

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОКУСИРОВКА 1 ГэВ-ных ПРОТОНОВ ИЗОГНУТЫМ МОНОКРИСТАЛЛОМ

*В.А.Андреев, В.В.Баублис, Н.Ф.Бондарь, Г.Е.Гаврилов,
Б.Г.Комков, В.П.Коптев, А.Г.Крившич, Л.Е.Кудин,
А.М.Мартюшов, В.В.Марченко, В.Ф.Морозов, В.А.Мыльников,
В.В.Нелюбин, Е.М.Оришин, Г.А.Рябов, В.М.Самсонов,
Л.Э.Самсонов, Э.М.Спириденков, В.В.Сулимов, О.И.Сумбаев,
Е.Н.Фотиева, В.А.Щегельский*

Экспериментально показана способность изогнутого по цилиндру монокристалла выделять из широкого пучка частицы, приходящие в фокус кристалла. Ширина фокуса выделенных протонов с энергией 1 ГэВ, при радиусе изгиба кристалла кремния 2 метра, составила $FWHM_{ch} = 0,65$ мм. Ширина прямого пучка в области фокуса $FWHM_r = 15,4$ мм.

В наших предыдущих работах ^{1, 2} экспериментально показано, что изогнутый монокристалл обладает способностью эффективно захватывать частицы в режим каналирования в интервале углов много больших, чем угол Линдхарда. Частицы, захваченные в режим каналирования, на выходе из кристалла имеют более узкое угловое распределение, т. е. реализуется эффект фокусировки по углам ². Целью данной работы является исследование возможности реализации пространственной фокусировки пучка заряженных частиц с помощью изогнутого кристалла.

Эксперимент выполнен на синхротронном ЛИЯФ на протонном пучке с энергией 1 ГэВ. В опыте (см. рис. 1) использовался монокристалл кремния, изогнутый по цилиндру ($R = 2$ м), с кристаллографическими плоскостями (111), нормальными вогнутой (выпуклой) грани кристалла, являющийся одновременно поверхностно-барьерным детектором (ПД1, 2) ¹. На кристалл направлялся широкий (во весь кристалл) пучок с угловой расходимостью $\Delta\theta_{1/2} = 8$ мрад. Использование кристалла в качестве полупроводникового детектора позволяло выделять ("метить") каналирующие частицы по величине их аномально малых ионизационных потерь. Поскольку при изгибе по цилиндру кристаллографические плоскости, нормальные граням, разворачиваются веерообразно с центром на расстоянии радиуса изгиба кристалла (см. рис. 1, а), то каналирующие между ними частицы будут фокусироваться в точку 0. Возникает схема, подобная фокусирующему спектрометру по Кошуа, хорошо известному в рентгеновской или гамма-спектроскопии ³. Заметим, что благодаря примерному равенству соответствующих углов на фокальном круге (окружность с радиусом $R' = R/2$, проходящая через точку 0' и касающаяся изогнутого кристалла) фокусируются также продолжения косых (наклонных к большим граням) плоскостей и каналирующие вдоль них частицы. Ширина фокуса определяется угловой расходимостью $\delta\theta_1$ выходящих из каналов кристалла частиц.

Процесс измерения заключался в отборе из проходящего через кристалл пучка частиц с малыми ионизационными потерями (в интервале $0,3 \div 0,6$ от наиболее вероятного значения для хаотической фазы) и в наблюдении вида пространственного распределения этих частиц на пропорциональной камере (ПКЗ), помещенной в фокусе изогнутого кристалла. В результате такого отбора (см. рис. 2, кривая 1) получен максимум с шириной $0,65 \pm 0,05$ мм, что соответствует угловой расходимости, определяемой углом Линдхарда для данной кристалло-

¹) На кристалле реализованы два независимых детектора (ПД1, 2), расположенных на разных уровнях по высоте и имеющих $p-n$ -переход на противоположных гранях кристалла. Оба детектора дают взаимно дополняющую информацию, исключая возможные эффекты от приповерхностных областей ("мертвые" слои).

графической плоскости²⁾. Контрастность фокуса (соотношение эффект к фону) составляла ~ 34 .

Естественным следствием данного результата является также возможность исследовать с помощью аналогичного устройства, но с обратным направлением движения частиц (аналог так называемого фокусирующего спектрометра по Дюмонду³⁾, распределение интенсивности испускания частиц вдоль протяженного (AB на рис. 1, a) источника.

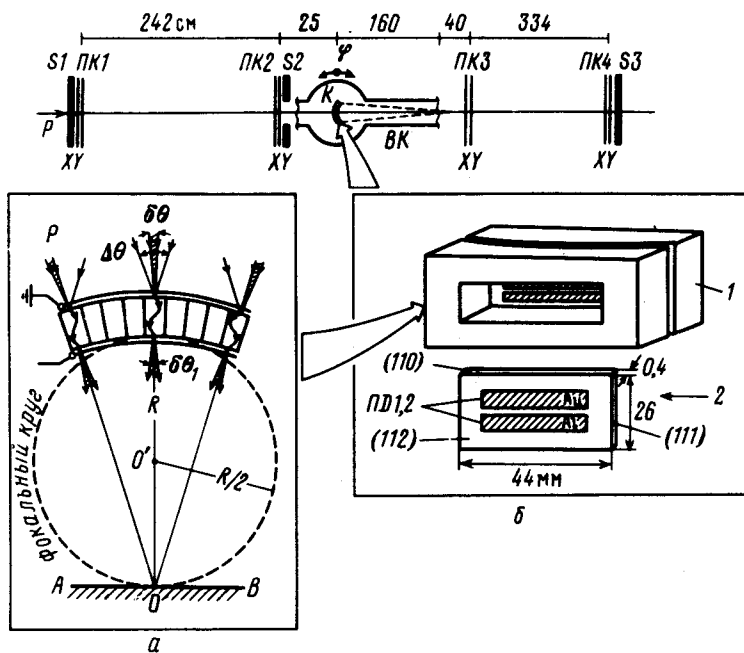


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки: $S 1 \div 3$ – сцинтилляционные счетчики; $ПК1 \div 4$ – пропорциональные камеры; BK – вакуумная камера; K – кристалл; P – протонный пучок. a – Принцип пространственной фокусировки (показаны также электроды ПД1 детектора, полярность у ПД2 детектора – обратная). b – Конструкция изгибающего устройства, параметры кристалла и расположение детекторных зон (ПД1, 2)

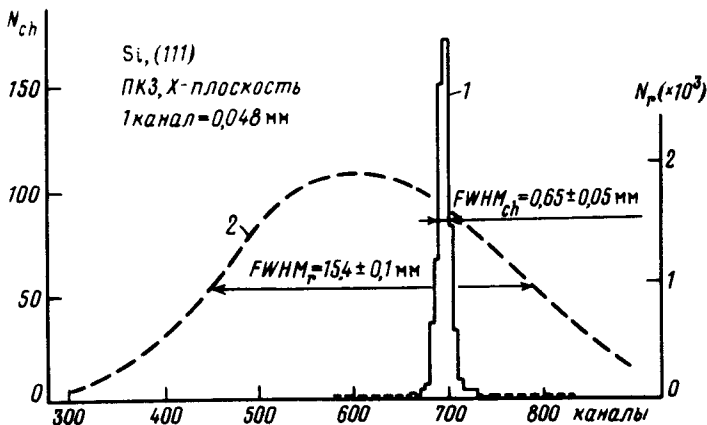


Рис. 2. Пространственное распределение пучка на X -плоскости $PK3$: 1 – с отбором по критерию малой амплитуды сигнала с детектора (в интервале $0,3 \div 0,6$ от наиболее вероятного значения для хаотической фазы); 2 – без отбора (прямой пучок)

С учетом многократного рассеяния на окне вакуумной камеры (BK) и в воздушном промежутке до $PK3$ имеем $FWHM'_{ch} = 0,60 \pm 0,05$ мм, что соответствует угловой расходимости выходящих из канала частиц $\delta\theta_1 = (3,0 \pm 0,25) \cdot 10^{-4} = 1,7 \Psi_L$, где $\Psi_L = 1,72 \cdot 10^{-4}$ – угол Линхарда для плоскости (111) в кремнии, $E_p = 1$ ГэВ.

Литература

1. *Андреев В.А., Баублис В.В., Дамаскинский Е.А., Крившич А.Г. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 340.
2. *Андреев В.А., Баублис В.В., Дамаскинский Е.А. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 53.
3. *Сумбаев О.И.* Кристалл-дифракционные гамма-спектрометры, 1963, М.: Госатомиздат.

Институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
25 марта 1985 г.
