

3/1x-79

3443/2-79



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

B-624

Д1 - 12716

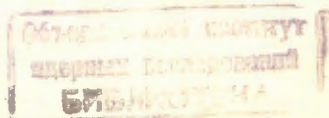
УПРАВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИЯМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
С ПОМОЩЬЮ ИЗОГНУТОГО МОНОКРИСТАЛЛА

1979

Д1 - 12716

УПРАВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИЯМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
С ПОМОЩЬЮ ИЗОГНУТОГО МОНОКРИСТАЛЛА

Направлено в "Письма в ЖЭТФ" и "Physics Letters"



Управление траекториями заряженных частиц
с помощью изогнутого монокристалла

Впервые экспериментально показано, что с помощью изогнутого монокристалла можно управлять траекториями заряженных частиц. Протоны с энергией 8 ГэВ, захваченные в процесс плоскостного каналирования изогнутым монокристаллом кремния, отклонялись на угол до 26,0 миллиардиан. Радиус траектории частицы составлял около 38 см, что соответствует среднему значению поперечного электрического поля, воздействующего на частицу, около $0,5 \cdot 10^{10}$ В/см. Это эквивалентно магнитному полю с индукцией около 72,0 Т.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Steering of the Charged Particle Trajectories
by a Bent Crystal

The first experimental evidence has been obtained for steering the charged particle trajectories by a bent silicon crystal. In the process of planar channeling, the 8 GeV proton beam has been deflected up to 26 mrad relative to the incident beam direction. This corresponds to the bending radius of a range of 38 cm. The effective transversal component of the electrical field is equal to 270 MV/cm.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В работе ^{/1/} предсказывалось, что деформированные монокристаллы можно использовать для управления траекториями заряженных частиц, захваченных в процесс каналирования. Критический радиус кривизны траектории частиц, при котором еще возможно их удержание изогнутой кристаллографической плоскостью, определяется выражением:

$$R = M v^2 / E_c Z e.$$

Здесь M - релятивистская масса частицы, v - ее скорость, Ze - заряд частицы, E_c - значение усредненного электрического поля на таком расстоянии от плоскости кристаллической решетки, на котором движение частицы в режиме каналирования становится неустойчивым из-за взаимодействия с одиночными атомами. В случае кремния для протонов с энергией 8 ГэВ величина E_c равна $0,5 \cdot 10^{10}$ В/см, а критический радиус - 2 см.

Целью настоящего эксперимента являлась проверка этой гипотезы. Эксперимент выполнен в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ на выведенном из синхрофазотрона протонном пучке. Пучок с энергией 8 ГэВ имел угловую расходимость $+0,3$ мрад, его поперечный размер в месте расположения кристалла составлял около 2 см. Исследования проводились при интенсивности пучка 10^5 частиц за цикл ускорителя, время растяжки было равно 0,3-0,4 с.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Траектории частиц, проходящих через кристалл, определялись с помощью спектрометра из 20 дрейфовых камер. Общая длина установки равнялась 18 м. Установка работала на линии с ЭВМ. На магнитную ленту записывалось до 500 событий за цикл ускорителя. Спектрометр запускался системой сцинтилляционных счетчиков, которая выделяла частицы, попадающие в рабочую зону монокристалла. Для ориентации кристалла служил прецизионный гониометр с ценой деления одного отсчета $0,001^\circ$. Пучок протонов проходил через монокристалл кремния длиной 20 мм, часть которого могла подвергаться контролируемому изгибу. Изгибалась плоскость (III) монокристалла, длина изгибаемой части составляла 10 мм. Схема размещения кристалла в изгибающем устройстве показана на рис. 2. Входная часть монокристалла представляла собой полупровод-

никовый детектор. На рис. 3 приведены амплитудные спектры сигналов от частиц, проходящих через детектируемую часть кристалла для разориентированного кристалла и ориентированного плоскостью (III) вдоль пучка частиц. Видно, что по величине ионизационных потерь можно выделить частицы, захваченные в процесс каналирования.

Измерения проводились при углах изгиба кристалла в вертикальной плоскости 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,5; 12,5; 26,0 мрад. Найдено, что каналирующая часть пучка следует за изгибом кристаллографической плоскости (III). При этом для всех углов не наблюдалось заметного увеличения числа деканалирующих частиц, связанного с изгибом кристалла. На рис. 4 приведено угловое распределение для частиц, выходящих из кристалла, при угле изгиба 4,5 мрад. Справа от широкого пика, обусловленного частицами, испытывающими многократное рассеяние в образце, наблюдается узкий пик, связанный с исследуемым эффектом. На рис. 5 приведено угловое распределение событий, отобранных по критериям выделения каналирующих частиц. Для этого распределения выделялись события, у которых амплитуда сигнала соответствовала диапазону 0,2-0,7 амплитуды в максимуме спектра. Кроме этого, требовалось, чтобы частица в горизонтальной плоскости не испытывала рассеяния на угол больше $\pm 0,1$ мрад. Рис. 5 подтверждает, что правый пик соответствует каналирующим частицам. На рис. 6 приведено угловое распределение с отбором событий по "жестким" критериям, исключающим каналирующие частицы. Из этого рисунка также следует, что правый пик обусловлен явлением отклонения каналирующих частиц изогнутым монокристаллом. На рис. 7 приведены распределения событий по углу выхода в вертикальной плоскости для различных углов изгиба кристалла. События отобраны по тем же критериям, что и для распределения, изображенного на рис. 5. Видно, что угловое положение пика каналирующих частиц соответствует углу изгиба кристалла. Для угла изгиба кристалла 26 мрад значение эффективного поперечного электрического поля, усредненного вдоль траектории частицы, составляет 270 МВ/см.

Таким образом, впервые экспериментально показано, что с помощью изогнутого монокристалла можно управлять траекториями заряженных частиц. Это новое явление может найти применение в физике высоких энергий.

Авторы благодарны профессору Н.Н.Боголюбову, профессору Д.Д.Кишу, профессору А.М.Балдину, профессору Р.Вилсону и профессору Л.Ледерману за поддержку при проведении исследований.

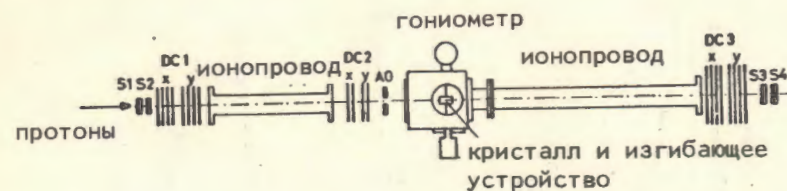


Рис.1. Схема экспериментальной установки: S1, S2, S3, S4, A0 - сцинтилляционные счетчики, DC1, DC2, DC3 - блоки дрейфовых камер.

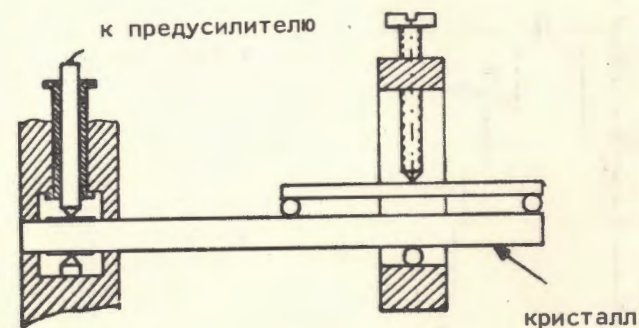


Рис.2. Схема размещения монокристалла кремния в изгибающем устройстве.

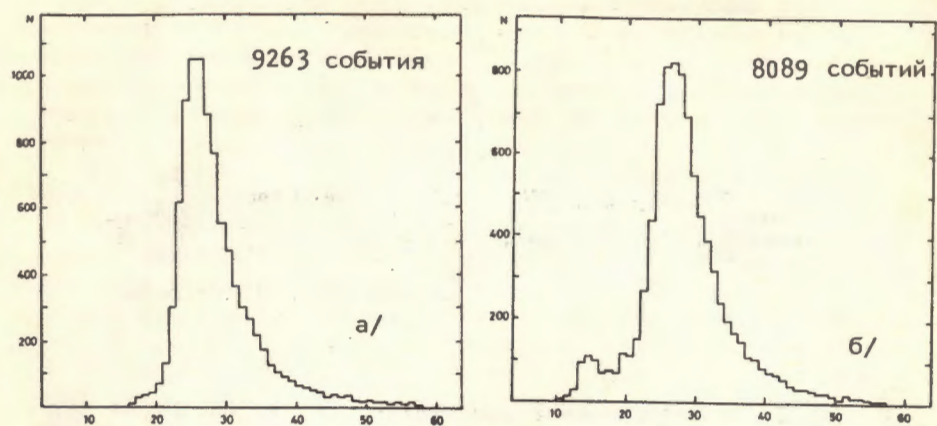


Рис.3. Амплитудные распределения ионизационных потерь в полупроводниковом детекторе: а/ разориентированный кристалл, б/ кристалл ориентирован плоскостью (III) по пучку.

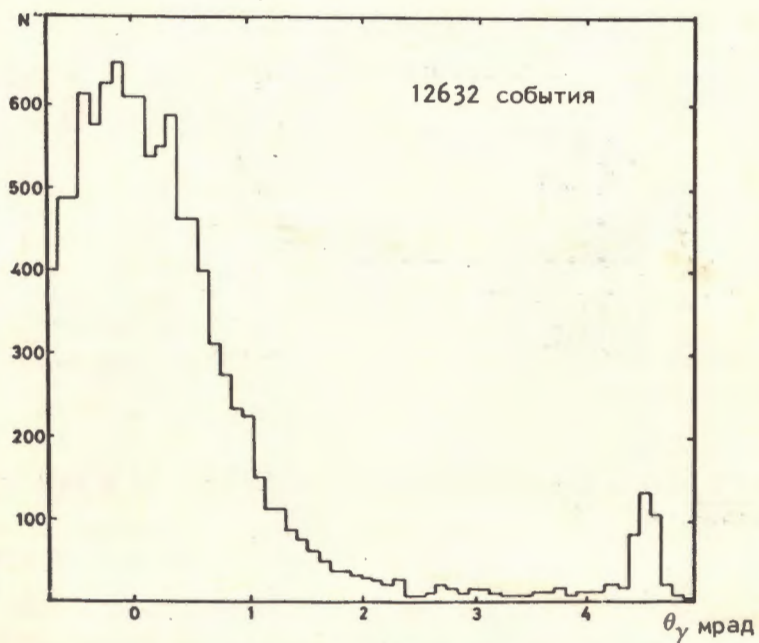


Рис.4. Распределение частиц, выходящих из кристалла, по углам в вертикальной плоскости. Угол изгиба - 4,5 мрад.

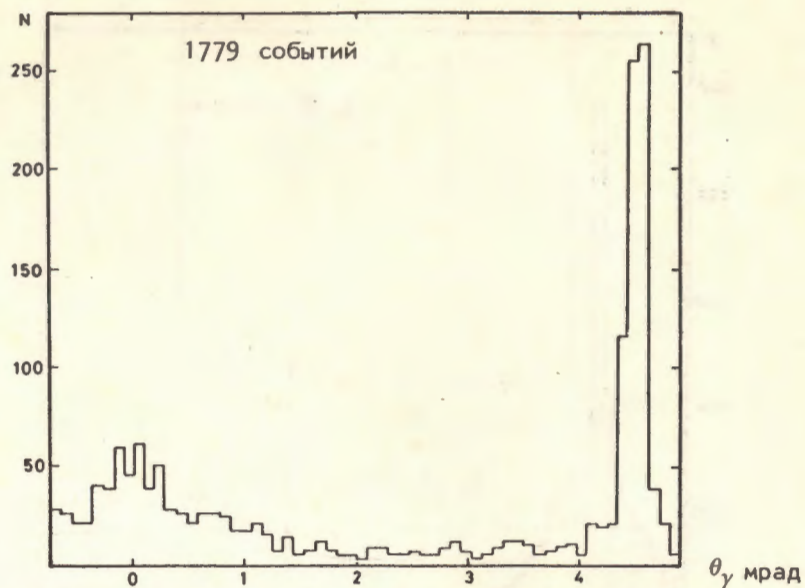


Рис.5. То же, что и на рис. 4, с дополнительным отбором событий по критериям каналирования.

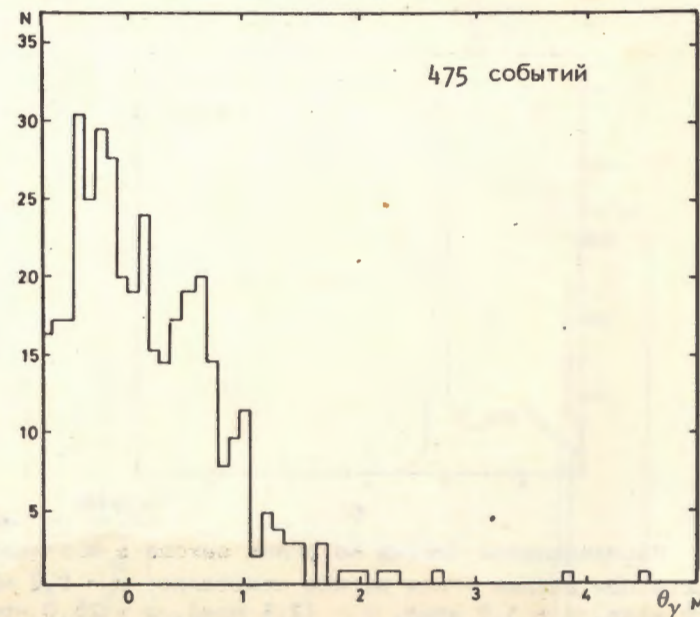


Рис.6. То же, что и на рис. 4, но с отбором событий только для неканализующих частиц.

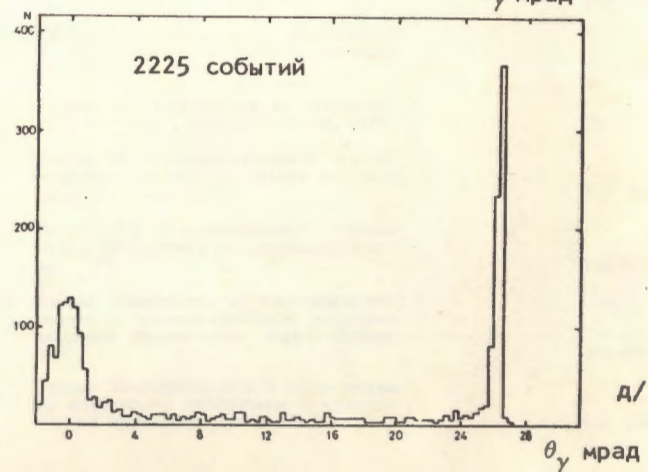
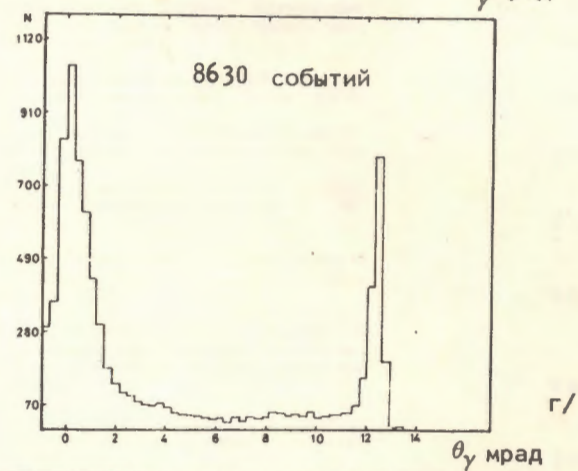
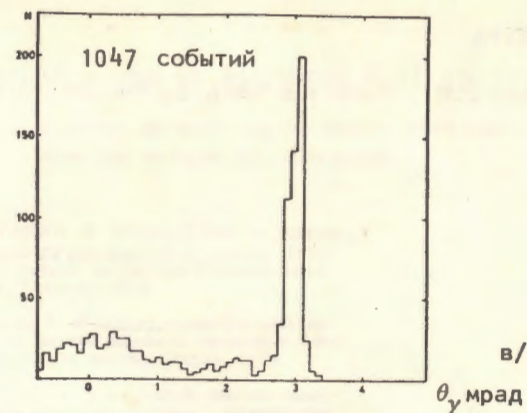
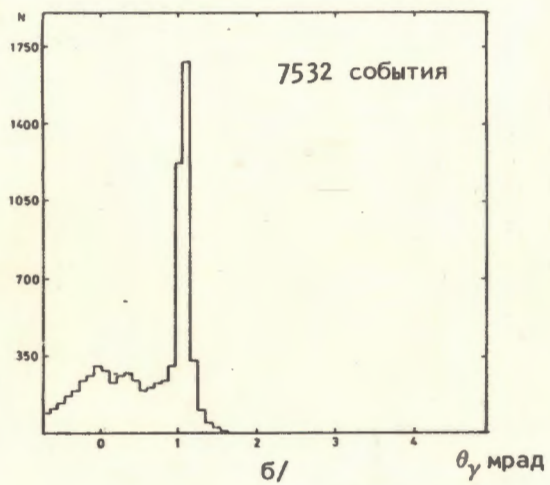
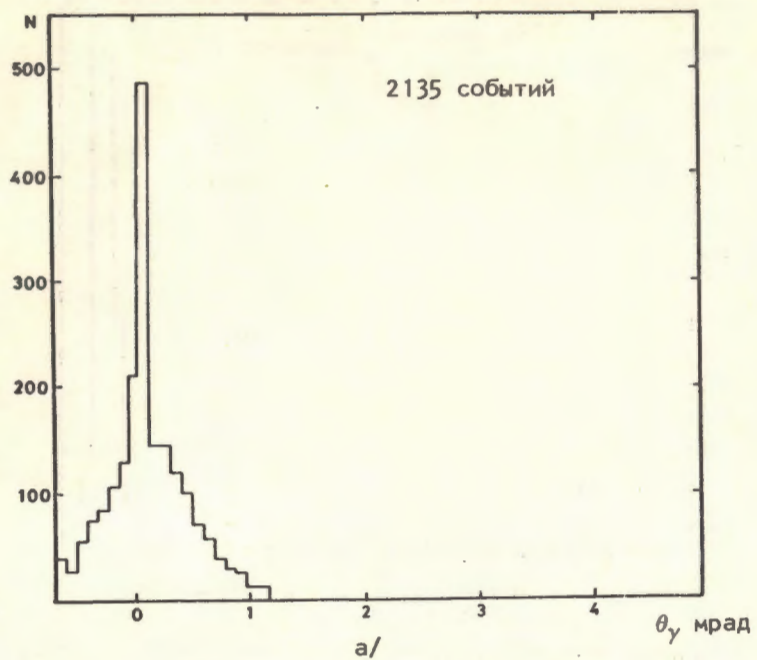


Рис.7. Распределение частиц по углам выхода в вертикальной плоскости при разных углах изгиба кристалла: а - 0,0 мрад, б - 1,0 мрад, в - 3,0 мрад, г - 12,5 мрад, д - 26,0 мрад. События отобраны по критериям каналирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsyganov E.N., Fermilab TM-682, TM-684, Batavia, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 августа 1979 года.