

Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 201 – 205

20 февраля 1971 г.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ГЕНЕРИРУЕМОЕ В КРИСТАЛЛАХ ЧАСТИЦАМИ УЛЬТРАВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

А.И.Алиханян, Г.М.Гарибян, М.П.Лорикян,

К.К.Шихляров

В работах ^{1,2)} было сообщено об обнаруженном нами явлении генерации излучения в рентгеновском диапазоне частот в тонких кристаллах каменной соли и алмаза при прохождении через них электронов с энергиями от 1 до 2,46 Гэв.

¹⁾ А.И.Алиханян "Переходное излучение и его использование в детекторах ультрарелятивистских частиц", приглашенный доклад на Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий, Дубна, сентябрь 1970 года.

²⁾ А.И.Алиханян, Г.М.Гарибян, М.П.Лорикян и К.К.Шихляров "Исследование переходного излучения с помощью искровой камеры", доложено М.П.Лорикяном на Международной конференции по аппаратуре, сентябрь 1970 года.

Тогда же нами было отмечено, что наблюдаемое явление не может быть объяснено в рамках обычного переходного излучения, так как интенсивность генерируемых в кристалле фотонов, примерно в 100 раз больше, чем в пленках аморфного вещества (майлар, полиэтилен и пенопласт) [1]. Это обстоятельство послужило серьезным доводом к тому, что мы действительно наблюдали новый механизм излучения быстрой заряженной частицы, при котором число генерируемых фотонов в исследуемом интервале частот помимо того растет с увеличением энергии первичной частицы, в отличие от известных механизмов типа тормозного излучения.

Этот новый механизм излучения заряженной частицы был теоретически предсказан одним из авторов настоящей работы (Г.М.Гарибян), что и инициировало проведение экспериментальных исследований в этом направлении. Физический механизм образования такого излучения связан с дифракцией поля движущейся с постоянной скоростью заряженной частицы на отдельных атомах кристаллической решетки, для полей таких частот, длины волн которых много меньше межатомных расстояний.



Рис. 1

В настоящей работе мы приводим результаты дальнейших исследований этого явления. На рис. 1. приведена схема экспериментальной установки. Очень слабый поток электронов с варьируемой энергией от 1,3 до 4,0 Гэв проходил через вакуумный пучкопровод и стримерную камеру (СК) с размерами $80 \times 20 \times 10$ см³. Стримерная камера наполнялась смесью Ne + 10% Xe при нормальном давлении. Апертурные счетчики S_2 , S_3 включались на антисовпадение с сцинтилляционным счетчиком S_1 , имеющим отверстие диаметром 10 мкм, через которое проходил поток первичных электронов. При выходе из отверстия был установлен радиатор R , в настоящих опытах представляющий собой тонкие пластинки кристаллов NaCl, LiF и слюда. Для того, чтобы исключить фон, создаваемый тормозным излучением, каждый раз на месте кристаллической пластинки устанавливался аморфный радиатор с эквивалентным в радиационных длинах количеством вещества.

Среднее число фотоэлектронов $\eta_{эфф}$ или $\eta_{фон}$, приходящихся на один первичный электрон, определялось подсчетом полного числа фотоэлектронов и относилось к полному числу одиночных электронов высоких энергий, зарегистрированных в камере.

В ряде случаев для большой достоверности в определении числа фотоэлектронов и отделения их от δ -электронов, образуемых первичным электроном в газе камеры, после радиатора включалось магнитное поле напряженностью $3,5 \cdot 10^3$ э, которое отклоняло первичную частицу на 3 - 4 см. При этом фотоэлектроны, генерируемые в кристаллах и идущие под малым углом к первичной частице, продолжали свое направление движения и создавали фотоэлектроны в стримерной камере на таких расстояниях, что их можно без всякого сомнения отли-

чить от δ -электронов. В таблице приведены результаты измерений с различными радиаторами. Как видно из этой таблицы во всех случаях кристаллический радиатор, дает значительно большее среднее число фотоэлектронов, чем соответствующий радиатор из аморфного вещества (в пересчете на один слой).

На рис. 2 приведена зависимость $\eta_{эфф}$ от энергии первичных электронов с вычетом фона (кривая 1), в том случае, когда был использован слюдяной радиатор, состоящий из 7 слоев толщиной 10^{-2} см, 20 слоев по $4 \cdot 10^{-3}$ см и 20 слоев по $2 \cdot 10^{-3}$ см (общая толщина 1,9 мм). Кривая 2 на том же рисунке изображает результаты измерений для $\eta_{фон}$. Из этого рисунка следует, что при всех энергиях первичных электронов $\eta_{эфф}$ не только существенно превышает $\eta_{фон}$, но и в отличие от последней резко растет с ростом энергии первичных электронов.

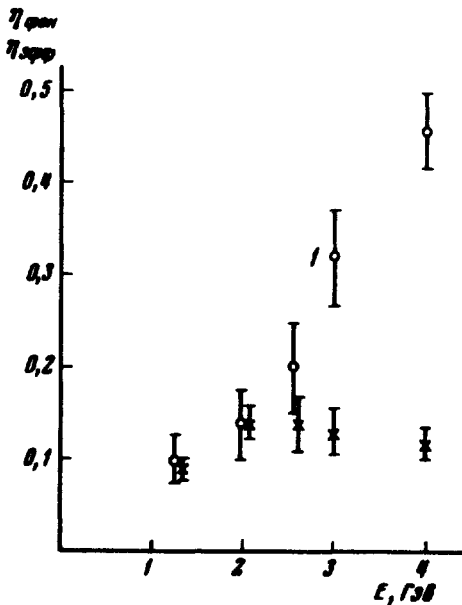


Рис. 2

Следует заметить, что наблюдаемое число фотоэлектронов в газе стримерной камеры составляет только часть общего числа фотонов, рождающихся в радиаторе. В самом деле, во-первых, в толще радиатора, составляющего 1,9 мм слюды, только 15% от числа квантов с энергиями 20 кэв выйдет из радиатора, а для фотонов с энергиями 30 и 50 кэв 53 и 82%, соответственно. Во-вторых, эффективность регистрации этих фотонов стримерной камерой меньше 100% и резко уменьшается с ростом энергии фотонов.

Заметим, что вычитанием $\eta_{фон}$ мы фактически исключили только бете-гайтлеровскую часть тормозного излучения. Однако электрон при прохождении через кристаллическую решетку образует также и когерентное тормозное излучение [2 - 4]. Но, для того, чтобы имело место когерентное тормозное излучение направление движения электронов должно быть определенным образом коллимировано относительно осей кристалла. Для фотонов интересующих нас энергий этот угол $\sim 5 \cdot 10^{-8}$ рад. С другой стороны, известно, что монокристалл состоящий из отдельных идеальных кристалликов или блоков, содержит примерно $10^3 + 10^4$ атомных слоев, причем эти блоки повернуты друг относительно друга на углы $\sim 10^{-4} + 10^{-3}$ рад. Поэтому ясно, что когерентное тормозное излучение с энергиями в десятки килоэлектронвольт может происходить

Вещества радиатора	NaCl	NaCl	NaCl	NaCl	Слюда	Слюда	LiF	Майлар
Толщина каждого слоя	2,5	20	0,6	0,1	0,05		0,25	10^{-2}
Количество слоев	2	1	1	7	1		6	1700
Расстояние между слоями в мм	50	-	-	1	-		1	0,3
Энергия электронов в Гэв	2,5	2,5	4,0	4,0	4,0		4,0	2,46
η фон	$0,14 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,04$	$0,136 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,01$		$0,14 \pm 0,02$	$0,1 \pm 0,01$
η эфф за вычетом фона	$0,35 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,08$	$0,2 \pm 0,04$	$0,33 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,03$		$0,2 \pm 0,04$	$1,2 \pm 0,15$

только на тех отдельных блоках, которые оказались удачно расположенными относительно направления движения первичного электрона. Таких блоков в толщине 1,9 мж оказывается порядка одного. Расчеты дают, что например, 4 Гэв электрон образует в одном блоке около 5 фотонов с энергиями в десятки килоэлектронвольт, причем это число не зависит от энергии первичных электронов. Последнее является следствием того, что толщина блоков меньше длины когерентности. Учтем теперь, что угловой разброс электронов, падающих на кристаллическую решетку, в наших экспериментах был $\sim 10^{-3}$ рад. Поэтому только $5 \cdot 10^{-3}$ часть из проходящих через кристалл электронов может дать когерентное тормозное излучение. Следовательно, для рассматриваемого кристалла вклад когерентного тормозного излучения составляет $\sim 2,5 \cdot 10^{-4}$ кванта на один первичный электрон. Таким образом, несмотря на то, что в наших экспериментах были использованы относительно толстые образцы кристаллов, когерентное тормозное излучение пренебрежимо мало из-за недостаточной идеальности кристаллов.

Расчет бете-гайтлеровского тормозного излучения дает для рассматриваемых кристаллов около 10^{-3} фотона на один первичный электрон. С другой стороны из таблицы и рис. 2 видно, что измеряемый нами фон имеет порядок 10^{-1} фотона на первичный электрон. Отсюда мы заключаем, что $\eta_{\text{фон}}$ обусловлено фоном в экспериментальном зале и оно не должно зависеть от толщины и сорта радиатора, что видно также и из приведенной нами таблицы.

Авторы выражают благодарность Р.О.Авакяну, А.П.Аматуни и А.А.Армагяняну за полезное обсуждение результатов работы, С.К.Есину, И.П.Карабекову и Э.М.Матевосяну за содействие в проведении эксперимента.

Поступила в редакцию
18 января 1971 г.

Литература

- [1] А.И.Алиханян, К.М.Авакян, Г.М.Гарибян, М.П.Лорикиан, К.К.Шихляров. Phys. Rev. Lett., 25, 635, 1970; Изв. АН Арм. ССР, сер. физика, 5, 267, 1970.
- [2] В. Ferrett. Nuovo Cim, 7, 118, 1950.
- [3] М.Л.Тер-Микаелян. ЖЭТФ, 25, 296, 1953.
- [4] Н. Überall. Phys. Rev., 103, 1055, 1956; 107, 223, 1957.