

## РАЗДЕЛЕНИЕ АДРОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ОРИЕНТИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА

*В.А.Басков, Б.Б.Говорков, В.В.Ким, Б.И.Лучков\*, В.И.Сергиенко,  
В.Ю.Тугаенко\*, В.А.Хабло, В.И.Юматов*

*Физический институт им. П.Н.Лебедева, РАН  
117924, Москва, Россия*

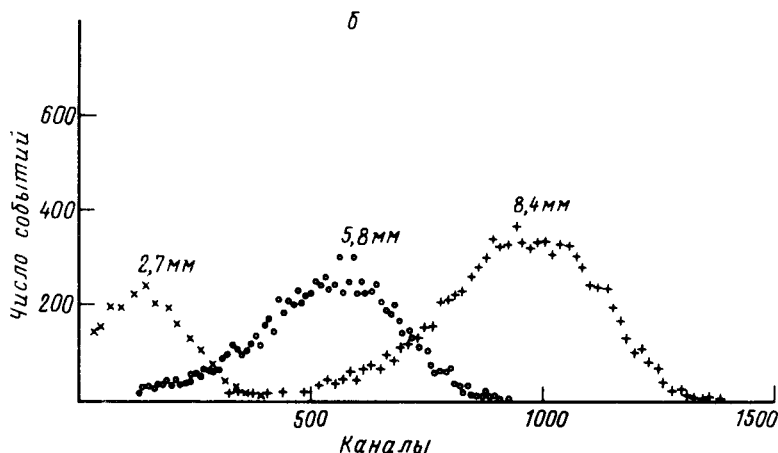
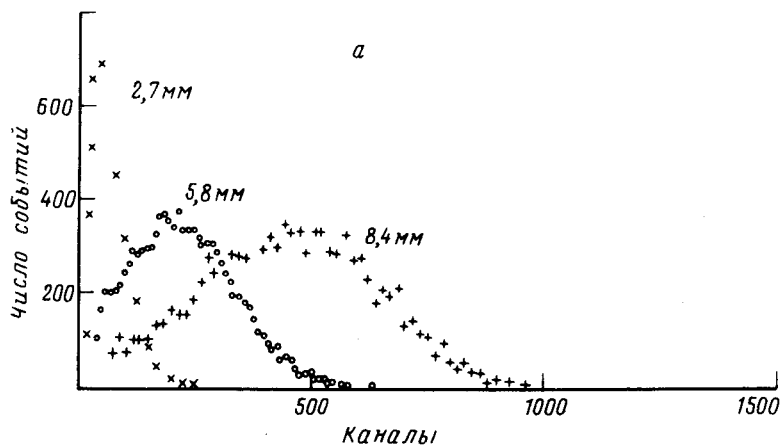
*<sup>1)</sup>Инженерно-физический институт  
115409, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 21 июля 1992 г.

Показана возможность повышения уровня разделения адронов и электронов высокой энергии в случае применения ориентированных кристаллов. Представлены экспериментальные результаты уровня выделения электронов с импульсом 26 ГэВ/с, направленным вдоль кристаллографической оси  $\langle 111 \rangle$  кристаллов вольфрама, относительно электронов с другими направлениями импульса.

Электромагнитные ливни, развиваемые электронами с энергией  $E \geq 10$  ГэВ в сильных полях ориентированных кристаллов, имеют существенные отличия от электромагнитных ливней в аморфном веществе или разориентированных кристаллах. Радиационная длина ( $X'_0$ ) в ориентированных кристаллах не является постоянной величиной, а уменьшается с увеличением энергии электронов и зависит от типа кристалла (потенциала оси или плоскости). Это обусловлено резким ростом сечений электромагнитных процессов: излучения электронов и образования  $e^+e^-$ -пар фотонами в рассматриваемом интервале энергий <sup>1,2</sup>. Экспериментальные работы 3–8 показали, что в ориентированных кристаллах кремния, германия и вольфрама выход числа заряженных частиц и энерговыделение в детекторе за кристаллом в зависимости от толщины кристалла возрастают в 2–5 раз по сравнению с выходом из разориентированных кристаллов. В данном сообщении рассматривается возможность применения ориентированных кристаллов для разделения адронов и электронов высокой энергии, основанная на учете особенностей развития электромагнитных ливней в ориентированных кристаллах. Для разориентированного кристалла вольфрама отношение длины ядерного взаимодействия ( $\lambda = 7,8$  см) к длине элек-

ромагнитного взаимодействия ( $X_0 = 0,35 \text{ см}$ ) при ГэВ-ных энергиях частиц практически постоянно и составляет  $\eta = 7,8/0,35 = 22,3$ . В ориентированном кристалле радиационная длина уменьшается (на 1–2 порядка в зависимости от энергии электронов и типа кристалла), что приводит к соответственному увеличению  $\eta$ <sup>9</sup>. Это обстоятельство допускает возможность существенного улучшения разделения стрелов  $\gamma$  электронов.



Амплитудные спектры со сцинтилляционного счетчика: *а* — кристаллы разориентированы ( $\theta \geq 30$  мрад); *б* — кристаллы ориентированы ( $\theta = 0$  мрад). Число событий в каждом канале спектров нормировано на полное число событий (толщины кристаллов вольфрама показаны над спектрами)

На установке "Каскад" ускорителя ИФВЭ были проведены исследования развития электромагнитных ливней в ориентированных кристаллах вольфрама<sup>10</sup>. Кристаллы помещались в гониометр, который был способен вводить и выводить кристалл из пучка и имел шаг вращения 17 и 48 мкрад по горизонтальной и вертикальной осям соответственно. За кристаллом помещался

сцинтилляционный счетчик толщиной 2 см, предназначенный для регистрации множественности числа заряженных частиц в ливнях, выходявших из разориентированных и ориентированных кристаллов. Сигнал со счетчика подавался на амплитудный анализ и по величине сигнала определялось среднее число заряженных частиц в ливне. Счетчик предварительно был откалиброван на пучке электронов без мишени. В эксперименте использовались кристаллы вольфрама толщиной 2,7; 5,8 и 8,4 мм при температуре 293 К, ориентированные вдоль оси  $\langle 111 \rangle$ . Мозаичность всех кристаллов составляла 1 мрад.

На рис. а, б показаны амплитудные спектры, полученные со сцинтилляционного счетчика в случаях разориентированных (а) и ориентированных (б) кристаллов. Из рисунков видно, что при ориентации кристаллов множественность заряженных частиц возрастает более чем в 2 раза. Этот эффект дает возможность выделять электроны в заданном направлении (в данном случае вдоль оси  $\langle 111 \rangle$ ) относительно других направлений. Риджекция (R) определена как отношение эффективности регистрации сцинтилляционным счетчиком электронов, прошедших разориентированный кристалл ( $\theta \geq 30$  мрад), к эффективности регистрации этим же счетчиком электронов, прошедших ориентированный кристалл вдоль оси  $\langle 111 \rangle$  ( $\theta = 0$  мрад):  $R = \epsilon_p / \epsilon_0$ . Здесь  $\theta$  – угол между импульсом электрона и осью  $\langle 111 \rangle$ . Эффективности регистрации определены:  $\epsilon_p = \sum_{i=j}^m N_{i(p)} / \sum_{i=1}^m N_{i(p)}$  и  $\epsilon_0 = \sum_{i=j}^l N_{i(0)} / \sum_{i=1}^l N_{i(0)}$ . Здесь  $N_i$  – число

событий в i-ом канале амплитудного спектра,  $\sum_{i=1}^m N_{i(p)}$ ,  $\sum_{i=1}^l N_{i(0)}$  – полное число событий в амплитудных спектрах при соответственно разориентированном и ориентированном кристалле; m и l – число каналов, занимаемых спектрами. В амплитудном спектре при разориентированном кристалле определялось среднее значение канала  $\langle i \rangle = \sum_{i=1}^m i \cdot N_{i(p)} / \sum_{i=1}^m N_{i(p)}$  и ошибка среднего  $\sigma_{\langle i \rangle}$ .

Пороговый канал j отличался от среднего на число стандартных отклонений:  $j = \langle i \rangle + n\sigma_{\langle i \rangle}$  (n = 1, 2, 3...). В таблице представлены риджекция и эффективность регистрации электронов в зависимости от j и толщины кристалла. Видно, что риджекция улучшается с увеличением толщины кристалла и при увеличении порогового канала j.

Уровни риджекции (R) и эффективности регистрации электронов ( $\epsilon_0$ ) сцинтилляционным счетчиком, стоящим за кристаллом вольфрама, в зависимости от толщины кристалла ( $t_w$ ).

$t - \bar{w}$ (мм)	2,7	5,8	8,4
$R(1\sigma_{\langle i \rangle})$	0,454±0,027	0,202±0,030	0,192±0,033
$\epsilon_0(\%)$	80,3±1,5	85,8±2,6	87,3±2,0
$R(2\sigma_{\langle i \rangle})$	0,267±0,021	0,033±0,023	0,036±0,022
$\epsilon_0(\%)$	69,3±1,4	67,2±2,2	75,3±1,8
$R(3\sigma_{\langle i \rangle})$	0,144±0,016	0,004±0,014	0,001±0,013
$\epsilon_0(\%)$	56,2±1,2	36,4±1,4	46,5 ± 1,3
$R(4\sigma_{\langle i \rangle})$	0,072±0,012		
$\epsilon_0(\%)$	42,9±1,0		
$R(5\sigma_{\langle i \rangle})$	0,041±0,009		
$\epsilon_0(\%)$	31,0±0,8		

При толщине кристалла вольфрама 2,7 мм и импульсе электронов 26 ГэВ/с радиационная длина ориентированного кристалла, измеренная по выходу среднего числа заряженных частиц из кристалла с помощью сцинтилляционного счетчика, составляет  $0,18 \pm 0,01$  см ( $\eta = 43,3$ ) и эффективная толщина кристалла достигает  $5,2 \pm 0,3$  мм. Эффективность регистрации электронов в этом случае по сравнению с разориентированным кристаллом возросла в  $1/R$  раз без изменения толщины кристалла. Можно определить уровень разделения адронов и электронов или адрон-электронную риджекцию, как отношение  $R_h = \epsilon_h / \epsilon_e$  ( $\epsilon_h, \epsilon_e$  – соответственно эффективность регистрации адронов и электронов). Тогда, если существует источник адронов с примесью электронов, эффективность регистрации электронов детектором, перед которым расположен кристалл, сориентированный на источник, увеличивается, а эффективность регистрации адронов остается практически постоянной. Следует подчеркнуть, что указанный метод разделения будет наиболее эффективно работать при энергии частиц в сотни и более ГэВ на создаваемых сейчас ускорителях LHC, SSC, ВЛЭПП и так далее.

Авторы благодарны Е.И.Тамму и С.И.Никольскому за поддержку работы; А.А.Садовскому за помощь в работе.

- 
1. В.Н.Байер, В.М.Катков, В.М.Страховенко, Электромагнитные процессы при высокой энергии в ориентированных монокристаллах. Новосибирск: Наука, 1989.
  2. А.И.Ахиезер, Н.Ф.Шульга, ЖЭТФ **85**, 94 (1983).
  3. K.Elsener, S.P.Moller, J.V.B.Petersen, and E.Uggerhoj. Phys. Lett. B **212**, 537 (1988).
  4. В.А.Басков, В.Б.Ганенко, В.А.Гущин и др., Письма в ЖЭТФ **50**, 395 (1989).
  5. K.Elsener, M.Hage-Ali, K.Maier, et al., Phys. Lett. B **227**, 483 (1989).
  6. В.А.Басков, В.Б.Ганенко, В.А.Гущин и др., Письма в ЖЭТФ, **52**, 740 (1990).
  7. В.А.Басков, В.Б.Ганенко, Б.Б.Говорков и др., Письма в ЖЭТФ, **52**, 1082 (1990).
  8. K.Elsener, M.Hage-Ali, K.Maier, et al., Phys. Lett. B **242**, 517, (1990).
  9. В.А.Басков, Б.Б.Говорков, В.В.Ким и др., Крат. сообщ. по физике 1992, в печати.
  10. В.А.Басков, В.В.Ким, И.В.Коноров и др., ПТЭ **5**, 58 (1990).