

Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

3467/2-80

28/4-80

P13-80-225

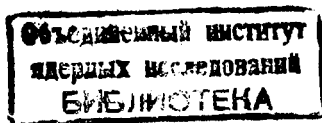
СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КАНАЛИРОВАНИЯ ПРОТОНОВ С $E = 8,4$ ГЭВ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ

1980

P13-80-225

СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КАНАЛИРОВАНИЯ ПРОТОНОВ С $E = 8,4$ ГЭВ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ

Направлено в ПТЭ



ВВЕДЕНИЕ

Явление каналирования заряженных частиц в монокристаллах интенсивно изучается в последние два десятилетия. Однако до 1976 года как теоретические, так и экспериментальные исследования проводились в области энергий до 1 ГэВ.

За последнее время был выполнен ряд работ, предсказывающих новые эффекты, возникающие при каналировании частиц высоких энергий. К ним относятся: отклонение заряженных частиц изогнутым монокристаллом, возможность уменьшения поперечной энергии каналирующих частиц ^{1/}, мощное спонтанное излучение γ -квантов высоких энергий ^{2/}.

Для изучения эффектов каналирования при высоких энергиях были созданы установки в ряде лабораторий: CERN ^{3/}, SLAC ^{4/}, Батавия ^{5/}.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований создана установка, предназначенная для экспериментального обнаружения и исследования явлений, возникающих при каналировании заряженных частиц. На этой установке был впервые обнаружен эффект отклонения пучка протонов изогнутым монокристаллом ^{6/}.

В данной работе содержится описание основных элементов спектрометра: координатных детекторов, системы запуска, гониометрической системы, электронной управляющей логики, системы регистрации данных и их передачи в ЭВМ, приводятся их параметры. Описывается также методика юстировки кристалла и поиска эффекта каналирования.

СХЕМА УСТАНОВКИ

Эксперименты проводились на пучке протонов синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Схема установки показана на рис.1. Пучок протонов с энергией 8,4 ГэВ

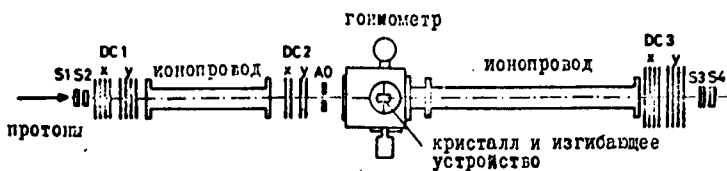


Рис.1. Схема установки.

имел угловую расходимость около $\pm 0,3$ мрад, интенсивность 10^5 частиц за цикл ускорителя, время растяжки 0,3-0,4 с. Размер пучка в месте расположения кристалла составлял 2 см. Телескоп счетчиков S1, S2, S3, S4 отбирал частицы, попадающие в рабочую область кристалла и рассеянные в заданном телесном угле, а также запускал систему дрейфовых камер. Координаты частиц определялись системой из 20 дрейфовых камер. Для уменьшения многократного рассеяния между блоками дрейфовых камер был установлен вакуумный ионопровод. Для ориентации монокристалла относительно пучка использовался прецизионный гониометр. Цена отсчета его составляла 17 мкрад. Установка работала на линии с ЭВМ ЕС-1040; на магнитные ленты записывалось до 400 событий за цикл ускорителя.

а/ Координатные детекторы Дрейфовые камеры были объединены в три блока. Для определения входных углов частиц использовались блоки ДС1 и ДС2, а для определения выходных углов из кристалла - ДС2 и ДС3. Для достижения стабильности скорости дрейфа электронов система газового обеспечения камер работала при постоянной температуре, которая поддерживалась с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Всего использовалось 62 регистрирующих канала. Временное разрешение каждого канала составляло 350 пс. Схема регистрирующего канала приведена на рис.2. Калибровка время-цифровых преобразователей проводилась в ходе эксперимента в автоматическом режиме при помощи ЭВМ. Точность определения координаты частицы для данной системы составляла 100 мкм. Разрешение спектрометра для входных углов $\theta_x = 76$ мкрад и $\theta_y = 63$ мкрад соответственно для плоскостей X и Y определялось, в основном, многократным рассеянием частиц в веществе второго блока $7,8 \cdot 10^{-4}$ радиационных единиц/. Разрешение спектрометра для выходных углов составляло 10 мкрад и определялось координатным разрешением блока ДС3. Эффективность работы камер и электроники постоянно контролировалась при помощи ЭВМ. Средняя эффективность составляла около 98%.

б/ Гониометрическая система и кристаллы

Для ориентирования кристаллов по отношению к пучку протонов использовалась гониометрическая система, применявшаяся в экспериментах по каналированию при энергии 35-250 ГэВ^{15/}. Система позволяла поворачивать кристалл вокруг двух осей. Кинематическая схема гониометра приведена на рис.3. Для работы

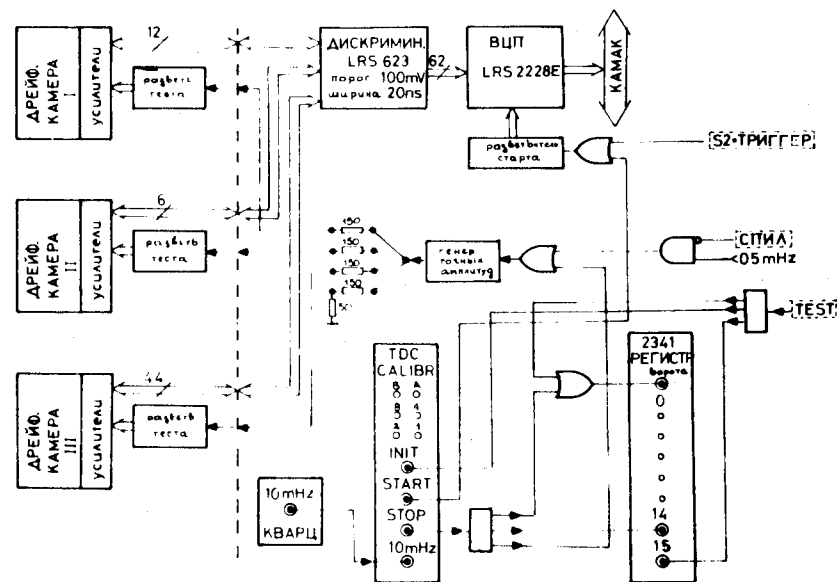


Рис.2. Блок-схема регистрирующего канала.

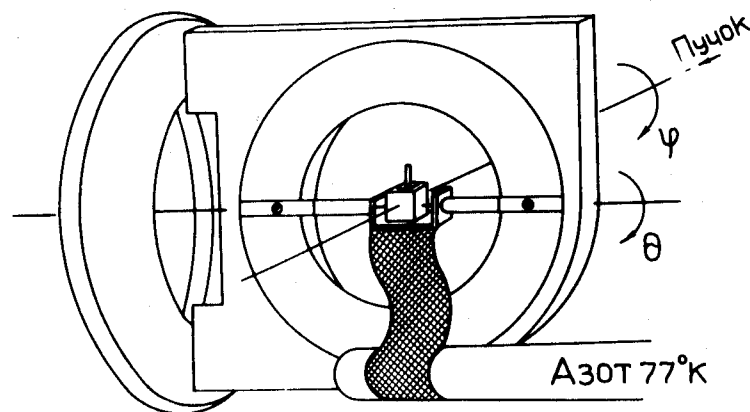


Рис.3. Кинематическая схема гониометра.

с германиевыми кристаллами в гониометре была предусмотрена возможность охлаждения монокристалла до температуры жидкого азота. Предварительная юстировка гониометра и кристалла относительно пучка проводилась с помощью лазера. Угловая погрешность юстировки не превышала $\pm 0,5$ мрад.

В экспериментах проводились исследования с монокристаллами кремния и германия, выполненными в виде полупроводниковых детекторов. Параметры монокристаллов приведены в таблице.

Таблица

№№	Кристалл	Размеры, мм	Тип каналирования
1	германий	20x10x8	осевое 110 на длине 20 и 10 мм
2	кремний	20x10x1,8	плоскостное 111 осевое 110 на длине 20 мм
3	кремний	20x10x0,9	плоскостное 111 на длине 20 мм
4	кремний	20x10x0,55	плоскостное 111 на длине 20 мм

в/ Ориентирование кристалла

Поиск эффекта каналирования осуществлялся по ионизационным потерям частиц, прошедших через монокристалл. Характерный спектр ионизационных потерь протонов для ориентированного кристалла показан на рис.4а, для разориентированного - на рис.4б. Спектр ионизационных потерь протонов в разориентированном кристалле имеет форму распределения Ландау. Ионизационные потери каналированных частиц примерно в два раза меньше по сравнению с потерями неканалированных. Этот факт использовался для ориентации кристалла относительно пучка протонов. Два одноканальных анализатора вырезали части спектра ионизационных потерь, ответственных за каналирование /0,2-0,7 максимума распределения/ и остальную часть. Контроль ориентации кристалла осуществлялся при помощи ЭВМ по угловым распределениям рассеянных в монокристалле частиц. Характерное угловое распределение рассеянных каналированных протонов показано на рис.5.

БЫСТРАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Отбор полезных событий со сцинтилляционных счетчиков производился системой быстрой электроники, в которую входили формирователи с регулируемыми порогами, схемы двойных и четырехкратных совпадений.

Рис.4. Спектр ионизационных потерь протонов в кристалле: а/ разориентированный кристалл, б/ кристалл ориентирован осью <110> параллельно пучку.

Чувствительность формирователей была установлена на уровне 100 мВ.

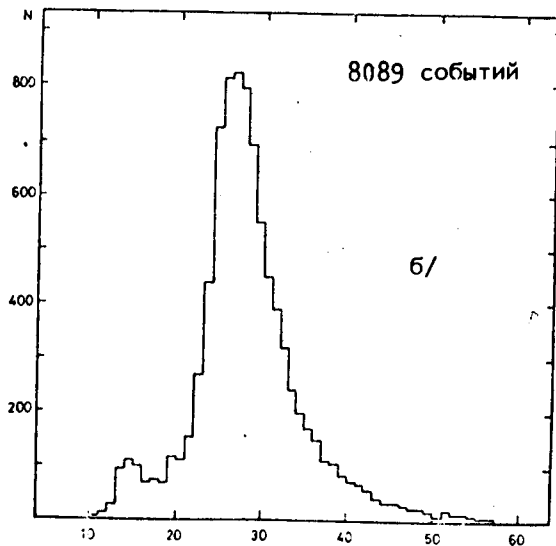
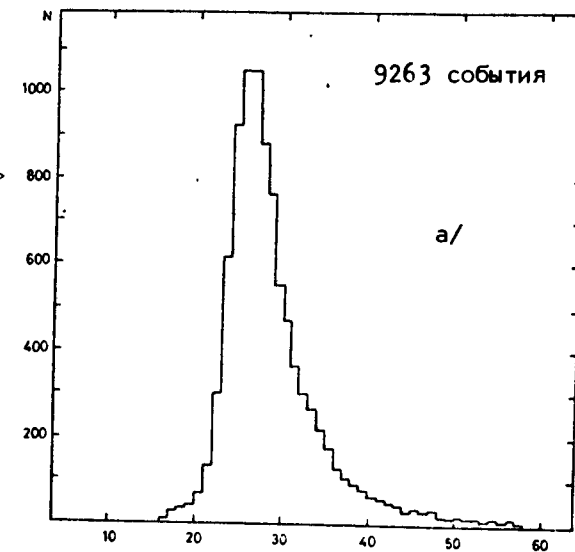
Быстрая электроника выполняла следующие функции:

1. Выделяла события, в которых частицы проходили через монокристалл и рассеивались в заданном телесном угле.

2. Отбрасывала события с несколькими одновременными треками.

3. Отбирала события, за 5 мкс до и после которых не было других частиц /за время сбора заряда в кристалле детектора/.

4. Выработывала сигнал "Запуск", приводящий в действие систему управляющей логики. Сигналы со всех схем совпадений быстрой логики подавались на соответствующие входы 12-канального пересчетного устройства с последующим считыванием их в ЭВМ. Кроме этого, схемы совпадений быстрой логики работали в режиме, при котором ширина выходного сигнала соответствовала ширине перекрытия входных сигналов. Эти сигналы поступали на вход аналого-цифровых преобразователей, информация с которых считывалась в ЭВМ. Таким образом имелась возможность в ходе эксперимента контролировать временную стабильность основных узлов быстрой логики.



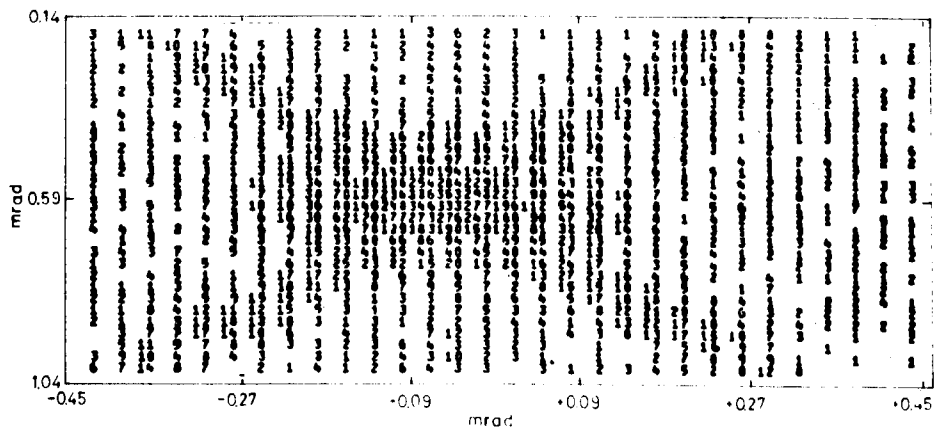


Рис. 5. Угловое распределение рассеянных каналированных протонов.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ

Блок-схема системы управления и регистрации данных приведена на рис. 6. Установка работала на линии с ЭВМ ЕС-1040, удаленной от экспериментального павильона на расстоянии 800 м. Электроника управления и регистрации данных установки была выполнена в стандарте КАМАК, и ее сопряжение с ЭВМ осуществлялось при помощи универсального драйвера ветви /7/. Со стороны ЭВМ работал микропрограммный контроллер селективного канала №1, соединенный с драйвером телефонным кабелем из 30 скрученных пар. Электроника эксперимента воздействовала на ЭВМ с помощью четырех сигналов. Сигнал "Начало цикла ускорения" (BS) выводил ЭВМ в режим ожидания приема события. Сигнал "Запуск" поступал в ЭВМ при ее готовности к приему /сигнал "Запрет"/ через 100 мкс после прохождения частицы через установку. Это время необходимо для завершения процесса конверсии в преобразователях время-цифра и аналог-цифра. Сигнал "Запуск" вызывал считывание в режиме автоматического сканирования (ASM) накопленного массива данных. После генерации сигнала "Конец цикла ускорения" (ES) ЭВМ выходила из режима приема. Массив данных одного физического события состоял из 124 16-разрядных слов, содержание которых составляли: 4 слова заголовка массива, данные из ВЦП, АЦП, пересчетного устройства и входного быстрого регистра. Каждое событие кончалось двумя словами шахматного кода. Время передачи одного события составляло около 1 мс, так что ЭВМ могла принять до 400 событий за цикл ускорителя.

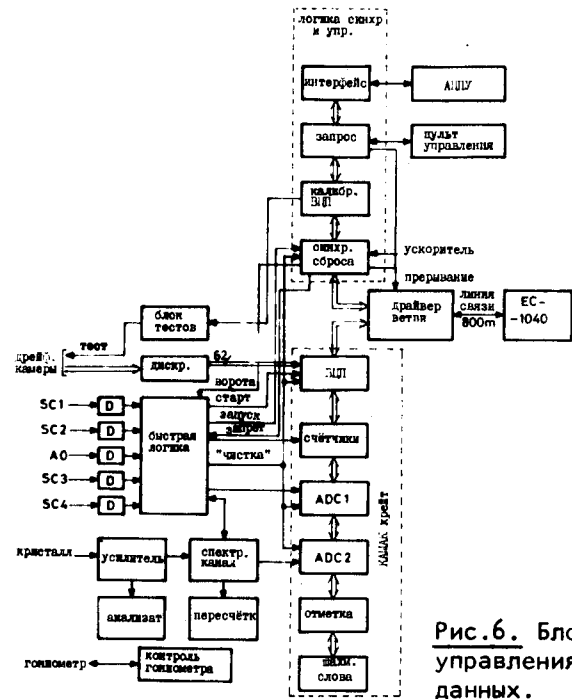


Рис. 6. Блок-схема системы управления и регистрации данных.

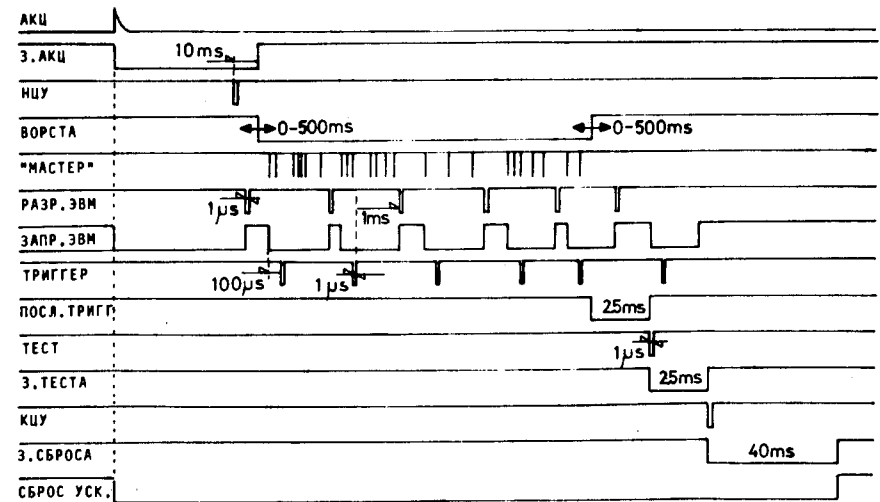


Рис. 7. Временная диаграмма синхронизации работы спектрометра с ускорителем и передачи данных в ЭВМ.

Для ускорения набора статистики была использована система отбора полезных событий. Применялись критерии отбора по попаданию пучка частиц в кристалл, или критерии фильтрации каналирующих частиц. Так как решение о том, что событие не является полезным, вырабатывалось позже, чем начиналась его регистрация, был организован импульс быстрой очистки /"Чистка"/, который "обнулял" информационные блоки КАМАК /за исключением пересчетного устройства/ и восстанавливал управляющую электронику эксперимента в режим ожидания приема следующего события. Для выработки импульса "Чистка" анализировался амплитудный спектр сигналов кристалла и в случае непопадания амплитуд сигнала в фиксированный диапазон, что определялось одноканальным анализатором, генерировался импульс очистки. Импульс этот стробировался сигналом запуска установки /"Запуск"/.

Временная диаграмма синхронизации работы спектрометра с ускорителем и синхронизации передачи данных в ЭВМ представлена на рис.7. Электроника регистрации физических данных помещалась в одном крейте КАМАК. Во втором крейте находилась электроника управления и синхронизации, соединенная с панелью управления экспериментом. На панели находился набор десятичных БНК, кнопка и лампочек, с помощью которых экспериментатор мог управлять проведением сеанса, набором статистики, производить распечатку интересующих его гистограмм и таблиц, очищать заданные гистограммы и выполнять ряд других функций. Нажатие кнопки на панели управления экспериментом формировало сигнал "Запрос", который попадал в ЭВМ вне цикла ускорителя.

Распечатка желаемой информации производилась непосредственно в экспериментальном домике печатающим устройством типа DZM-180 фирмы MERA-BLON. Это устройство позволяло выводить информацию с эффективной скоростью 120 строк в минуту. Соединение его с ЭВМ было выполнено с помощью интерфейса КАМАК типа "SERIAL INTERFACE 505", размещенного в стойке электроники, находившейся в домике. Интерфейс работал в системе без запросов с последовательным опросом состояний в период между циклами ускорителя. Подзадача сопряжения с цифropечатью работала в режиме разделения времени с программами приема и обработки данных, а информация для распечатки поступала из выходного файла данных. Связь ЭВМ с установкой происходила по однобуферной системе - все экспериментальные данные накапливались в оперативной памяти ЭВМ. В промежутках между циклами ускорителя события группами по 13 записывались на магнитную ленту. Информация для обработки в режиме реального времени записывалась на диск. Считывание с диска и обработка данных производились в паузах между циклами ускорителя. Обработывалось около 30 событий каждого цикла.

Для контроля за работой установки и для предварительной оценки результатов эксперимента была создана система программ на ЭВМ ЕС-1040. Результаты представлялись в виде 250 гистограмм и числовых таблиц. Эффективность работы электроники, время-цифровых преобразователей, дрейфовых камер, а также результаты калибровки время-цифровых преобразователей были представлены в виде числовых таблиц. Информация о распределении амплитуд с амплитудно-цифровых преобразователей выводилась в виде 25 гистограмм. Данные об исследуемом эффекте представлялись в виде 18 двумерных и 10 одномерных гистограмм. При этом, по желанию оператора, на отдельные распределения можно было накладывать определенные критерии отбора. Например, чтобы отделить каналирующие в кристалле частицы от неканалирующих, на соответствующие распределения накладывались критерии отбора по определенным каналам амплитудно-цифрового преобразователя. Это позволяло убирать фоновые события и четко выявлять исследуемый эффект. Использовались критерии отбора по входным и выходным углам, по их разности. При желании критерии можно было комбинировать.

Для исследования амплитудных спектров распределения сигналов от частиц, проходящих через детектируемую часть кристалла, применялся также 1024-канальный амплитудный анализатор типа NTA-1024. Использование анализатора позволяло оперативно настраивать спектрометрическую электронику, подстраивать необходимые пороги, следить за соотношением каналирующих и неканалирующих частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная в настоящей работе аппаратура проработала на пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ около 1000 часов. Всего в эксперименте было зарегистрировано около $3,5 \times 10^6$ событий, в том числе при исследовании эффекта отклонения заряженных частиц изогнутыми монокристаллами - около 1×10^6 событий. В настоящее время данная установка начинает работу на позитронном пучке ускорителя ИФВЭ в диапазоне энергий до 40 ГэВ. Планируемый цикл работ имеет своей целью изучение специфического излучения, возникающего при каналировании легких заряженных частиц, синхротронного излучения, возникающего при движении заряженных частиц в изогнутых монокристаллах, а также изучение возможности использования этих видов излучения как для создания детектора, идентифицирующего заряженные частицы сверхвысоких энергий, так и для многих других целей.

Авторы благодарны Н.Н.Боголюбову, Д.Д.Кишу и А.М.Балдину за постоянное внимание к работе, Л.Г.Макарову и Ю.Н.Денисову - за помощь при создании установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsyganov E. Fermilab Report TM-682, TM-684, 1976.
2. Кумахов М.А. ЖЭТФ, 1977, т.72, вып.4.
3. Fich O. et al. Phys.Lett., 1975, 57B, p.90.
4. Мирошниченко И.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, с.786.
5. Carrigan R.A. et al. Fermilab - 79/43 - exp.
6. Elishey A.F. et al. JINR, D1-12176, Dubna, 1979.
7. Нгуен Фук, Смирнов В.А. ОИЯИ, 10-8712, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1980 года.