

## ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИВНЕЙ В КРИСТАЛЛЕ ВОЛЬФРАМА

*В.А.Басков, Б.Б.Говорков, В.Б.Ганенко<sup>1)</sup>, В.А.Гущин<sup>1)</sup>,  
Ю.В.Жебровский<sup>1)</sup>, В.В.Ким, Л.Я.Колесников<sup>1)</sup>, И.В.Коноров,  
Б.И.Лучков<sup>2)</sup>, В.А.Маишеев<sup>3)</sup>, А.Л.Рубашкин<sup>1)</sup>, В.И.Сергиенко,  
В.Ю.Тугаенко<sup>1)</sup>, В.А.Хабло*

Исследована ориентационная зависимость электромагнитных ливней, выходящих из охлажденного кристалла вольфрама, при взаимодействии с ним пучка электронов с энергией 28 ГэВ. Показано, что регистрируемые ливни отличаются от ливней, развивающихся в аморфном веществе.

Взаимодействие высокоэнергетичных электронов ( $E > 100$  МэВ) с монокристаллом при определенных углах входа носит коллективный когерентный характер, в отличие от взаимодействия на отдельных центрах в аморфной среде (механизм Бете - Гайтлера) <sup>1</sup>. В области энергий электронов и  $\gamma$ -квантов  $10 \div 1000$  ГэВ при малых углах входа ( $\theta \ll \theta_{\text{сп}} = V_0/m$ ) когерентный механизм имеет особенность, получившую название "постоянного сильного поля" (ПСП), в результате которой резко возрастают сечения всех электромагнитных процессов. Справедливость ПСП приближения для разных кристаллов определяется условием:  $V_0\epsilon/m^2 \gg 1$ , где  $V_0 \approx Ze^2/a$  - масштаб усредненного потенциала оси (плоскости);  $e, m$  - заряд и масса электрона;  $a$  - шаг решетки;  $\epsilon$  - энергия электрона или  $\gamma$ -кванта <sup>2,3</sup>. Одним из наиболее интересных и наименее изученных проявлений механизма ПСП является развитие электромагнитного каскада в ориентированном кристалле, где теория предсказывает ряд эффектов <sup>4,5</sup>. Для их проверки необходимо иметь кристалл с высоким потенциалом кристаллографической оси, малым шагом решетки и пучок электронов с энергией, необходимой для удовлетворения условия ПСП при соответствующих углах входа  $\theta$ . При энергии электронов 28 ГэВ этим условиям удовлетворяет кристалл вольфрама, наибольший потенциал которого (для оси  $\langle 111 \rangle$ ) составляет  $V_0 = 417$  В/см.

Исследования электромагнитных ливней, инициированных электронами с энергией 28 ГэВ в ориентированном кристалле вольфрама были проведены на установке "Каскад" Серпуховского ускорителя <sup>6</sup>. Данная работа является продолжением цикла работ по изучению развития электромагнитных ливней в ориентированных кристаллах вольфрама <sup>7</sup>. В этой работе использовался монокристалл вольфрама толщиной 1,0 мм, охлажденный жидким азотом до температуры 77 К. Ориентация кристалла осуществлялась вдоль кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$ , а расходимость пучка составляла  $|v| \leq 0,1$  мрад. Разориентированным считался кристалл, ось которого была повернута относительно оси пучка на угол  $\theta = 20 \div 30$  мрад. Электромагнитный каскад, выходящий из кристалла, продолжал развиваться в составном свинцово-сцинтилляционном спектрометре полного поглощения (ССЛС), стоящим за кристаллом. ССЛС содержал 9 одинаковых независимых счетчиков полного поглощения типа "сэндвич", каждый из которых состоял из 4 пластин свинца толщиной 1,5 мм, прослоенных 4 пластинами сцинтиллятора толщиной 5 мм. Общая толщина спектрометра по пучку составляла 10,8 радиационных длин. С каждого счетчика ССЛС можно было снимать амплитудный

<sup>1)</sup> Физико-технический институт, г.Харьков.

<sup>2)</sup> Инженерно-физический институт, г.Москва.

<sup>3)</sup> Институт физики высоких энергий, г.Серпухов

сигнал, что давало возможность проследить развитие электромагнитного ливня по глубине.

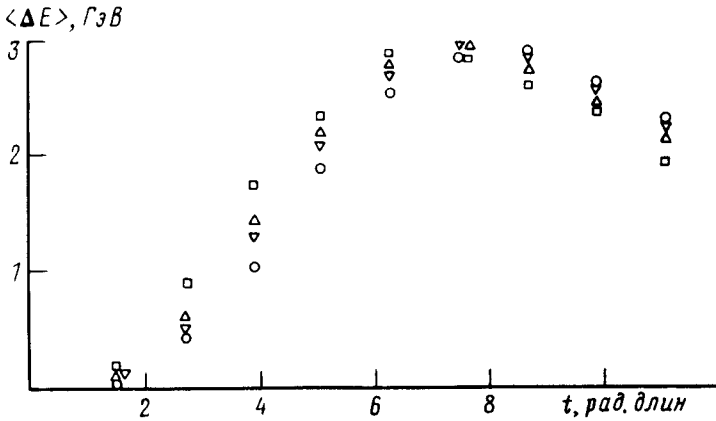


Рис. 1. Развитие электромагнитного каскада электронами с энергией 28 ГэВ в зависимости от глубины ССЛС и ориентации кристалла, стоящего перед ним, относительно оси  $\langle 111 \rangle$  (вольфрам толщиной 1,0 мм;  $T = 77\text{K}$ ).  $\langle \Delta E \rangle$  - доля энергии электромагнитного ливня, выделяющаяся в каждом счетчике ССЛС:  $\bullet$  -  $\theta = 52$  мрад;  $\nabla$  -  $\theta = 10$  мрад;  $\Delta$  -  $\theta = 5$  мрад;  $\square$  -  $\theta = 0$  мрад

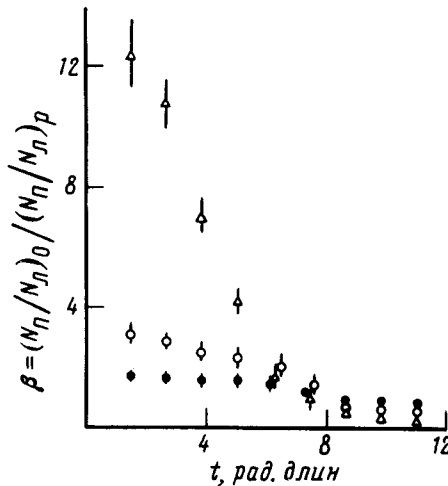


Рис. 2. Зависимость коэффициента трансформации спектра  $\beta$  от глубины развития электромагнитного каскада в ССЛС и ориентации кристалла, стоящего перед ним (вольфрам толщиной 1,0 мм;  $T = 77\text{K}$ ; ось  $\langle 111 \rangle$ ):  $\Delta$  -  $\theta = 0$  мрад;  $\circ$  -  $\theta = 5$  мрад;  $\bullet$  -  $\theta = 10$  мрад

На рис. 1 показаны каскадные кривые, измеренные ССЛС для электронов, входящих в кристалл под разными углами к оси  $\langle 111 \rangle$ . Из рисунка видно (как и в работе <sup>7</sup>), что с уменьшением угла  $\theta$  каскад начинает развиваться более интенсивно, чем он развивается при больших углах. Максимум развития каскада начинает сдвигаться в сторону начала развития. Наблюдаемое сжатие каскадной кривой, предсказываемое теорией, качественно объясняется большими радиационными потерями электронов, проходящих под малыми углами к оси кристалла в результате совместного действия ПСП и частичного захвата электронов в режим каналирования.

Амплитудные спектры, снимаемые с каждого счетчика ССЛС, меняют свою форму не только в зависимости от ориентации кристалла, но и в зависимости от глубины развития каскада. В качестве характеристики спектра был выбран коэффициент трансформации спектра, который определялся как  $\beta = (N_{\text{п}}/N_{\text{л}})_{\text{о}}/(N_{\text{п}}/N_{\text{л}})_{\text{р}}$ , где  $(N_{\text{п}}/N_{\text{л}})_{\text{о(р)}}$  - отношение числа частиц в правой части спектра к числу частиц в левой части спектра для ориентированного (разориентированного) кристалла. Канал, относительно которого происходит трансформация, находится методом оптимизации. На рис. 2 приведена зависимость коэффициента трансформации  $\beta$  от глубины развития каскада в ССЛС и ориентации кристалла. Эффект наличия ориентированного кристалла возрастает более чем в 12 раз при  $\theta = 0$  и трансформация спектра происходит практически по всей глубине ССЛС. Это означает, что в каскаде сохраняется "память" о прохождении электрона через кристалл с определенной ориентацией. На больших глубинах ( $t > 8 - 10$  рад.длин)  $\beta$  становится меньше единицы, т.е. энергетические спектры потерь оказываются более мягкими, чем для аморфного вещества.

Приведенные экспериментальные результаты показывают, что при энергии электронов 28 ГэВ электромагнитные ливни, образующиеся в ориентированном кристалле вольфрама, отличаются от ливней в аморфном веществе. Главное отличие заключается в том, что появляется сильная зависимость энерговыделения в каскаде от ориентации кристаллографической оси. Ориентационная зависимость сохраняется на значительной глубине.

Авторы считают своим долгом поблагодарить Е.И.Тамма и С.И.Никольского за поддержку работы.

#### Литература

1. Тер-Микаэлян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Ереван, Изд. АН Арм.ССР, 1969.
2. Kimball J.C., Cue N., Rath L.V., Marsh B.B. Phys. Rev. Lett., 1983, 50, 950.
3. Байер В.Н., Катков В.М., Страховенко В.М. УФН, 1989, 159, 455.
4. Baier V.N., Katkov V.M., Strakhovenko V.M. Nucl. Instr. Meth. B, 1987, 27, 360.
5. Ахизер А.И., Трутень В.И., Шульга Н.Ф. ДАН СССР, 1987, 292, 378.
6. Басков В.А., Ким В.В., Сергиенко В.И., Хабло В.А. Препринт ФИАН, N50, Москва, 1988.
7. Басков В.А., Ганенко В.Б., Гуцин В.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1990, 52, 740.

Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 октября 1990 г.