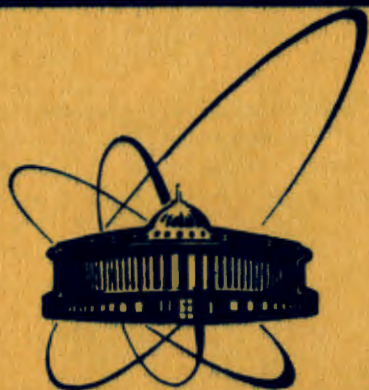


9/1-84



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

249/84

1-83-725

ИССЛЕДОВАНИЕ
УСТОЙЧИВОСТИ ТРАЕКТОРИЙ
КАНАЛИРОВАННЫХ ПРОТОНОВ
В ИЗОГНУТЫХ КРИСТАЛЛАХ

1983

Н.К.Булгаков, А.С.Водопьянов, И.Войтковска, В.М.Головатюк,
З.Гузик, Н.И.Зимин, Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигманов, В.Д.Рябцов,
И.А.Тяпкин, Н.А.Филатова, А.Форычки, Э.Н.Цыганов, М.Д.Шафранов
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Р.Карриган /мл./, Т.Туиг
Национальная ускорительная лаборатория им. Э.Ферми,
Батавия, США

У.Гибсон, Ч.Сан, Ик-Джо Ким
Университет штата Нью-Йорк, Олбани, США

М.Д.Бавижев
Филиал Ставропольского политехнического института, Черкесск

Возможность отклонения траекторий заряженных частиц изогнутыми монокристаллами была впервые предсказана в работе/1/. В этой работе утверждалось, что траектории частиц, захваченных в режим каналирования, будут следовать за направлением изогнутых кристаллографических плоскостей вплоть до некоторого критического радиуса, и была дана оценка этого радиуса. С целью проверки этого предсказания в 1979 году на синхрофазотроне ОИЯИ был проведен эксперимент, в котором пучок протонов, попавших в режим каналирования, отклонялся на различные углы в диапазоне до $25,7$ мрад/2/. Результаты эксперимента/2/ были подтверждены в ЦЕРНе и ЛИЯФ/3,4/.

В данной работе представлены результаты более детальной обработки экспериментальных данных по отклонению траекторий протонов с энергией $8,4$ ГэВ/2/.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Положительно заряженные частицы, вошедшие в кристалл под углами относительно кристаллографических осей или плоскостей меньше некоторого критического, могут захватываться в режим устойчивого движения в нем, называемый каналированием. Критический угол характеризует предельную поперечную кинетическую энергию частицы и определяет условие ее захвата в процесс каналирования. Для протонов с энергией $8,4$ ГэВ, каналированных плоскостью /111/ в монокристалле кремния, критический угол составляет 60 мкрад. Это значение критического угла определяло в нашем эксперименте требование к точности измерения входных и выходных углов.

Экспериментальная установка, на которой изучались эффекты, связанные с прохождением протонов с энергией $8,4$ ГэВ через кристаллы, описана в работах/2,5/. Регистрация координат частиц производилась с помощью системы из 20 прецизионных дрейфовых камер, объединенных в три блока. Угловое разрешение установки для входных углов в основном определялось многократным рассеянием в блоке камер, установленном перед кристаллической мишенью. Точность измерения выходных углов составляла 10 мкрад и определялась главным образом координатной точностью дрейфовых камер и базой между ними, равной 11 м. Координатная точность /стандартное отклонение/ каждой плоскости дрейфовых камер была не хуже 100 мкм. Среднеквадратичное отклонение распределения углов рассеяния составляло около 80 мкрад для каждой проекции.

В эксперименте использовались монокристаллы кремния, вырезанные в виде прямоугольных параллелепипедов так, что плоскость /111/ была перпендикулярна передней грани образца. Длина кристаллов вдоль пучка составляла 20 мм. При отклонении пучка на различные углы использовались кристаллы с толщинами 1,8; 0,9; 0,5 мм. Образец изгибался при помощи трех стальных роликов. Передняя часть образца была выполнена в виде полупроводникового детектора с электродами размером $3 \times 8 \text{ мм}^2$, что позволяло измерять ионизационные потери частиц.

ВЫДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ, КАНАЛИРОВАННЫХ В ПРЯМЫХ И ИЗОГНУТЫХ КРИСТАЛЛАХ

Уменьшение ионизационных потерь при каналировании положительно заряженных частиц по сравнению с ионизационными потерями в разориентированном кристалле является одной из характерных черт этого эффекта. Это видно, в частности, из рис.1, где приведены амплитудные спектры сигналов от частиц, прошедших через детектирующую часть прямого кристалла. Пик в области малых амплитуд /50-250 каналы АЦП/ в спектре ионизационных потерь соответствует потерям каналированных частиц /рис.1б/, в то время как средние потери на ионизацию частицами, не попавшими в режим каналирования, соответствуют другому пику с максимумом около 300-го канала АЦП. (Таким образом, по величине ионизации можно выделить частицы, каналированные в передней части кристалла. Доля таких событий определяется как шириной углового распределения входного пучка, так и величиной критического угла каналирования. Ширина углового распределения входного пучка на полувысоте составляла около 600 мкрад. Несколько упрощенно можно считать, что частицы, падающие на кристалл под углами больше критического, не попадут в режим каналирования и взаимодействуют с кристаллом, как с аморфным телом.

Для протонов, прошедших разориентированный кристалл кремния длиной 2 см, среднеквадратичный угол многократного рассеяния составляет около 650 мкрад. Поэтому на фоне широкого углового распределения многократно рассеянных частиц, не попавших в режим каналирования, в распределении выходных углов виден узкий пик, обусловленный каналированными частицами /рис.2а/. Доля каналированных частиц в распределении по выходным углам существенно возрастает /рис.2б/ при выделении событий из пика в области малых ионизационных потерь /50-250 каналы АЦП/. После отбора по этому критерию уровень фона под пиком упал более чем в 10 раз, в то время как высота пика уменьшилась на 30-40%.

Потерю некоторой доли каналированных частиц при отборе по минимальной ионизации можно объяснить особенностью расположения плоскостей /111/. Как известно, эти плоскости отстоят друг от друга на расстояния 2,35 и 0,78 ангстрем. Частицы, которые

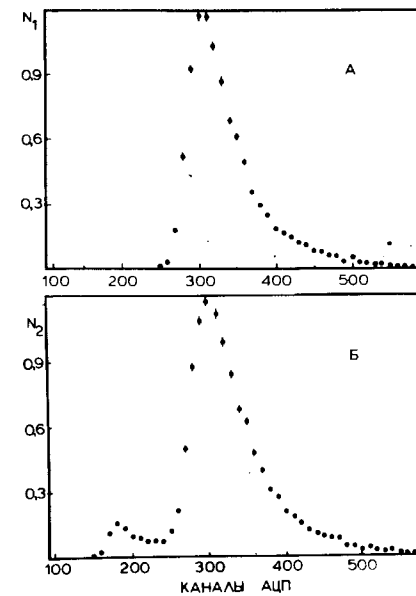


Рис.1. Спектры ионизационных потерь протонов в кристалле, нормированные на значение потерь в максимуме: а/ - разориентированный кристалл, б/ - кристалл ориентирован плоскостью /111/ вдоль оси пучка.

попали в режим каналирования в область с малым межплоскостным расстоянием, будут испытывать повышенные потери энергии на ионизацию из-за более высокой, чем даже в аморфном веществе, плотности электронов. На рис.3 показано распределение, полученное при вычитании спектра ионизационных потерь в разориентированном кристалле /рис.1а/ из аналогичного спектра для ориентированного образца /рис.1б/.

В полученном распределении кроме пика малых ионизационных потерь отчетливо виден пик в области больших ионизационных потерь. По-видимому, частично он обусловлен указанной выше причиной. Кроме того, при высоких энергиях есть заметная доля частиц, которые периодически пересекают кристаллографические плоскости под углами, близкими к критическому. Такие частицы, имея своеобразную траекторию, будут большую часть времени проводить в области повышенной электронной плотности и испытывать повышенные ионизационные потери. Дальнейшее обогащение выборки событий каналированными частицами можно осуществить, потребовав, чтобы они не рассеивались на угол больше заданного /100 мкрад/ в проекции на кристаллографическую плоскость /рис.2в/. В результате отбора по этому критерию, в дополнение к критерию по ионизации, величина фона под пиком каналированных частиц, обусловленная неканалированными частицами, уменьшилась еще в 3 раза. Из-за конечного разрешения установки по углу рассеяния этим же критерием было отброшено около 30% каналированных частиц.

Как сообщалось в работе /2/, отклонение производилось на углы 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,7; 12,0 и 25,7 мрад. Для частиц, каналированных в изогнутых кристаллах, справедливы все признаки, о которых упоминалось выше. При отклонении на углы больше 2,0 мрад выделение эффекта существенно облегчается, так как в распределении событий по выходным углам для частиц, прошедших монокристалл, пик каналированных частиц отделяется от пика многократного рассеяния /рис.4/. События, в которых частицы выбыли из режима каналирования в изогнутой части кристалла, находятся

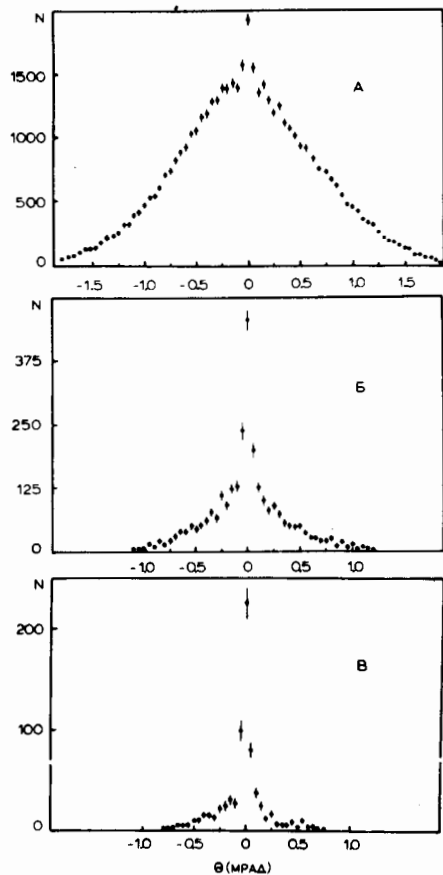


Рис.2. Распределения событий по выходным углам для протонов, прошедших ориентированный прямой кристалл, полученные а/ без отбора событий, б/ с отбором по минимальной ионизации, в/ с отбором по ионизации и углу рассеяния в горизонтальной плоскости.

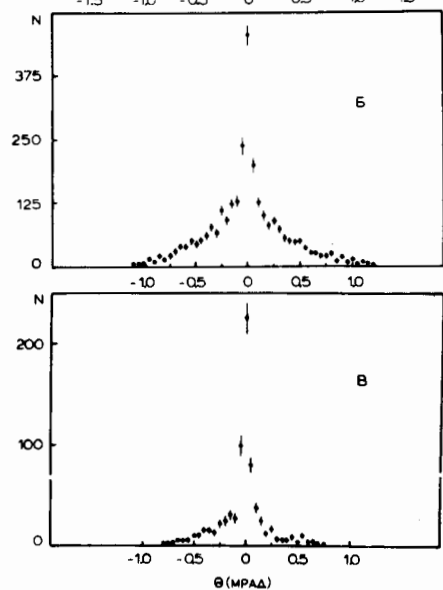
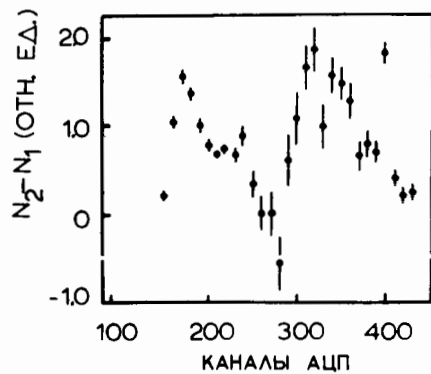


Рис.3. Результат вычитания спектра ионизационных потерь в разориентированном кристалле /рис.1а/ из аналогичного спектра для ориентированного кристалла /рис.1б/.



между пиком многократно рассеянных частиц /под нулевыми углами/ и отклоненным пиком каналированных частиц. Доля каналированных протонов в отклоненном пике составляет 2-3% от всех частиц, прошедших через кристалл, а при отборе по ионизации она возрастает до 20-30%.

ДЕКАНАЛИРОВАНИЕ В ИЗОГНУТЫХ КРИСТАЛЛАХ

Одной из важных характеристик эффекта каналирования с точки зрения возможных применений является длина деканалирования /расстояние, на котором число каналированных частиц уменьшается вдвое по сравнению с первоначальным/. Определение этой длины существенно облегчается в эксперименте с изогнутыми кристаллами. В этом случае удается пространственно разделить частицы, выбывшие из режима каналирования на разной глубине изогнутого кристалла. Данные по отклонению траекторий заряженных частиц на

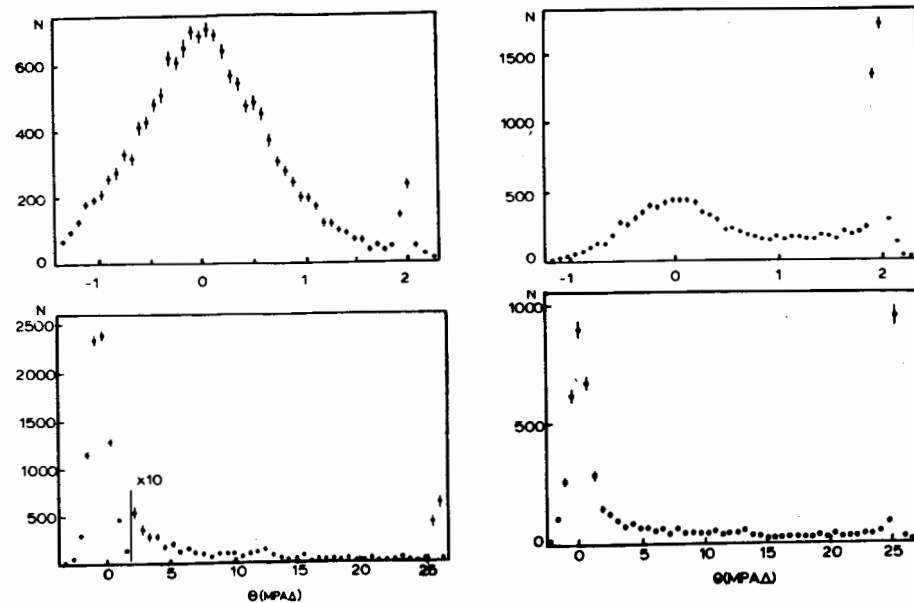


Рис.4. Распределения событий по выходным углам для частиц, прошедших изогнутый кристалл /угол отклонения 2,0 мрад, сверху, и 25,7 мрад, внизу/, полученные а/ без отбора событий, б/ с отбором по минимальной ионизации.

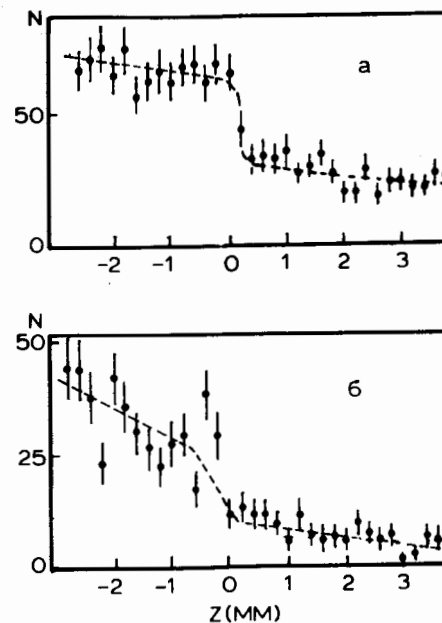


Рис.5. Распределения числа деканализированных частиц по глубине в изогнутой части кристалла для угла отклонения 25,7 мрад, полученные с отбором /а/ и без отбора /б/ по ионизации. Пунктирные кривые, изображенные на рисунках, проведены от руки.

различные углы позволяют также изучить зависимость длины деканалирования от радиуса кривизны кристалла. Заметим, что при использовании изгибающего устройства с тремя роликами уравнение упругой линии изогнутого кристалла описывается кривой третьего порядка/б/. При этом минимальный радиус изгиба получается меньше,

чем рассчитанный в предположении постоянной кривизны изогнутой части кристалла. Зная характер деформации кристалла, можно для каждого угла отклонения определить точку выхода частицы из режима каналирования.

Деканализованными считались такие события, в которых частицы отклонялись на угол θ_α в интервале $3\sigma_m < \theta_\alpha < \theta_c - 3\sigma_c$, где σ_m, σ_c - стандартное отклонение распределения многократно рассеянных и отклоненных на угол θ_c каналированных частиц соответственно. В частности, при отклонении на 25,7 мрад деканализованными считались частицы, попавшие в диапазон углов от 2,1 до 25,5 мрад. Для этого случая распределение числа частиц, выбывших из режима каналирования на данной глубине кристалла, полученное на основе распределения частиц по выходным углам, приведено на рис.5. Нулевая точка соответствует области минимального радиуса кривизны, отрицательная область - части изогнутого кристалла, где радиус кривизны уменьшается с ростом z .

Область длин изогнутой части от -3 до +4 мм соответствует отклонению на углы от 2,1 до 25,2 мрад. Видно, что в первой части изогнутого кристалла $-3 \text{ мм} < z < 0$ из режима каналирования выбыло значительно больше частиц, чем во второй $0 < z < 4 \text{ мм}$. Это подтверждается также табл.1, где приведены доли деканализованных частиц δ , определенные для случаев с отбором и без отбора по ионизации по формуле

$$\delta = \frac{F_2}{F_2 + F_3}$$

F_2 - число частиц, деканализованных на рассматриваемом участке, F_3 - число частиц, прошедших данную область в режиме каналирования.

Таблица 1

Доля частиц δ , деканализованных в изогнутом на 25,7 мрад кристалле кремния при отклонении плоскостью /111/

Диапазон радиусов /см/	Первая половина изогнутого кристалла		Вторая половина изогнутого кристалла	
	без отбора /%/	с отбором /%/	без отбора /%/	с отбором /%/
19,5-24,3	29,6+3,2	16,8+1,2	16,5+2,9	13,1+1,1
24,3-32,4	24,8+2,6	15,2+1,0	12,2+2,7	11,1+1,0
32,4-48,6	24,0+2,2	14,7+0,9	11,5+2,7	10,2+1,1
48,6-97,2	-	-	8,8+2,5	10,6+1,2

Интересно отметить, что доля деканализованных частиц при прохождении первой и второй частей изогнутого кристалла в пределах ошибок измерений не зависит от радиуса кривизны кристалла. Это объясняется тем, что доля частиц, деканализованных за счет увеличения кривизны кристалла, обратно пропорциональна радиусу кривизны/7,8/. В нашем случае, когда форма изогнутого кристалла описывается параболой, радиус кривизны в данной точке также обратно пропорционален расстоянию от этой точки до середины изогнутой части кристалла, и поэтому зависимость доли деканализованных частиц от глубины прохождения кристалла будет линейной. Для участков кристалла одинаковой длины это даст одинаковую долю частиц, выбывших за счет указанного механизма.

При отборе событий по минимальной ионизации разница в долях частиц, деканализованных в первой и второй частях изогнутого кристалла, заметно меньше. Причем в этом случае существенное уменьшение деканализованных наблюдается в первой половине изогнутого кристалла.

Существует два механизма, за счет которых частицы выбывают из режима каналирования в изогнутом кристалле. Первый представляет собой обычное деканализованное за счет рассеяния на электронах и тепловых колебаниях атомов решетки с учетом того, что положение равновесной траектории в изогнутом кристалле смещено. В результате этого смещения частица с определенной энергией подходит ближе к кристаллографическим плоскостям, где испытывает более сильное рассеяние по сравнению с частицей с такой же поперечной энергией в прямом кристалле. Вторым механизмом /назовем его центробежным/ имеет место при попадании частицы в изогнутую часть кристалла /или в область с меньшим радиусом кривизны/, где на нее действует модифицированный потенциал/7-9/:

$$U_{\text{мод}}(y) = U_{\text{пр}}(y) + \frac{P \cdot v}{R} y,$$

где $U_{\text{пр}}$ - потенциал прямой плоскости, P, v - импульс и скорость налетающей частицы, R - радиус изгиба кристаллографических плоскостей, y - координата частицы в плоскостном канале. Действие этого механизма заключается в том, что из-за уменьшения потенциальной ямы часть частиц с большой поперечной энергией при попадании в область действия модифицированного потенциала скачком /на длине одного колебания/ выбывает из режима каналирования.

В нашем случае из-за неоднородного изгиба влияние центробежного механизма деканализованного будет возрастать по мере продвижения частицы к середине изогнутой части кристалла. Такое деканализованное можно было бы определить в эксперименте с кристаллами, изогнутыми с постоянной кривизной. Из-за отсутствия таких данных мы попытались оценить долю частиц, выбывших из режима каналирования за счет центробежного механизма, косвенным путем.

С этой целью из доли частиц, деканализованных на рассматриваемом участке кристалла, вычиталась доля частиц, выбывших из

Таблица 2

Величины центробежного деканализирования

Область на кристалле/мм/ /см.рис.5/	Диапазон радиусов /см/	Доля частиц, выбывших за счет центробежного механизма /%/		
		без отбора	с отбором	теория/7/
0÷-1	19,5-24,3	13,1 \pm 4,3	3,7 \pm 1,6	3,0
-1÷-2	24,3-32,4	8,3 \pm 3,9	2,1 \pm 1,5	3,0
-2÷-3	32,4-48,6	7,5 \pm 3,6	1,6 \pm 1,4	3,0

Таблица 3

Длины деканализирования /в см/ для второй половины изогнутой части кристалла

Область на кристалле/мм/ /см.рис.5/ углы изгиба /мрад/	С отбором по ионизации			
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4
4,7	0,55 \pm 0,03	0,52 \pm 0,03	0,68 \pm 0,04	0,62 \pm 0,04
12,0	0,60 \pm 0,04	0,51 \pm 0,04	0,64 \pm 0,05	0,57 \pm 0,05
25,7	0,49 \pm 0,05	0,59 \pm 0,06	0,65 \pm 0,08	0,62 \pm 0,07
	Без отбора по ионизации			
4,7	0,42 \pm 0,04	0,46 \pm 0,05	0,59 \pm 0,07	0,62 \pm 0,08
12,0	0,45 \pm 0,06	0,41 \pm 0,05	0,70 \pm 0,12	0,51 \pm 0,08
25,7	0,39 \pm 0,08	0,53 \pm 0,13	0,57 \pm 0,15	0,75 \pm 0,24

каналирования на первом миллиметре после точки максимальной кривизны. В этой области центробежный механизм уже отсутствует, в то же время траектория частицы еще не смещена к стенке канала. Полученные таким образом оценки и соответствующие теоретические величины/7/ приведены в табл.2. Заметим, что для событий без отбора по минимальной ионизации экспериментальные оценки величины центробежного механизма заметно превосходят теоретические предсказания/7/, в то время как для событий, отобранных по минимальной ионизации, наблюдается неплохое совпадение этих величин. Теоретические оценки центробежного деканализирования определяются пространственным распределением частиц в канале, а также сильно зависят от выбора параметров модели, в частности минимального расстояния от плоскости, при котором частица удерживается в режиме каналирования/8/. Полученные экспериментальные данные можно использовать для дальнейшего усовершенствования теоретических предсказаний.

Уменьшение центробежного деканализирования для событий с минимальной ионизацией объясняется как обогащением нашей выборки частицами с меньшей поперечной энергией, так и отбором частиц, попавших в область с большим межплоскостным расстоянием. Как указывалось выше, частицы, попавшие в область с малым межплоскостным расстоянием, будут испытывать большие ионизационные потери и сильнее рассеиваться.

В табл.3 приведены значения длин деканализирования, определенные для четырех областей /длиной 1 мм каждая/ второй половины изогнутого кристалла. Длина деканализирования определялась из предположения, что число частиц в канале падает экспоненциально с глубиной прохождения кристалла, и вычислялась по следующей формуле:

$$x_{1/2} = \frac{t \cdot \ln 2}{\ln\left(\frac{F_2 + F_3}{F_3}\right)}$$

Здесь t - длина области, на которой определялось деканализирование, в нашем случае равная 1 мм. На основе данных по деканализированию в области больших радиусов кривизны кристалла можно сделать оценку длины деканализирования в прямом кристалле, которая составляет 0,59 \pm 0,06 см. Данное значение получено усреднением данных по деканализированию, приведенных в табл.3, в случае, когда отбора по ионизации нет, для двух последних областей кристалла.

ЗАХВАТ В РЕЖИМ КАНАЛИРОВАНИЯ
ВНУТРИ ОБЪЕМА ИЗОГНУТОГО КРИСТАЛЛА

В работе/4/ была высказана гипотеза о том, что внутри изогнутого кристалла возникают благоприятные условия захвата в режим каналирования в том случае, когда траектория частицы совпадает

с касательной к изогнутой части кристаллографической плоскости. В указанной работе приводятся экспериментальные факты в пользу существования такого эффекта. Этот эффект был назван авторами "объемным" захватом. Ниже приводятся результаты нашего эксперимента, которые также могут объясняться существованием "объемного" захвата. На рис.6а показана вероятность захвата в режим каналирования в зависимости от угла входа частицы в кристалл относительно плоскости /111/. Канализованные события отбирались по отклонению частиц в изогнутой части кристалла. Вследствие

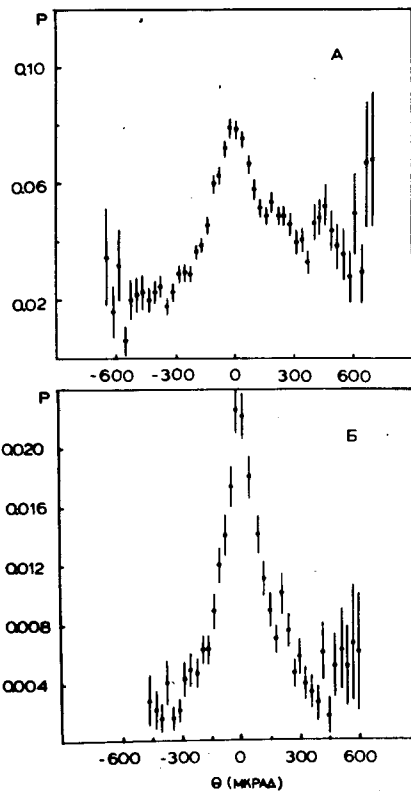


Рис.6. Вероятность захвата протонов в режим каналирования в зависимости от угла входа в кристалл в случаях а/ без отбора событий и б/ с отбором по углу рассеяния в горизонтальной плоскости.

малой статистики распределение было получено суммированием данных для углов отклонения на 3,0; 4,7; 12,0 и 25,7 мрад. Из рис.6а следует существование угловой асимметрии в захвате частиц в режим каналирования. Вероятность захвата частиц, падающих на кристалл под большими углами, возрастает в направлении, соответствующем изгибу кристаллов. Наблюдаемый эффект асимметрии "замаскирован" наличием многократного рассеяния в прямой части кристалла и конечным разрешением установки по углу входа. Аргументом в пользу того, что угловая асимметрия вероятности захвата частиц в режим каналирования вызвана "объемным" захватом, служит тот факт, что эффект существенно уменьшается, если отобрать события с малым углом рассеяния в горизонтальной проекции, совпадающей с плоскостью /111/. Такое распределение представлено на рис.6б. Ограничение по углу рассеяния в плоскости /111/ выделяет события, в которых частицы прошли весь кристалл в режиме каналирования. Существенное уменьшение при этом асимметрии захвата в каналирование подтверждает предположение, что она обусловлена частицами, не попавшими в режим каналирования при входе в кристалл. Сравнительно малая угловая расходимость входного пучка не позволила в нашем эксперименте исследовать возможность "объемного" захвата при еще больших углах входа.

Интересно отметить, что при наличии "объемного" захвата можно с помощью многократно изогнутого кристалла с высокой эффективностью захватывать в процесс каналирования пучки частиц высоких энергий с большой угловой расходимостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изгибающее устройство с тремя роликами обеспечивает изгиб кристалла, при котором его форма описывается кривой третьего

порядка. В этом случае минимальный радиус кривизны в два раза меньше значения, полученного в предположении о постоянном радиусе кривизны, что не было учтено в работе^{12/}.

Минимальный радиус поворота частиц, достигнутый в нашем эксперименте, составлял около 19 см, такой радиус может быть получен в результате применения магнитного поля с напряженностью около 150 Т.

При прохождении частиц через область кристалла, где радиус изгиба уменьшается /первая половина изогнутой его части/, для случая отклонения на 25,7 мрад наблюдается дополнительный "центробежный" механизм их выбывания из режима каналирования. Доля частиц, деканализованных с помощью "центробежного" механизма, существенно уменьшается при отборе частиц по величине минимальной ионизации в прямой части кристалла. Этот факт указывает на то, что частицы "помнят" о своей первоначальной поперечной энергии даже после прохождения 1 см кристалла в режиме каналирования.

Из анализа интенсивности выбывания частиц из режима каналирования во второй половине изогнутого кристалла при различных радиусах кривизны получена оценка длины деканализации протонов с энергией 8,4 ГэВ в прямом кристалле кремния, которая составляет $0,59 \pm 0,06$ см.

В работе получены экспериментальные данные, свидетельствующие в пользу существования "объемного" захвата в режим каналирования.

В заключение авторы выражают благодарность профессору А.М.Балдину за поддержку и интерес к работе, Л.Г.Макарову за помощь в организации и проведении эксперимента, группе И.М.Иванченко за создание системы он-лайн-программ. Авторы благодарны персоналу синхротрона ЛВЭ, а также коллективу, обслуживающему ЭВМ ЕС-1040 Лаборатории высоких энергий, за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsyganov E.N. Fermilab TM-684, Batavia, 1976.
2. Elishev A.F. et al. Phys.Lett., 1979, 88В, p.387.
3. Bak J. et al. Phys.Lett., 1980, 93В, p.505.
4. Андреев В.А. и др. Препринт ЛИЯФ, № 792, Л., 1982.
5. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, Р13-80-225, Дубна, 1980.
6. Зоммерфельд А. Механика деформируемых сред. ИЛ, М., 1954.
7. Kudo H. Nucl.Instr.Meth., 1981, vol.189, p.609.
8. Ellison J.A. Nucl.Phys., 1982, В206, p.205.
9. Каплин В.В., Воробьев С.А. Письма в ЖЭТФ, 1978, 4, с.196.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Булгаков Н.К. и др.
Исследование устойчивости траекторий каналированных протонов в изогнутых кристаллах

1-83-725

Кратко описаны основные параметры установки, на которой изучалась возможность отклонения траекторий заряженных частиц изогнутыми монокристаллами. Представлены распределения событий по выходным углам для протонов, прошедших через прямой и изогнутый монокристаллы, полученные при использовании разных критериев отбора. Приведено определенное на основе экспериментальных данных значение длины деканалирования протонов с энергией 8,4 ГэВ в кристалле кремния /плоскость 111/, которое составляет около 0,6 см. Показано, что при прохождении протонов через область кристалла, где радиус кривизны уменьшается /изгибающее устройство не обеспечивало постоянного радиуса кривизны/, имеется дополнительный механизм выбивания частиц из режима каналирования.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Bulgakov N.K. et al.
Investigation of Channeled Proton Trajectory Stability in Bent Crystals

1-83-725

A brief description of main characteristics of the spectrometer applied in an experiment on the study of deviation of channeled particles is given. Outgoing angle distribution for channeled particles passing through straight and bent crystals with different selection criteria are shown. The estimate of the channeled length for the straight silicon crystal (plane 111) is 0.6 cm. It is shown that at proton passing through a crystal region where the curvature radius decreases (the bending device did not provide a constant curvature radius), an additional dechanneling mechanism is present.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой