

ФИЗИКА

Л. АРЦИМОВИЧ и М. БРЕДОВ

**РАДИАЦИОННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ТОНКИХ СЛОЯХ ВЕЩЕСТВА**

*(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 9 X 1939)*

Все экспериментальные исследования радиационного торможения быстрых электронов (с энергией порядка нескольких мегавольт) до сих пор производились с толстыми слоями вещества. При этом всегда измерялась интегральная интенсивность излучения, возникающего на полном пробеге электрона в веществе до его остановки. Очевидно, что такие измерения не дают данных, относящихся непосредственно к элементарному акту радиационного торможения. Поэтому интересно дополнить эти измерения исследованием радиационного торможения электронов в тонких слоях вещества, где отдельные процессы столкновения электронов с атомами не влияют друг на друга и проявляются независимо. Из экспериментов с тонкими слоями могут быть получены непосредственные данные об эффективном поперечном сечении для элементарного акта радиационного торможения.

Настоящая заметка посвящена изложению результатов, полученных авторами при исследовании радиационного торможения электронов с энергией в 1 MV и 2 MV в тонких слоях различных веществ (Al, Cu, Sn, Pb).

Источником электронов служил препарат радона. Для выделения узкого монохроматического пучка электронов был использован электронный спектрограф с двойной фокусировкой в продольном магнитном поле (1). Точность монохроматизации достигала  $\pm 2\%$  от фокусируемой энергии. Диаметр фокусного пятна на выходе спектрографа был равен 10 мм. Угловая расходимость выделенного пучка (полный раствор конуса) составляла  $15^\circ$ .

Непосредственно за окном спектрографа помещались мишени из тех веществ, в которых исследовалось радиационное торможение. Толщины мишеней подбирались таким образом, чтобы они были приблизительно эквивалентны в отношении рассеяния электронов. Это условие было необходимо для того, чтобы результаты измерений зависимости интенсивности тормозного излучения от атомного номера не могли быть искажены из-за углового размытия пучка. Исключение из этого правила в выборе толщины мишени пришлось сделать для алюминия, так как расчетная толщина оказалась слишком большой.

Электроны при прохождении сквозь тонкую мишень теряют очень значительную долю своей первоначальной энергии. Для того чтобы после этого вывести их из игры, необходимо либо отогнуть их магнитным

полем либо затормозить в веществе, с возможно меньшим атомным номером. (Выбор минимального атомного номера необходим для того, чтобы по возможности уменьшить фон от радиационного торможения в поглотителе.) Отгибание электронов магнитным полем значительно усложняет и ухудшает условия измерения. Поэтому, несмотря на некоторое неудобство, связанное с возникновением довольно большого фона, мы пользовались для удаления электронов поглотителем из парафина (эффективный атомный номер—4.2) толщиной около 1.5 см. Поглотитель помещался непосредственно за мишенью. Интенсивность тормозного излучения измерялась при помощи счетчика Гейгера полуцилиндрической формы с плоской передней стенкой. Диаметр счетчика был равен 40 мм, длина рабочей части 80 мм. Счетчик помещался плоской стенкой вплотную к парафиновому поглотителю. Такое расположение обеспечивало использование максимального телесного угла для излучения, возникающего в мишени.

Во всех измерениях производилось вычитание фона, вызванного наличием парафинового поглотителя.

Нами были изучены: 1) зависимость интенсивности излучения от атомного номера при двух начальных энергиях электронов 1 MV и 2 MV, 2) зависимость интенсивности излучения от начальной энергии электронов, 3) изменение интенсивности с толщиной мишени (переход от тонкого антикатада к толстому).

В измерениях зависимости интенсивности излучения от атомного номера при начальной энергии электронов, равной 1 MV, толщины мишеней составляли для Pb, Sn, Cu, Al соответственно: 15, 22, 33, 54 мг/см<sup>2</sup>; при начальной энергии электронов, равной 2 MV, мишени были вдвое толще. Результаты измерений зависимости эффективного сечения от атомного номера приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элемент	$\sigma/Z^2$	
	$E=1\text{ MV}$	$E=2\text{ MV}$
Al	1.06	0.86
Cu	0.98	0.92
Sn	0.87	—
Pb	1.00	1.00

Таблица 2

Элемент	Начальная энергия в MV	$x_m$ в мг/см <sup>2</sup>
Pb . . . . .	1	227
Cu . . . . .	1	310
Cu . . . . .	2	620

В этой таблице  $\sigma$  — эффективное сечение радиационного торможения (в условных единицах),  $Z$  — атомный номер элемента. Статистическая точность в определении  $\sigma$  равна 10% от самой величины. При определении величины эффективного сечения в экспериментальные данные вводилась поправка на неравноценность фона для различных мишеней. Необходимость введения этой поправки следует из того, что электроны попадают в поглотитель, потеряв часть своей энергии в мишени, вследствие чего радиационный фон поглотителя уменьшается. Легко видеть, что вводимая поправка должна заключаться в умножении экспериментального значения интенсивности излучения на  $\frac{Z}{Z - Z_1 \frac{\Delta}{\Delta_1}}$ , где  $Z_1$  — атом-

ный номер поглотителя,  $\Delta$  и  $\Delta_1$  — потери энергии на ионизацию (в расчете на 1 электрон/см<sup>2</sup>) для исследуемого вещества и поглотителя. В наших измерениях указанная поправка имеет существенное значение только

для алюминия. Данные наших измерений полностью подтверждают требуемое теорией постоянство отношения  $\sigma/Z^2$ . Колебания этой величины для различных элементов лежат в пределах ошибок измерений.

Требуемая теорией зависимость эффективного сечения от начальной энергии электронов также находится в согласии с нашими экспериментальными данными. Отношение интенсивности излучения при  $E=2$  MV к интенсивности излучения при  $E=1$  MV, измеренное нами, оказалось равным 1.95 для алюминия и 2.3 для свинца (в расчете на 1 падающий электрон и на 1 ядро). Величина ошибки в определении этого отношения составляла в обоих случаях  $\sim 15\%$ . Теоретическое значение этого отношения равно по Бетэ и Гейтлеру <sup>(2)</sup> 2.05 для обоих элементов. Эти измерения были выполнены с наиболее тонкими мишенями.

Исследуя зависимость интенсивности излучения от толщины мишени, мы смогли установить оптимальную глубину мишени, на которой интенсивность излучения доходит до максимума и далее убывает за счет поглощения. Знание этой величины представляет практический интерес для экспериментальных исследований по физике быстрых электронов. Найденные нами значения этой величины  $x_m$  приведены в табл. 2. Как и следовало ожидать,  $x_m$  растет при увеличении энергии и уменьшается при увеличении  $Z$  (за счет рассеяния).

Сравнивая отношение интенсивности излучения для тонкого и толстого антикатада, найденное экспериментально и вычисленное на основании теории, мы нашли, что и в этом пункте эксперимент и теория также согласуются между собою. Отсюда, между прочим, следует, что так называемые аномальные потери энергии, обнаруженные для быстрых электронов рядом авторов <sup>(3)</sup>, могут составлять лишь небольшую долю суммарной потери энергии электрона в веществе.

Физико-технический институт  
Ленинград

Поступило  
26 X 1939

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. А. Арцимович и В. А. Храмов, Изв. ОМЭН АН, сер. физ., № 5 — 6, 757 (1938). <sup>2</sup> H. Bethe a. W. Heitler, Proc. Roy. Soc., [A], 146, 83 (1934). <sup>3</sup> Ruhlig a. Graue, Phys. Rev., 53, 618 (1938).