутствие хроматической абсорбции и т. д.

Возможность изучения этим методом вторичной эмиссии и распределения зарядов на изоляторах позволяет думать, что он получит широкое распространение наравне с обычным электронным микроскопом.

Н. Малов, Москва

γ-ЛУЧИ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ НЕЙТРОНАМИ

Недавно на страницах этого журнала сообщалось,¹ что при воздействии нейтронов на вещество появляется γ-излучение (опыты Ли). В последнее время появилось большое число работ, посвященных исследованию этого эффекта и разъяснивших некоторые пункты работы Ли в частности устранивших противоречие с опытами Чадвика и Гольдгабера по ядерному фотоэффекту. Этими работами^{2, 3, 4} прежде всего было установлено, что за возникновение γ-лучей практически ответственны лишь медленные нейтроны. Быстрые нейтроны создают очень малый эффект. Имеется лишь один случай (Au),⁴ для которого наблюдается эффект заметной величины для незамедленных нейтронов, возникающих при соударении дейтона с дейтоном. Однако в этом случае опыты проведены недостаточно точно.

В связи с тем, что γ-лучи возникают, главным образом, от медленных нейтронов, становится понятным, почему в опытах Ли для парафина наблюдался больший эффект, чем для углерода. Это объ-



Рис. 8. Вторичная эмиссия кристаллов железа с примесью кремния

ясняется тем, что эффект для углерода наблюдался для быстрых нейтронов, в то время как для парафина — для медленных, так как вступившие в парафин нейтроны сначала замедлялись и лишь после этого, поглощаясь, давали начало γ -излучению.

Другое существенное обстоятельство, которое удалось выяснить, состоит в том, что величина наблюдаемого эффекта, а иногда наличие или отсутствие его, зависит от материала индикатора (в последних работах обычно применялся счетчик Гейгер-Мюллера), применяемого для обнаружения γ -излучения. Это можно объяснить тем, что нейтроны, падая на стенки индикатора, вызывают в них γ -излучение, а для ряда веществ также и искусственную радиоактивность, следствием чего появляется дополнительное число импульсов в счетчике, меняющееся при помещении перед ним вещества, исследуемого на наличие в нем эффекта. Это неучитываемое изменение числа импульсов в счетчике может исказить величину наблюдаемого эффекта.

Флейшман⁵ показал, например, что если применять в виде индикатора γ -лучей железный счетчик, то эффект для Fe, Cu и Pb едва можно было обнаружить, в то время как с графитовым счетчиком можно доказать наличие большого эффекта для Fe и Cu и заметного — для Pb.

Перейдем к изложению некоторых результатов последних работ. Наиболее подробно вопрос о γ -излучении от нейтронов разобран в работе Флейшмана^{2, 5}. Этот автор применял как индикатор графитовый счетчик, так как по его опытам нейтроны в графите не вызывают заметного эффекта. Прежде всего было показано, что γ -лучи от медленных нейтронов возникают в парафине, Fe, Cu, Cd и Pb и почти отсутствуют для C и B_2O_3 ; при этом под медленными нейтронами подразумеваются нейтроны, поглощаемые слоем B_2O_3 толщиной 3 г/см² (из опытов Разетти⁶ следует, что γ -лучи возникают также в Cl, Co, Y, Ag, Ir, Hg). Комбинируя затем свинцовые фильтры для поглощения γ -лучей и фильтры из B_2O_3 для поглощения медленных нейтронов, возникающих при замедлении в парафине, Флейшман довольно подробно исследовал зависимость величины изучаемого эффекта от толщины слоя вещества, в котором γ -излучение возбуждается. Эта зависимость была определена для парафина, Fe, Cu, Cd, Pb; при этом для каждого вещества были исследованы два различных случая. В первом из них слой исследуемого вещества различной толщины помещался перед счетчиком, т. е. измерялось γ -излучение, испускаемое в направлении падающего потока нейтронов; во втором исследуемое вещество располагалось позади счетчика, т. е. измерялось γ -излучение, испускаемое в направлении, обратном к направлению движения пучка нейтронов. В первом случае для всех исследованных веществ кривые изменения γ -излучения с толщиной слоя возрастают от нуля до некоторого максимального значения и затем постепенно спадают до нуля. Непосредственные измерения коэффициентов поглощения медленных нейтронов и возникающего в данном веществе γ -излучения показали, что подъем этих кривых обуславливается поглощением медленных нейтронов (суммирование γ -излучения по возрастающей толщине слоя), а спадание для больших толщин — поглощением появившегося γ -излучения. Некоторые особенности имеются для случая парафина, для которого опыты производились с быстрыми нейтронами, постепенно замедлявшимися в самом парафине перед тем, как создавать в нем γ -излучение. По этой причине подъем кривых для парафина вначале несколько замедлен и затем идет ускоренно в отличие от других элементов, для которых он почти линейен.

Для второго случая — нарастания интенсивности γ -излучения в обратном по отношению к падающим нейтронам направлении — получаются для всех исследованных веществ аналогичные друг другу кривые, возрастающие от нуля до некоторого постоянного значения с увеличением толщины облучаемого слоя.

Как те, так и другие кривые дают представление о поглощении нейтронов в данном веществе.

В опытах Ли грубо была определена энергия γ -квантов, возникающих от действия нейтронов на вещество. Флейшман более тщательно определил эту энергию для случая H, Fe, Cd, Cu, Pb и получил иные результаты. Для определения энергии γ -излучения, возникающего в данном элементе, он измерил коэффициенты поглощения его в ряде элементов и затем сравнил их с коэффициентами поглощения γ -излучения известной энергии (γ -излучение Ra, фильтрованное 10 см Pb, и γ -излучение ThC", фильтрованное 5 см Pb). Результаты, полученные сравнением коэффициентов поглощения в алюминии, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элемент, в котором возникает γ -излучение	Энергия γ -кванта в eV
H	$1,5 \cdot 10^6$
Fe	$2,6 \cdot 10^6$
Cu	$2,5 \cdot 10^6$
Cd	$2,1 \cdot 10^6$
Pd	$0,45 \cdot 10^6$

Отметим, что Разетти определил энергию γ -излучения, возникающего при облучении медленными нейтронами Cl, Co, Y, Ag, Cd, Ir, Hg, и нашел для нее значения, колеблющиеся между 4 и $5 \cdot 10^6$ eV. Для Cd, например, он нашел $4,5 \cdot 10^6$ eV. Правда, нужно иметь в виду, что в его методе определения энергии γ -излучения (по поглощению создаваемых им электронов) имеются не совсем обоснованные предположения.

Если еще вспомнить, что Ли нашел для случая водорода энергию, равной $3-4 \cdot 10^6$ eV, а для железа и свинца $1,5 \cdot 10^6$ eV, то приходится заключить, что вопрос об энергии возникающего γ -излучения пока еще окончательно не решен.

Для сравнения величины эффекта для различных веществ имеется пока также еще недостаточное количество данных. В этом отношении следует прежде всего отметить, что грубые расчеты Флейшмана⁷ показали, что для Cd, Cu, Fe, Pb и парафина на каждый поглощенный медленный нейтрон возникает приблизительно по одному γ -кванту. Об абсолютной величине исследуемого эффекта можно сказать следующее. Ли в своей первой работе для величины эффективного сечения возникновения γ -излучения от нейтронов указал для случая водорода величину $10^{-25} - 10^{-26}$ см². Арцимович, Курчатов, Латышев и Хромов,³ исследуя поглощение медленных нейтронов в парафине, воде и углероде по возникающему в них γ -излучению, установили, что эффективное сечение для H, C, O приблизительно одно и то же и равно $2-3 \cdot 10^{-25}$ см² (последнее обстоятельство до некоторой степени противоречит данным Флейшмана, который нашел, что графит дает лишь незначительный эффект как для быстрых, так и для медленных нейтронов). Кикучи с сотрудниками⁴ оценивают эффективное сечение как величину порядка 10^{-25} см² для Cu, Ni, Fe и еще в сотни раз большую для сильно поглощающего медленные нейтроны кадмия ($10^{-21} - 10^{-22}$ см²).

О механизме возникновения рассматриваемого γ -излучения можно заключить следующее. Поскольку γ -излучение возникает при взаимодействии медленных нейтронов с веществом, то его возникновение можно объяснить только поглощением нейтронов ядрами. Освобождаемая при этом энергия дает энергию связи нейтрона во вновь образовавшемся ядре. Для случая алюминия непосредственными измерениями было показано, что γ -излучение испускается мгновенно в момент присоединения нейтрона к ядру. Нужно думать, что то же самое имеет место и для всех других веществ.

В случае водорода γ -излучение появляется при образовании дейтона из протона и нейтрона. Против этого объяснения теперь не имеется никаких возражений. Упомянувшееся раньше¹ противоречие

между опытами Ли и опытами Чадвика и Гольдгабера теперь можно объяснить следующим образом. Из опытов по ядерному фотоэффекту (Чадвик и Гольдгабер) и из термодинамических соображений следует, что для нейтронов с энергиями в несколько сот тысяч вольт эффективное сечение для образования дейтона из протона и нейтрона имеет величину порядка 10^{-29} см², т. е. оно меньше, чем для ядерного фотоэффекта. Опыты же Ли, как и дальнейшие опыты других авторов, показывают, что образование γ -лучей от нейтронов идет с большей вероятностью, чем расщепления дейтона γ -квантом. Однако здесь нужно иметь в виду, что первый процесс идет для медленных нейтронов, а во втором же образуются сравнительно быстрые. С другой стороны, теория показывает, что эффективное сечение для первого из упомянутых процессов быстро возрастает с уменьшением энергии нейтронов и для медленных нейтронов может достигнуть величины 10^{-25} — 10^{-26} см², совпадающей по порядку величины с наблюдаемыми из опыта значениями. Таким образом противоречия между опытами Ли и Чадвика и Гольдгабера — кажущиеся и объясняются тем, что в том и другом случае имеют дело с нейтронами различных скоростей.

В заключение можно отметить, что хотя вопрос о возникновении γ -излучения от нейтронов еще не изучен достаточно полно, тем не менее можно констатировать отсутствие противоречий с другими экспериментальными фактами, а также, по всей вероятности, и с данными теории.

Л. Грошев, Москва

ЛИТЕРАТУРА

1. Успехи физических наук, 15, № 8, 1935.
2. Fleischmann, Z. Physik, 97, 242, 1935.
3. Arzimowitsch, Kurtschatow, Latyschew, Chromow, Phys. Z. Sow. Union, 8, 472, 1935.
4. Kikuchi, Aoki, Hustmi, Proc. Phys. Math. Soc. Jap., 17, 369, 1935.
5. Fleischmann, Z. Physik, 97, 265, 1935.
6. Rasetti, Z. Physik, 97, 64, 1935.
7. Fleischmann, Z. techn. Phys., 16, 412, 1935; Physik. Z., 36, 806, 1935.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИОННЫМИ ЛУЧАМИ

Как известно, электрические и магнитные поля надлежащей формы могут служить линзами для электронных лучей. С такими линзами удается получить резкие изображения предметов, испускающих электроны (электронная оптика). Очевидно, что подобные же методы могут быть применены для получения изображений с помощью ионных лучей. Однако в этом случае приходится отказаться от применения магнитных линз, так как в них траектория движения частицы при данном заряде зависит от массы, и поэтому при переходе от электронов к ионам для получения одинаковых траекторий пришлось бы сильно уменьшить скорость движения частиц, что по многим соображениям является невозможным (свечение флюоресцирующего экрана), или же значительно изменить силу тока в катушках, создающих магнитное поле линз. С другой стороны, применение линз с электростатическим полем для случая ионных лучей вполне возможно, так как в них для частиц данной энергии траектория не зависит от массы и определяется только величиной заряда.

Коху и Вальхеру* недавно действительно удалось применить однозарядные ионы калия для получения изображений предметов, испускающих эти ионы или освещенных ими. Это стало возможным лишь после того, как Коху удалось получить довольно сильный источ-

* Koch u. Walcher, Z. Physik, 97, 131, 1935.