

## ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 28 ГэВ В ТОЛСТОМ КРИСТАЛЛЕ ВОЛЬФРАМА

*В.Н.Байер*<sup>1)</sup>, *В.А.Басков*, *В.Б.Ганенко*<sup>2)</sup>, *Б.Б.Говорков*,  
*В.Н.Запольский*<sup>3)</sup>, *В.М.Катков*<sup>1)</sup>, *В.А.Ким*, *Л.Я.Колесников*<sup>2)</sup>,  
*Б.И.Лучков*<sup>4)</sup>, *В.А.Маишеев*<sup>4)</sup>, *А.Л.Рубашкин*<sup>2)</sup>, *В.И.Сергиенко*,  
*П.В.Сорокин*<sup>2)</sup>, *В.М.Страховенко*<sup>1)</sup>, *В.Ю.Тугаенко*<sup>4)</sup>, *В.А.Хабло*,  
*Ю.В.Чернов*, *В.И.Юматов*

Измерена зависимость радиационных потерь электронов от угла между осью пучка и осью  $\langle 111 \rangle$  в монокристалле вольфрама толщиной 1 мм при комнатной температуре.

Представленные результаты измерения излучения электронов в вольфраме выполнены в рамках программы исследования квантовых электродинамических процессов в сильных полях ориентированных кристаллов<sup>1)</sup>. Измерения проведены на экспериментальной установке "Каскад"<sup>2)</sup> Серпуховского ускорителя. Электронный пучок с импульсом  $28 \pm \pm 1$  ГэВ/с, интенсивностью  $10^4 e^-$ /цикл и расходимостью по основанию не более  $\pm 1$  мрад направлялся на кристалл, укрепленный в гониометре. Гониометр имел две оси вращения с шагом 17 и 48 мкрад. Пучковые пропорциональные камеры определяли трек каждого электрона с точностью не ниже 0,1 мрад. В кристалле электроны испускали тормозные  $\gamma$ -кванты и отклонялись полем магнита, расположенного за гониометром.  $\gamma$ -кванты по гелийпроводу попадали в черенковский спектрометр полного поглощения, который определял их энергию. Излучение регистрировалось в телесном угле  $1,3 \cdot 10^{-4}$  ср.

В качестве мишени использовался монокристалл вольфрама при комнатной температуре, у которого ось  $\langle 111 \rangle$ , обладающая наибольшим потенциалом, расположена под небольшим углом к нормали поверхности кристалла. Предварительная ориентация оси  $\langle 111 \rangle$  на ось пучка была выполнена на линейном ускорителе в Харьковском физико-техническом институте. Угол между осью  $\langle 111 \rangle$  и нормалью к поверхности кристалла определялся по отраженному лазерному лучу. На установке "Каскад"<sup>3)</sup> кристалл с помощью лазера был приблизительно сориентирован осью на пучок. Дальнейшая точная ориентация осуществлялась по спектру тормозного излучения, регистрируемого спектрометром.

1) Институт ядерной физики СО АН СССР, г. Новосибирск.

2) Физико-технический институт, г. Харьков.

3) Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

4) Инженерно-физический институт, г. Москва.

Если угол между осью  $\langle 111 \rangle$  и импульсом электрона  $\theta \ll \theta_v = v_0/m$  ( $m$  — масса электрона, для вольфрама  $v_0(\langle 111 \rangle) = 420$  эВ), то свойства излучения, носящего магнитотормозной характер, определяются параметром  $\chi_s = v_0 \epsilon / a_s m^3$  ( $\epsilon$  — энергия электрона,  $a_s$  — радиус экранирования)<sup>3,4</sup>. При  $\epsilon = 28$  ГэВ  $\chi_s \approx 0,8$  и излучение является существенно квантовым. Ранее измерялось излучение электронов, движущихся вблизи оси  $\langle 110 \rangle$  в Ge ( $\epsilon = 150$  ГэВ<sup>5</sup>) и Ge и Si ( $\epsilon = 170$  ГэВ<sup>6</sup>), причем значения параметра  $\chi_s$  были соответственно  $\chi_s \approx 0,8$  и  $\chi_s \approx 0,9$  (Ge) и  $\chi_s \approx 0,5$  (Si). Таким образом, использование вольфрама позволяет исследовать квантовые свойства излучения при существенно меньших энергиях.

На рис. 1 представлены спектры излучения электронов в вольфраме: а) кристалл разориентирован (электроны проходят вдали от осей или плоскостей); б) кристалл соринти-

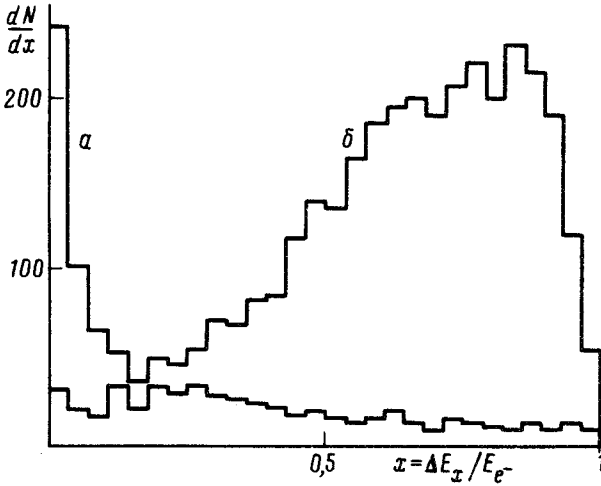


Рис. 1. Спектры излучения электронов: а — кристалл разориентирован; б — кристалл соринтирован осью  $\langle 111 \rangle$  на пучок

рован на ось  $\langle 111 \rangle$ . Спектр в разориентированном кристалле аналогичен спектру излучения в толстой аморфной мишени. Среднее значение энергии  $\gamma$ -квантов в спектре  $\langle \Delta E_\gamma \rangle = 7,7 \pm 0,1$  ГэВ. Вклад фоновых радиационных потерь электронов в веществе до кристалла составляет  $\langle \Delta E_{\gamma\phi} \rangle = 1,3 \pm 0,1$  ГэВ. Спектр излучения электронов, прошедших кристалл в сильном поле, имеет существенно иную форму. Практически все электроны потеряли часть энергии. Среднее значение энергии в спектре  $\langle \Delta E_\gamma \rangle = 18,9 \pm 0,2$  ГэВ.

Ориентационная зависимость излучения с вычетом фона представлена на рис. 2. Расходимость пучка по основанию для каждой точки  $|\theta| < 0,3$  мрад, ошибки статистические. Движение от оси  $\langle 111 \rangle$  по углу  $\theta$  осуществлялось в направлении, перпендикулярном к плоскости  $(\bar{1}10)$ . Спектр включает в себя три области: область сильного поля, где основной вклад дает магнитотормозной механизм излучения; промежуточную область ( $\theta \sim \theta_v$ ) и область когерентного излучения ( $\theta \gg \theta_v$ )<sup>3,4</sup>. Кривые на рис. 2 рассчитаны для трех случаев: 1 — ориентационная зависимость излучения для идеальных условий (идеальный кристалл вольфрама, излучение полностью регистрируется спектрометром); 2 — то же, что и кривая 1, но учтено поглощение фотонов в кристалле; 3 — ориентационная зависимость излучения для условий эксперимента, учтено поглощение фотонов, многократное рассеяние, несовершенство кристалла и расходимость пучка. Таким образом, измеренная величина потерь энергии с точностью не хуже 10% согласуется с предсказаниями теории во всем интервале изученных углов  $\theta$ .

Радиационная длина аморфного вольфрама равна 3,5 мм и практически постоянна для электронов высокой энергии. Радиационная длина кристалла вольфрама зависит от ряда факторов и может быть существенно меньше. В представленной работе радиационная дли-

на кристалла вольфрама для электронов с импульсом 28 ГэВ/с, движущихся в сильном поле вдоль оси  $\langle 111 \rangle$ , с учетом поглощения (см. отличие кривых 1 и 2 на рис. 2) составила  $0,36 \pm 0,05$  мм. С ростом энергии радиационная длина должна уменьшаться вплоть до ее минимального значения  $L_{ch} \approx 0,30$  мм при  $\epsilon \sim 200$  ГэВ<sup>4</sup>. Уменьшение радиационной длины наблюдается также в работах<sup>5, 6</sup>.

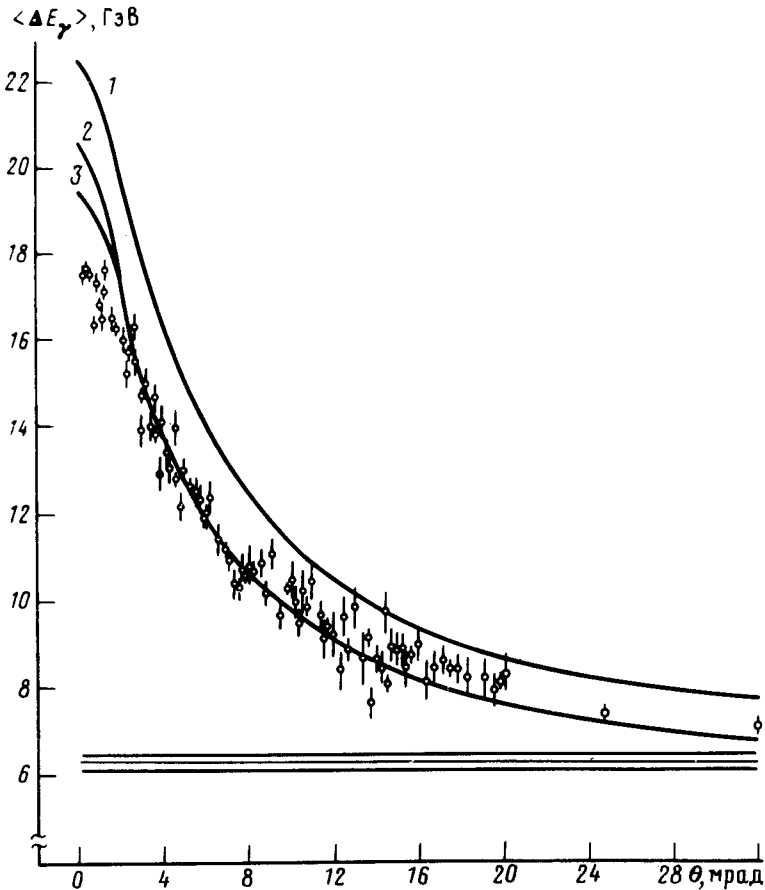


Рис. 2. Ориентационная зависимость излучения электронов.  $\theta$  – угол между осью  $\langle 111 \rangle$  и импульсом электронов, сплошная линия – излучение в разориентированном кристалле

В заключение авторы хотели бы поблагодарить Е.И.Тамма, С.И.Никольского, В.Г.Шевченко, В.А.Любимова за помощь в создании экспериментальной установки и поддержку работы, В.А.Гущина и Ю.И.Жебровского за помощь в эксперименте.

#### Литература

1. Байер В.Н., Басков В.А., Ганенко В.Б. и др. Препринт ФИАН, №204, Москва, 1988.
2. Басков В.А., Ким В.В., Сергиенко В.И. и др. Препринт ФИАН, № 50, Москва, 1988.
3. Вазер Г.Н., Катков В.М., Страхovenko В.М. Phys. Lett. A, 1986, 117, 251.
4. Байер В.Н., Катков В.М., Страхovenko В.М. ЖЭТФ, 1987, 92, 1228.
5. Вейксет А. et al. Phys. Lett. B, 1986, 177, 211.
6. Вак J.F. et al. Phys. Lett. B, 1988, 213, 242.