

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЛИВНЕЙ В ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛАХ ВОЛЬФРАМА

*В.А.Басков, В.Б.Ганенко, В.А.Гущин, Ю.В.Жебровский,
В.В.Ким, Л.Я.Колесников, И.В.Коноров, Б.И.Лучков,
В.А.Машиев¹⁾, А.Л.Рубашкин, В.И.Сергиенко,
В.Ю.Тугаенко, В.А.Хабло*

Приведены результаты экспериментальных исследований развития электромагнитных ливней, образованных электронами с энергией 28 ГэВ в ориентированных кристаллах вольфрама толщиной 0,07, 0,3 и 1,0 мм. При такой энергии начинает проявляться эффект "постоянного сильного поля" и развитие ливней в ориентированных кристаллах отличается от того, что наблюдается в аморфном веществе.

При взаимодействии электронов и фотонов с энергиями в десятки и сотни ГэВ с монокристаллами, помимо механизма когерентного излучения электронов и рождения e^+e^- -пар γ -квантами в широком интервале углов входа частиц относительно кристаллографической оси (плоскости), проявляется механизм "постоянного сильного поля" (ПСП), приводящий к значительному росту сечений всех электродинамических процессов^{1,2}. Область ПСП определяется условием $2V_0\epsilon/m^2 \gg 1$ и существует для углов $\theta \ll \theta_{\text{сп}} = V_0/m$, где $V_0 \approx Ze^2/a$ – масштаб усредненного потенциала оси (плоскости); m, e – масса и заряд электрона; a – расстояние между атомами в решетке; Ze – заряд ядра; ϵ – энергия падающего на кристалл электрона или γ -кванта³. Некоторые эффекты ПСП исследованы (см., например,^{4,5}), но в экспериментальном плане менее других изучен вопрос развития электромагнитного каскада в ориентированных кристаллах⁶⁻⁸.

В продолжение общей программы изучения эффектов ПСП при взаимодействии электронов и γ -квантов с монокристаллами, на установке "Каскад"⁹ ускорителя ИФВЭ были проведены исследования электромагнитных ливней, инициированных электронами с энергией 28 ГэВ в ориентированных кристаллах вольфрама. Использовались монокристаллы толщиной 0,07, 0,03 и 1,0 мм, ориентированные по пучку осью $\langle 111 \rangle$ (ось с наименьшим шагом решетки $a = 2,7 \text{ \AA}$ и наибольшим потенциалом $V_0 = 417 \text{ В/см}$). Кристаллы были "теплые" – температура составляла 293 К, либо "холодные" – кристалл охлаждался жидким азотом до температуры 77 К. Расходимость пучка электронов составляла $|v| \leq 0,2$ мрад по основанию. Разориентированным считался кристалл, ось которого была повернута относительно оси пучка на угол $\theta = 20 \div 30$ мрад в сторону от кристаллографических осей и плоскостей. Ливень, выходящий из кристалла, продолжал развиваться в составном черенковском ливневом спектрометре (СЧЛС)¹⁰, стоящим за кристаллом. СЧЛС состоял из 9 независимых светоизолированных радиаторов из свинцового стекла ТФ-1 толщиной в 1 радиационную длину, с каждого из которых можно было снимать амплитудный сигнал.

На рис. 1 показаны каскадные кривые измеренные для случаев ориентированного и разориентированного "холодного" кристалла вольфрама толщиной 1 мм. Из рисунка следует, что в ориентированном кристалле каскад развивается более интенсивно, чем в случае разориентированного. Максимум развития каскада в случае ориентированного кристалла смещен на ~ 2 радиационные длины в сторону начала развития. Относительная величина "убыстрения" развития каскада, равная отношению амплитуд сигналов в случае ориентированного к амплитудам в случае разориентированного кристалла, в зависимости от глубины его развития в СЧЛС, показана на рис. 2. Превышение энерговыделения в каскаде, зарождающемся в ориентированном кристалле, максимально в начале развития ($\langle \Delta E_0 \rangle / \langle \Delta E_p \rangle \approx 4$ в первом радиаторе СЧЛС) и становится меньше 1 за значением максимума развития.

¹⁾ Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

Наблюдаемое сжатие каскада качественно можно объяснить большими радиационными потерями электронов в кристалле в случае прохождения их под малыми углами к кристаллографической оси. Радиационная длина в кристалле перестает быть постоянной величиной и убывает

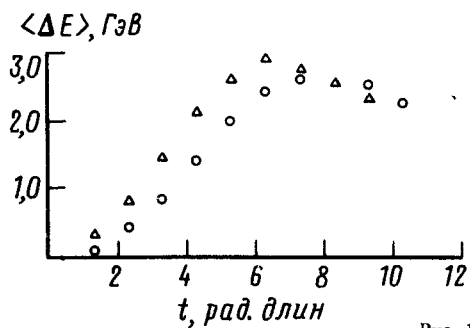


Рис. 1

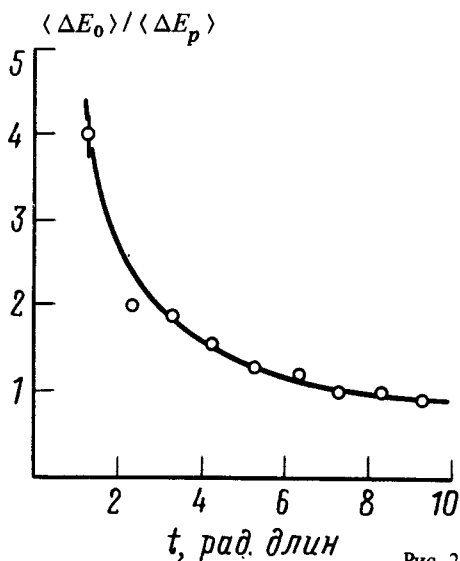


Рис. 2

Рис. 1. Развитие электромагнитного каскада электронами с энергией 28 ГэВ в СЧЛС (вольфрам толщиной 1,0 мм, $t = 77$ К). $\langle \Delta E \rangle$ – доля энергии электромагнитного ливня, выделяющаяся в каждом радиаторе СЧЛС. \blacktriangle – $\theta = 0$ мрад; \bullet – $\theta = 51,6$ мрад

Рис. 2. Отношение амплитуд сигналов ориентированного ($\langle \Delta E_0 \rangle$) кристалла к разориентированному ($\langle \Delta E_p \rangle$) кристаллу в зависимости от глубины СЧЛС (вольфрам толщиной 1,0 мм, $t = 77$ К)

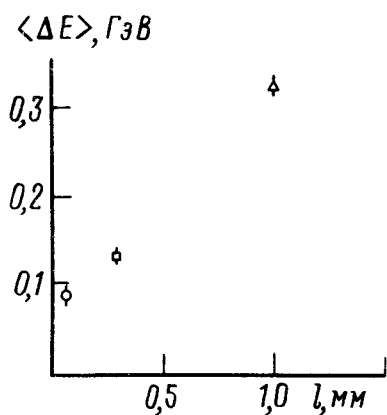


Рис. 3. Зависимость амплитуды в первом радиаторе СЧЛС от толщины ориентированного кристалла, стоящего перед ним. \bullet – 0,07 мм ($t = 293$ К); \blacksquare – 0,3 мм ($t = 293$ К); \blacktriangle – 1,0 мм ($t = 77$ К)

ет пропорционально с возрастанием энергии электронов и уменьшением угла входа. Это происходит в результате совместного действия ПСП и захвата электронов в режим каналирования.

Зависимость амплитуды сигнала, снимаемого с первого радиатора СЧЛС, от толщины ориентированного кристалла вольфрама, стоящего перед ним, показана на рис. 3 (кристаллы тол-

щиной 0,07 и 0,3 мм были теплые, а кристалл толщиной 1,0 мм был холодный). Амплитуда сигнала растет с увеличением толщины кристалла, но для установления полной зависимости необходимо провести измерения с кристаллами вольфрама большей толщины.

Приведенные экспериментальные результаты показывают, что при энергии электронов 28 ГэВ развитие электромагнитного каскада в ориентированном кристалле вольфрама происходит более интенсивно, чем в аморфном веществе, что имеет важное значение для установления механизма ПСП в монокристаллах. Обнаруженный эффект сжатия каскада может найти практическое применение в разработке малогабаритных, относительно легких спектрометров направленного действия для экспериментов по физике высоких энергий и космических исследований.

Литература

1. *Kimball J.C., Cue N., Rath L.M., Marsh B.B.* Phys. Rev. Lett., 1983, 50, 950.
2. *Baier V.N., Катков В.М., Strakhovenko V.M.* Phys. Lett. A, 1984, 104, 231.
3. *Байер В.Н., Катков В.М., Страхovenko В.М.* УФН, 1989, 159, 455.
4. *Velkacet A., et al.* Phys. Lett. B, 1986, 177, 211.
5. *Байер В.Н., Басков В.А., Ганенко В. Б. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1989, 49, 533.
6. *Baier V.N., Катков В.М., Strakhovenko V.M.* Nucl. Instr. Meth. B, 1987, 27, 360.
7. *Ахиезер А.И., Трутень В.И., Шульга Н.Ф.* ДАН СССР, 1987, 292, 378.
8. *Басков В.А., Ганенко В.Б., Гуцин В.А. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1989, 50, 395.
9. *Басков В.А., Ким В.В., Сергиенко В.И., Хабло В.А.* Препринт ФИАН, № 50, Москва, 1988.
10. *Белоусов А.С., Ваздик Я.А., Малиновский Е.И. и др.* Препринт ФИАН, № 266, Москва, 1986.

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

Харьковский физико-технический институт
Московский инженерно-физический институт

Поступила в редакцию

7 июня 1990 г.