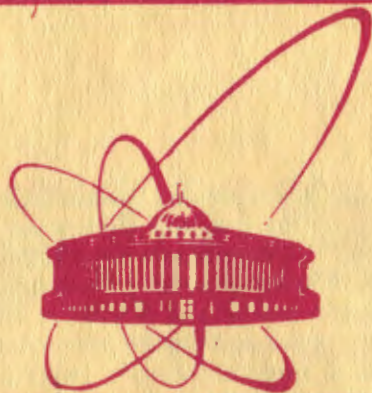


884/82

22/11-82



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

Д1-81-592

ИЗЛУЧЕНИЕ ПОЗИТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 10 ГэВ
В МОНОКРИСТАЛЛЕ КРЕМНИЯ
В ПРОЦЕССЕ КАНАЛИРОВАНИЯ

Направлено в "Письма в ЖЭТФ"

1981

Излучение, возникающее при каналировании электронов и позитронов и отличающееся от тормозного, когерентного тормозного и переходного излучений, было предсказано Кумаховым/1/ и экспериментально обнаружено в SLAC с участием специалистов из ЕрФИ и ХФТИ/2/ и другими группами/3-4/ с целью детального исследования излучения релятивистских частиц в кристаллах аппаратура, использованная в Дубне для демонстрации отклонения релятивистских протонов изогнутыми монокристаллами/5/, была перенесена на электрон-позитронный пучок ускорителя ИФВЭ /Серпухов/, существенно модифицирована, дополнена спектрометром для измерения энергии γ -квантов и спектрометром вторичных частиц для идентификации позитронов /электронов/ и измерения их энергии /рис. 1/.

Сцинтилляционные счетчики совпадений S1, S2, S3 и антисовпадений A1, A2, A3 вырабатывали сигнал запуска установки. Дрейфовые камеры DC1, DC3 и DC4, состоящие из 4 X и 4 Y плоскостей, а также DC2, состоящая из 2 X и 2 Y плоскостей, использовались для регистрации координат позитронов. Идентификация позитронов осуществлялась ливневым черенковским счетчиком из свинцового стекла, а их импульс после взаимодействия с кристаллом измерялся анализирующим магнитом M3 с точностью $\sim 1,5\%$. Энергия фотонов, испущенных в кристалле, измерялась γ -спектрометром на основе сцинтиллирующего кристалла CsI(Tl) диаметром 150 мм и длиной 230 мм, окруженным свинцовой защитой и антисовпадательными счетчиками A4-A12. Сцинтилляционные счетчики A4 и A12 использовались также для выработки мюонного запуска, при помощи которого по ионизационным потерям π^0 -мезонов производилась

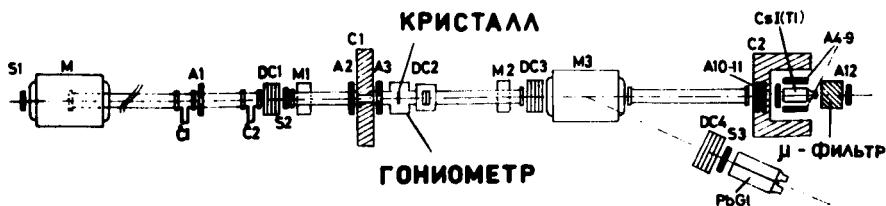


Рис. 1. Экспериментальная установка.

ОБЪЕДИНЕННАЯ
 ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
 БИБЛИОТЕКА

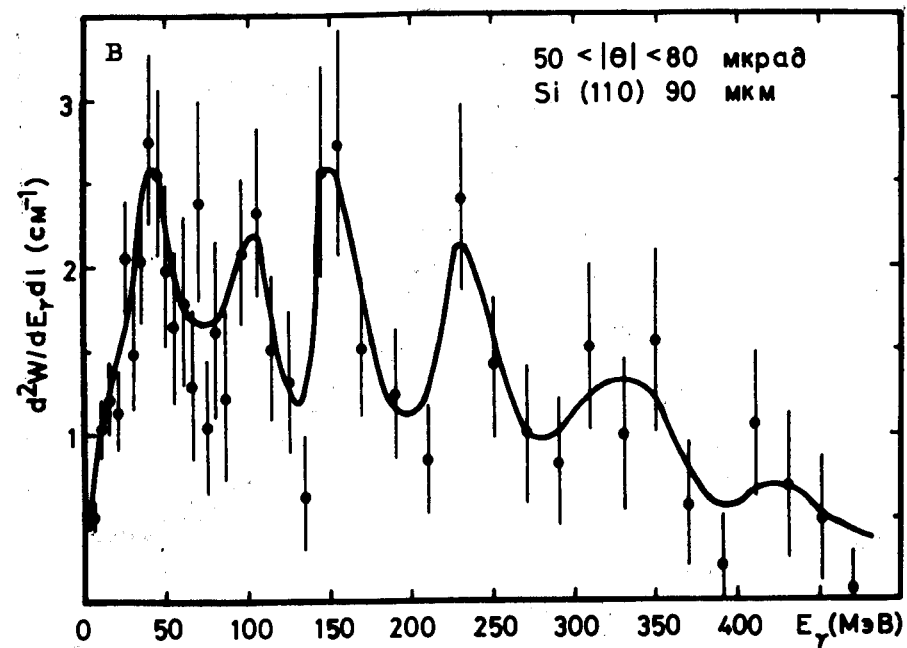
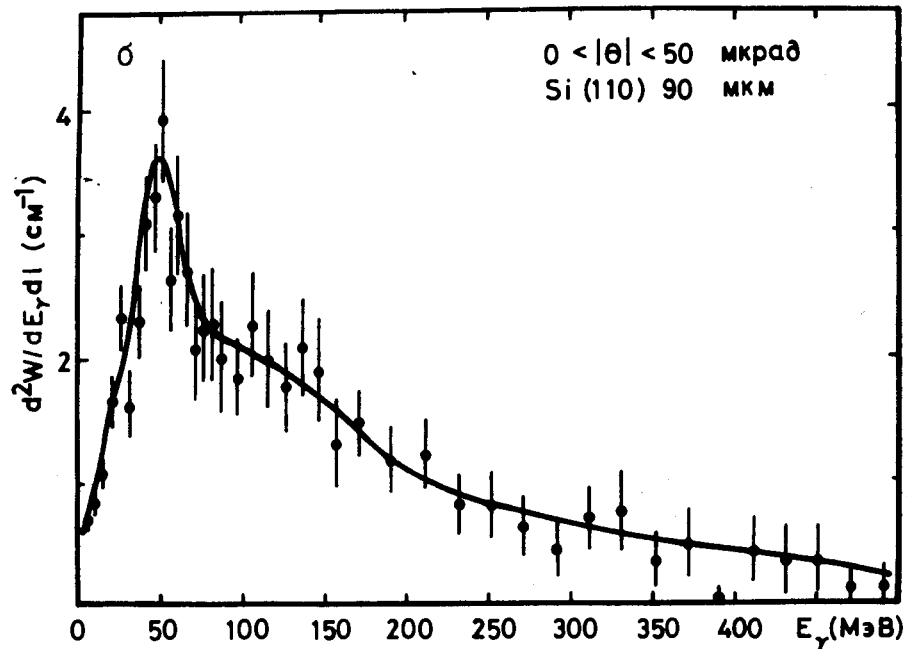
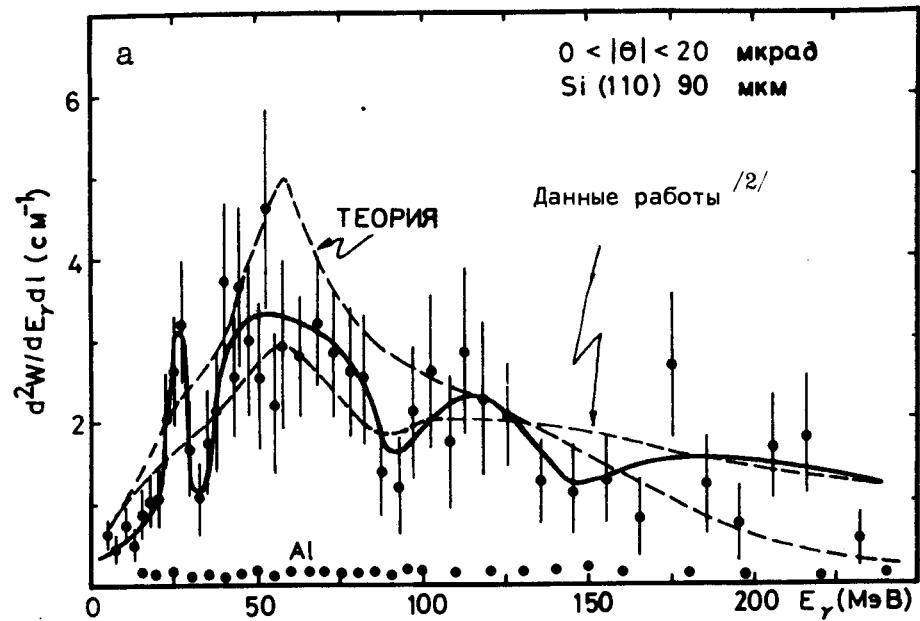


Рис. 2. Спектральная плотность излучения каналированных позитронов: а - с углами падения на кристалл от 0 до 20 мкрад; б - с углами падения внутри критического угла; в - с углами падения около критического угла /кривые проведены на глаз/.

непрерывная калибровка γ -спектрометра в процессе набора статистики /каждый десятый запуск установки/. Среднеквадратичная ошибка в измерении энергии γ -квантов, оцениваемая из данных калибровки с помощью радиоактивных источников ^{137}Cs , ^{60}Co , Po и Be , составляла 3% для области энергий около 1 МэВ.

Фотоны от распада π^0 -мезонов, выходящие из мишени внутреннего пучка ускорителя ИФВЭ, конвертировали e^+e^- пары в радиаторе, установленном вне камеры ускорителя. Позитроны /или электроны/ отклонялись магнитом в канал, их интенсивность составляла около 10^6 на 10^{12} протонов, падающих на внутреннюю мишень ускорителя, адронная компонента пучка не превышала 0,5%. Для уменьшения фонового тормозного излучения трасса

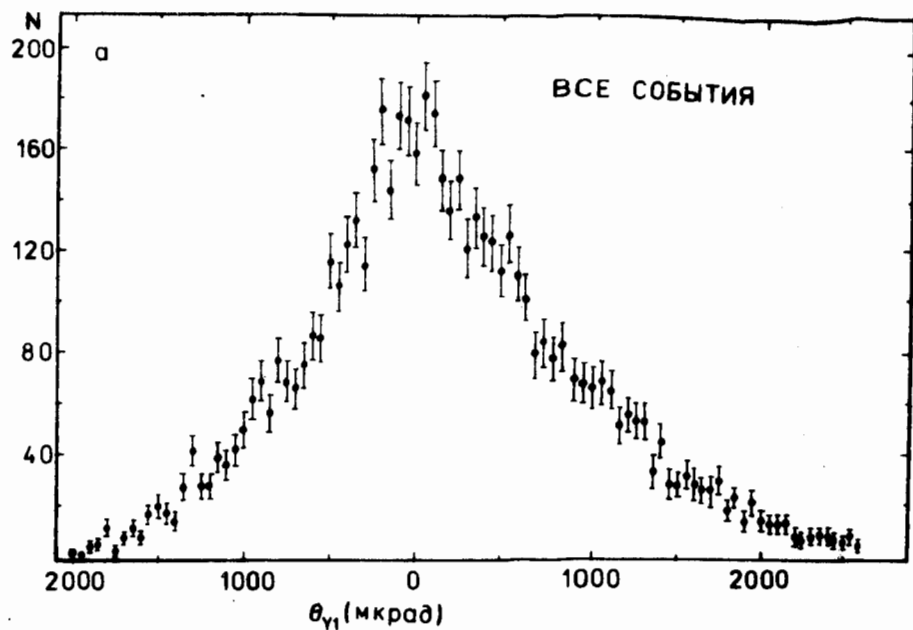
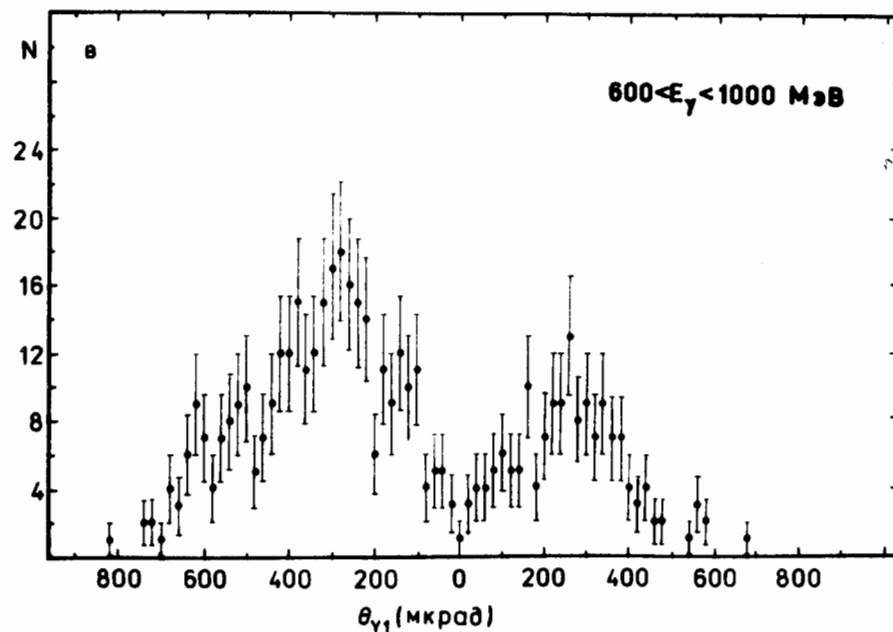
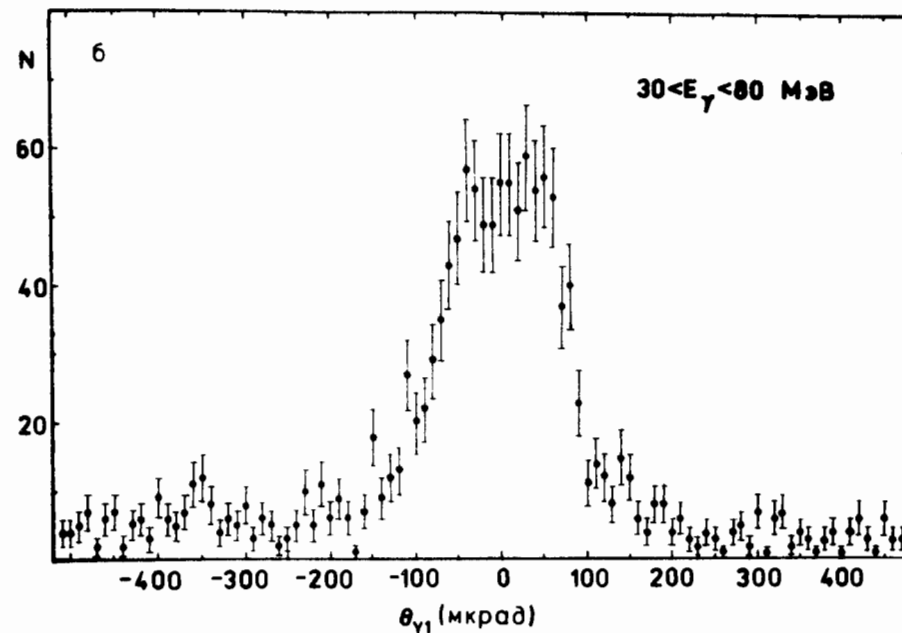


Рис.3. Угловое распределение падающих на кристалл позитронов: а - падающих в апертуру спектрометра; б - испускающих γ -кванты в области $30 < E_\gamma < 80$ МэВ; в - испускающих γ -кванты в области $600 < E_\gamma < 1000$ МэВ.

прохождения пучка вакуумировалась, минимизировалось вещество счетчиков и майларовых окон. С этой же целью использовались также отклоняющие магниты M1 и M2, расположенные так, что в апертуру γ -спектрометра попадали только те фотоны, которые были испущены в кристаллической мишени и во втором блоке дрейфовых камер. Блок DC2 работал при пониженном давлении /150 Торр/. Суммарное количество фонового вещества составляло всего 3×10^{-4} радиационной длины.

Кремниевый монокристалл, выполненный в виде диска диаметром 22 мм и толщиной 0,5 мм, с центральной частью, вытравленной до толщины 90 мкм, имел охранное кольцо из полупроводникового детектора, которое использовалось для центровки кристалла в пучке. Полированная передняя грань, перпендикулярная оси $\langle 111 \rangle$, использовалась для предварительной юстировки кристалла по отраженному лазерному лучу. Положение кристаллографических осей и их идентификация определялись по пикам в β_e -



роятности излучения γ -квантов при вращении кристалла в гониометре. Для проведения исследований плоскость /110/ устанавливалась горизонтально и параллельно направлению пучка, для исключения влияния осевого каналирования кристаллографическая ось $\langle 111 \rangle$ отворачивалась от оси пучка на $0,5^\circ$.

При обработке данных отбирались события, сопровождающиеся выделением в γ -спектрометре энергии больше 5 МэВ, вырабатывающие позитронный сигнал в черенковском счетчике из свинцового стекла и имеющие энергию позитронов больше 8 ГэВ. Для каждого полезного события определялись угол входа позитрона в кристалл /с точностью примерно 7 мкрад/, его угол выхода, вторичная энергия позитрона и энергия испущенного фотона. На рис.2а представлена спектральная плотность излучения для событий с углами падения меньше 20 мкрад относительно плоскости /110/. Для позитронов с энергией 10 ГэВ критический угол каналирования для этой плоскости равен примерно 65 мкрад. На этом рисунке показаны также теоретическое распределение, рассчитанное с учетом недипольности излучения, данные эксперимента /^{2/} для позитронов с энергией 10 ГэВ с учетом преобразования от алмаза к кремнию и измеренная спектральная плотность для алюминия, радиационная длина которого отличается от кремния примерно на 1%. Полученные данные хорошо согласуются с теоретическими представлениями. Излучение, обусловленное каналированием, примерно в 50 раз превосходит интенсивность тормозного излучения, имеет относительно узкий пик в области энергий γ -квантов около 50 МэВ, что соответствует предсказаниям Кумахова /^{1/}. Данные в области меньше 50 МэВ отличаются от теоретических представлений и от данных эксперимента /^{2/}. Виден узкий, статистически обеспеченный пик в области энергий 25 МэВ. Для ультрарелятивистских энергий генерируются высшие гармоники излучения, особенно для углов падения, близких к критическому /см. рис.2б и в/. События, показанные на рис.2б, лежат внутри критического угла, а на рис.2в - около критического угла; проявление периодичности, по-видимому, соответствует гармонической структуре спектров, предсказанной Кумаховым. Зависимость вероятности излучения от угла падения позитронов относительно плоскости /110/ может быть проиллюстрирована рис.3. На рис.3а представлено угловое распределение падающего позитронного пучка. На рис.3б показано такое же распределение для событий с испусканием γ -кванта в области $30 < E_\gamma < 80$ МэВ. Распределение имеет ширину, сравнимую с критическим углом каналирования, и является доказательством того, что события в пике спектральной плотности обусловлены позитронами, падающими на кристалл внутри критического угла каналирования. На рис.3в показано распределение событий с $600 < E_\gamma < 1000$ МэВ, далеко от области пика /см. рис.2а,б/. Видно,

что события скоррелированы с позитронами, падающими под углами намного больше критического и испускающими фотоны тормозного излучения.

Нам хотелось бы поблагодарить академика Н.Н.Боголюбова, профессора Л.Ледермана, академика А.А.Логунова, профессора А.М.Балдина за поддержку этого эксперимента, коллектив Лаборатории высоких энергий и персонал ускорителя ИФВЭ за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumakhov M.A. Phys.Lett., 1976, 57A, p.17; ЖЭТФ, 1977, 72, с.1480.
2. Мирошниченко И.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, с. 786.
3. Alguard M.J. et al. Phys.Rev.Lett., 1979, 42, p.1148; 1979, p.1723.
4. Andersen J.U., Laegsgaard E. Phys.Rev.Lett., 1980, 44, p.1079.
5. Elishev A.F. et al. Phys.Lett., 1979, 88B, p. 387; Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с. 448.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1981 года.