

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ КАНАЛИРОВАННЫХ ПОЗИТРОНОВ

И.И.Мирошниченко, Д.Д.Мёрри¹⁾, Р.О.Авакян,
Т.Х.Фигут

Впервые измерены энергетические спектры электромагнитного излучения при взаимодействии позитронов высоких энергий с кристаллами в условиях планарного и аксиального каналирования. Обнаружен новый физический эффект — радиация релятивистских каналированных позитронов — теоретически предсказанный советским физиком М.А.Кумаховым.

Недавно в ряде теоретических работ [1 — 4] было показано, что при каналировании релятивистских частиц возникает мощное спонтанное излучение γ -квантов. Спектральная плотность этого излучения в области максимума значительно превосходит плотность тормозного из-

¹⁾ Стэнфордский центр линейных ускорителей, Стэнфорд, Калифорния, 94305, США.

лучения. Эта особенность, а также высокая степень монохроматичности и поляризации этого излучения могут открыть неожиданные возможности его практического использования. Имевшиеся попытки [5, 6] экспериментального обнаружения спонтанной радиации не дали однозначного результата.

В настоящей работе впервые измерены энергетические спектры электромагнитного излучения при прохождении каналированных позитронов высоких энергий через монокристаллы алмаза. Эксперимент выполнен в ноябре — декабре 1978 г. на пучке позитронов линейного ускорителя СЛАК (США) при энергиях 4, 6, 10, 14 ГэВ.

В эксперименте использовались кристаллы алмаза толщиной $0,7 \cdot 10^{-3} X$ и $5,2 \cdot 10^{-3} X$ (X — радиационная длина).

Система формирования позитронов обеспечивала угловую расходимость пучка $\lesssim 10^{-5}$ рад. Фотоны, излучаемые при прохождении позитронов через кристалл, регистрировались спектрометром γ -квантов полного поглощения, выполненным на основе кристалла NaI(Tl) толщиной $20X$. Соответствующая система сцинтилляционных детекторов, а также техника совпадений-антисовпадений использовалась для отбора полезных и фоновых событий и обеспечивала управление *gvt* — многоканальным анализатором, служившим для записи спектров γ -квантов, регистрируемых счетчиком NaI(Tl). Запись информации и оперативная обработка данных осуществлялась с помощью микрокомпьютера LSI — II. Измерения выполнены при средней интенсивности позитронного пучка не более 1 позитрона в импульсе ускорителя.

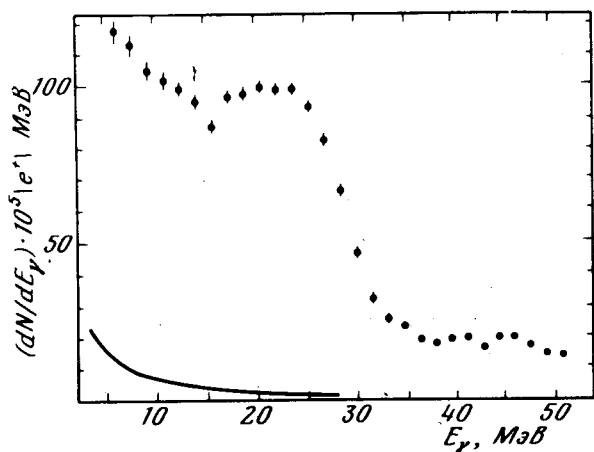


Рис. 1. Спектр излучения при планарном каналировании позитронов с энергией 4 ГэВ. Сплошная линия — спектр излучения для аморфной мишени

В эксперименте использовалось гониометрическое устройство, вертикальная ось вращения которого была перпендикулярна плоскости 011 кристалла; плоскость 100 располагалась перпендикулярно позитронному пучку. Ориентация кристалла алмаза основывалась на известных эффектах когерентного тормозного излучения электронов в кристаллических мишенях [7]. Точность ориентации кристалла $1,15 \cdot 10^{-5}$ рад. Были выполнены калибровочные измерения спектров тормозного излучения с аморфной мишени (эквивалент алмаза) и когерентного тормозного

излучения для кристалла алмаза. Абсолютные значения сечений обычного и когерентного тормозного излучения согласуются с теоретическими. На рис. 1 в качестве примера приведены спектры излучений при планарном каналировании позитронов с энергией 4 ГэВ. На рисунке видно, что в области низких энергий наблюдается существенное увеличение числа фотонов в сравнении с обычным тормозным излучением, причем степень превышения над аморфным уровнем возрастает с увеличением энергии и достигает нескольких сотен раз. Укажем, что полное число фотонов в спектре излучения позитронов с энергией 10 ГэВ при прохождении через кристалл толщиной $5,2 \cdot 10^{-3} X_0$, приблизительно, равно числу позитронов.

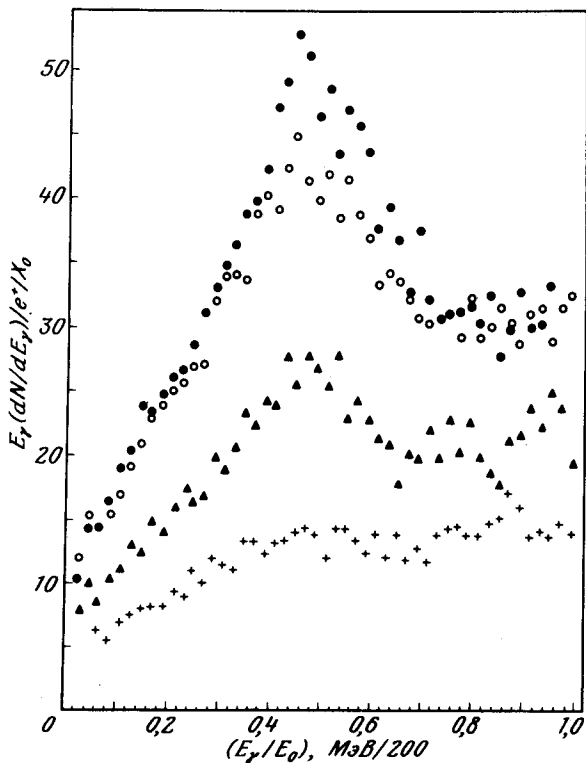


Рис. 2. Спектры излучения при планарном каналировании позитронов с энергией 10 ГэВ в зависимости от угла θ между плоскостью кристалла и импульсом позитрона: ● — $\theta = 0$ рад; ○ — $\theta = 4,6 \cdot 10^{-5}$ рад; ▲ — $\theta = 9,2 \cdot 10^{-5}$ рад; + — $\theta = 11,5 \cdot 10^{-5}$ рад

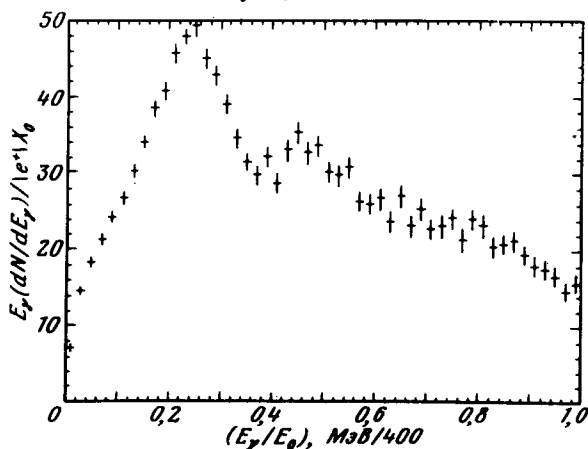


Рис. 3. Спектр излучения при планарном каналировании позитронов с энергией 10 ГэВ

Нами выполнены измерения спектров излучения в зависимости от углов ориентации плоскости кристалла относительно импульса по-

зитрона. Результаты этих измерений для энергии позитронов 10 ГэВ приведены на рис. 2 в виде зависимостей $E_\gamma (dN/dE_\gamma)$ от энергии фотонов для различных углов ориентации. Наблюдается отчетливо выраженный пик, интенсивность которого оказывается весьма чувствительной к углу ориентации плоскости кристалла относительно импульса позитрона. Интенсивность этого пика максимальна при положении кристалла, соответствующего планарному каналированию позитронов, и уменьшается при увеличении угла. Когда угол становится больше критического, интенсивность этого пика равна нулю. Таким образом, это излучение однозначно связано с процессом каналирования и может быть интерпретировано как новый физический эффект — радиация релятивистских каналированных позитронов, теоретически предсказанный советским физиком М.А.Кумаховым.

Экспериментально измеренная максимальная энергия излучения хорошо согласуется с теоретически предсказываемым значением, а энергетическое поведение удовлетворительно воспроизводится зависимостью $E^{3/2}$ (см. таблицу).

Энергия позитронов	Максимальная энергия излучения
4 ГэВ	23 МэВ
6 ГэВ	42 МэВ
10 ГэВ	90 МэВ
14 ГэВ	120 МэВ

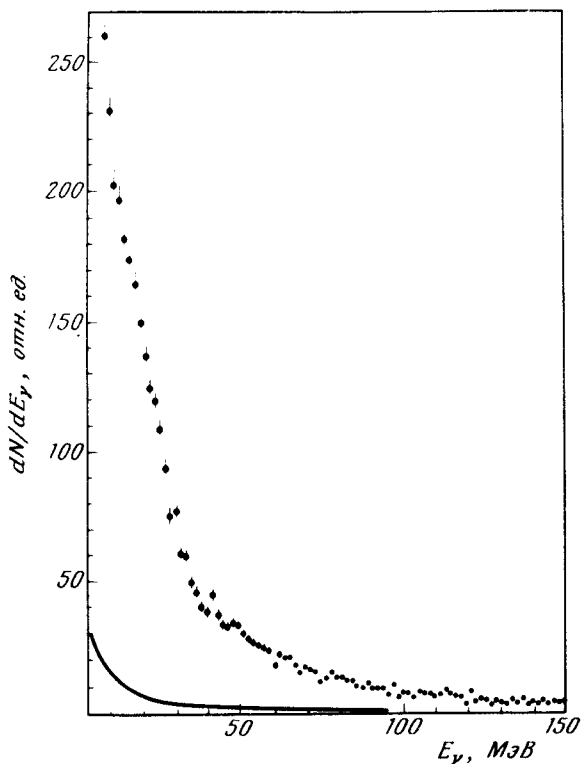


Рис. 4. Спектр излучения при аксиальном каналировании позитронов с энергией 4 ГэВ; E_γ — энергия фотонов; E_0 — энергия позитронов

Форма спектрального распределения радиации также хорошо воспроизводит теоретически предсказываемую.

Таким образом, экспериментально обнаружено новое физическое явление, — радиация релятивистских каналированных позитронов. Укажем на одну особенность измеренных спектральных распределений, представленную на рис. 3, где показан спектр излучения $E_\gamma(dN/dE_\gamma)$ для планарного каналирования позитронов с энергией 10 ГэВ в кристалле толщиной $0,7 \cdot 10^{-3}$ X. Наряду с основным пиком спонтанной радиации, положение которого хорошо согласуется с теоретически рассчитываемым в дипольном приближении, наблюдается второй, менее интенсивный максимум при более высокой энергии. В связи с этим представляет интерес рассмотреть возможность интерпретации этого явления в рамках теории, учитывающей переходы более высокого порядка.

Спектры излучения при аксиальном каналировании позитронов качественно отличны от таковых при планарном каналировании (см. рис.4). В спектре излучений нет явно выраженных пиков, характерных для случая планарного каналирования. Интенсивность фотонов в несколько раз превышает соответствующую интенсивность в спектрах планарного каналирования.

Авторы выражают благодарность академикам Е.П.Велихову, М.А.Маркову, проф. В.Пановскому, Д.Балламу, Р.Тэйлору, Л.Келлеру, И.В.Чувилу, А.Ц.Аматуни, Е.В.Инопину, П.В.Сорокину за поддержку настоящей работы, Д.Вольцу за техническое содействие.

Поступила в редакцию
9 апреля 1979 г.

Литература

- [1] М.А.Кумахов. Phys. Lett., 57A, 17, 1976.
- [2] М.А.Кумахов. ДАН СССР, 230, 1077, 1976.
- [3] М.А.Кумахов. ЖЭТФ, 72, 1489, 1977.
- [4] А.И.Ахиезер, В.Ф.Болдышев, Н.Ф.Шульга. Препринт 77-38, ХФТИ, Харьков, 1977.
- [5] Б.И.Шраменко, В.И.Витько, И.А.Гришаев. Письма в ЖТФ, 4, 1423, 1978.
- [6] С.А.Воробьев, Б.Н.Калинин и др. Изв. высш. уч. зав., сер. Физика №11, 117, 1978.
- [7] D.Luckey, R.F.Scwitters. Nucl. Instrum. and Methods, 81, 164, 1970.