

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОКУСИРОВКИ ПУЧКА ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 70 ГэВ ИЗОГНУТЫМ МОНОКРИСТАЛЛОМ

М.А.Гордеева, М.П.Гурьев, А.С.Денисов, Ю.П.Платонов, В.В.Скоробогатов, А.И.Смирнов, О.Л.Федин, А.И.Щетковский, В.И.Баранов¹⁾, Н.А.Галаяев¹⁾, В.В.Дуденко¹⁾, В.Н.Запольский¹⁾, В.И.Котов¹⁾, С.В.Царик¹⁾, Ю.А.Чесноков¹⁾

*¹⁾Институт физики высоких энергий
142284, Протвино, Московская обл.
Ленинградский институт ядерной физики
188350, Гатчина, Ленинградская обл*

Поступила в редакцию 3 октября 1991 г.

Предложен и реализован способ фокусировки пучка изогнутым монокристаллом. Пучок протонов с энергией 70 ГэВ с помощью кристалла кремния шириной 2 мм был отклонен и сфокусирован в узкую линию шириной 200 мкм.

В настоящее время изогнутые монокристаллы широко используются для отклонения пучков частиц высоких энергий. Другим важным применением может быть фокусировка пучков. Известно несколько путей решения этой задачи. Одним из них является фокусировка пучка тонким изогнутым кристаллом, ориентированным поперек кристаллографических плоскостей¹. Заметим, что в этой работе, строго говоря, осуществляется не фокусировка параллельного пучка, а отбор частиц, траектории которых пересекаются на одной линии. Другой возможный подход связан с использованием эффекта деформации плоскостей в толстом кристалле при его сжатии. Недостатком указанных методов является наличие фона неканализованной фракции пучка. В настоящей работе реализован способ фокусировки параллельного пучка в линию, при котором пучок одновременно отклоняется на значительный угол, что позволяет получить чистые сфокусированные пучки.

Идея метода заключается в том, что поверхность выходного торца изогнутого кристалла имеет такую форму, чтобы касательные к кристаллографическим плоскостям на этой поверхности проходили через одну линию. В случае изгиба кристаллографических плоскостей по цилиндру с радиусом R (рис.1) необходимо, чтобы линия, на которой лежат центры кривизны

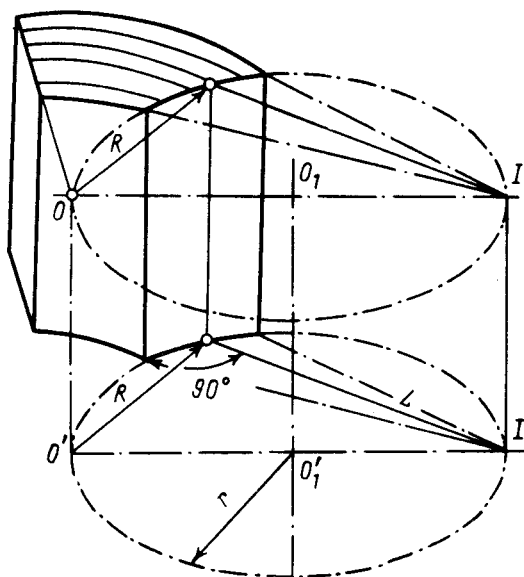


Рис. 1. Принцип фокусировки пучка кристаллом. OO' - линия, на которой лежат центры кривизны кристаллографических плоскостей. O_1O_1' - ось цилиндра радиуса r , по которому обрабатывается торец кристалла. II' - линия фокуса, в которой сходятся касательные к изогнутым плоскостям, согласно известной геометрической теореме

OO' , была расположена на поверхности цилиндра, по которому обработан торец кристалла. В случае идеального изгиба и обработки кристалла размер пучка в точке фокуса будет определяться произведением фокусного расстояния $L = \sqrt{4r^2 - R^2}$ на удвоенный критический угол каналирования ψ . Так как критический угол каналирования достаточно мал ($\psi = 0,02 \div 0,002$ мрад для частиц с энергией от 100 ГэВ до 10 ТэВ при плоскостном каналировании в кремнии), а технология изгиба и обработки кристалла позволяет получить фокусное расстояние ~ 1 м, достижимые размеры пучка составят несколько десятков микрон в гигаэлектронвольтовой и несколько микрон в тераэлектронвольтовой области энергий. Заметим, что коэффициент линейного увеличения при фокусировке $F = 2L\psi/H$, H - характерная ширина кристалла ~ 1 мм, может достигать, соответственно, величины несколько сотых и несколько тысячных долей.

Эксперимент по фокусировке выполнен на протонном пучке ускорителя ИФВЭ с энергией 70 ГэВ. В опыте использовался монокристалл кремния размерами $H \times V \times Z = 2 \times 15 \times 70$ мм (ширина, высота, длина по пучку) ориентации (111). Кристалл изгибался по цилиндру радиусом $R = 2,7$ м на длине 65 мм, а торец его обрабатывался по цилиндру радиусом $r = 2,2$ м, так что фокусное расстояние было $L = 3,5$ м. На кристалл направлялся пучок размером $\sigma_x = 2$ мм с малой угловой расходимостью $\sigma_\alpha = 0,1$ мрад. Интенсивность прямого и отклоненного исследуемым кристаллом на угол 24 мрад пучков измерялась сцинтилляционными счетчиками. При оптимальной ориентации кристалл отклонял 3% частиц прямого пучка (для указанных характеристик пучка и кристалла эта величина соответствует расчету). Эффект фокусировки был зарегистрирован с помощью ядерной фотоэмульсии. Несколько слоев эмульсии располагалось на различном расстоянии от выходного торца кристалла. Рис.2 иллюстрирует эффект фокусировки отклоненного пучка. На рис.3а показана огибающая пучка, построенная по результатам обработки экспонированных эмульсий на микрофотометре, в сравнении с расчетной. На рис.3б представлен измеренный профиль пучка в кроссовере. Его размер ($2\sigma_x = 200$ мкм) в пределах 15% совпадает с расчетным. Гало пучка может быть связано, прежде всего, с деформациями

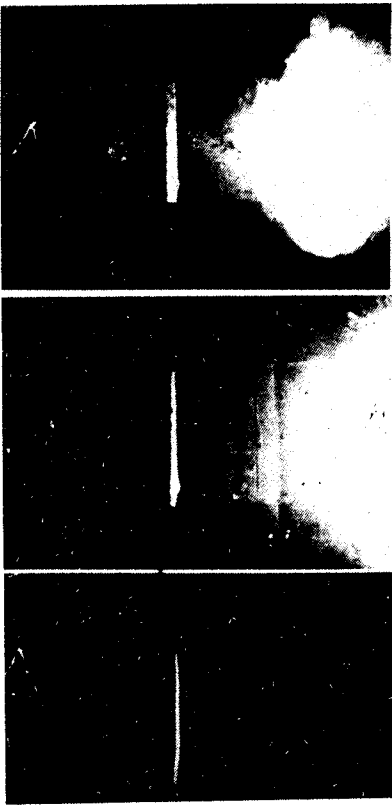


Рис. 2. Изображение отклоненного пучка на трех эмульсиях, расположенных на расстояниях 0,7; 2; 3,5 м от кристалла. (Справа виден неотклоненный пучок с ореолом вторичных частиц, а также шлейф деканализированных в изогнутой части кристалла частиц)

кристалла при изгибе и отклонением его формы от идеальной. Мы надеемся устранить этот дефект в последующих работах. Контрастность фокуса (отношение эффект к фону), согласно данным обработки эмульсий, составила 100.

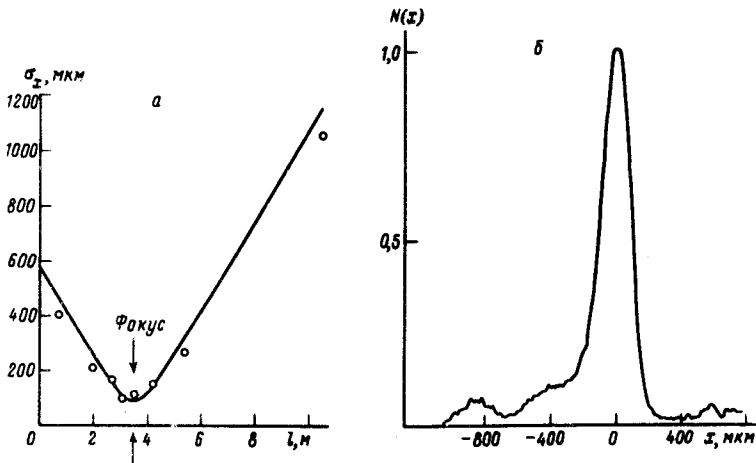


Рис. 3. а - Огибающая сфокусированного монокристаллом пучка. Точки - эксперимент, линия - расчет для идеальной фокусировки. б - Профиль пучка в кроссовере (3,5 м от кристалла). Разрешение микрофотометра 15 мкм

Реализованный способ фокусировки может быть предложен для получения чистых пучков микронного размера в тераэлектронвольтовой области энергий на ускорителях нового поколения. Для этого изображение отклоненного кристаллом пучка достаточно передать с помощью единичной оптики до экспериментальной установки.

Другое важное применение кристаллического фокусирующего устройства связано с обращенным направлением движения частиц (фокусировка из точки в параллель). Располагая фокусирующий кристалл в нескольких метрах от внутренней мишени ускорителя, выполненной в виде нити, можно сфокусировать и отклонить большую часть ($\sim 50\%$) вторичных частиц, генерируемых на этой мишени. По оценкам таким способом можно сформировать на строящихся ускорителях-коллайдерах пучки вторичных частиц интенсивностью $\sim 10^8$ частиц в секунду.