

сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

1202/83

10/3-83
1-82-865

З.Гузик, Н.А.Филатова, А.Форыцки,
Э.Н.Цыганов

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОТБОР ФИЗИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ПРОХОЖДЕНИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ЧЕРЕЗ МОНОКРИСТАЛЛЫ

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

В современном физическом эксперименте высоких энергий количество полезных событий может достигать 10^6 и более в секунду. С другой стороны, эксперименты все больше усложняются и информация об одном событии занимает десятки килобайт. Этот факт обуславливает мертвое время установки /время считывания данных/ порядка десятков миллисекунд. Для описываемых ниже экспериментов из-за времени считывания, равного в среднем 1 мс, терялось обычно свыше шестидесяти процентов данных. Поэтому проблема увеличения скорости набора экспериментальных данных была очень важной и решалась двумя способами: методом увеличения скорости считывания^{1,2/} и методом предварительного отбора полезной информации до ее записи на магнитную ленту^{3,4,5/}. Обычно для обогащения записываемой информации в логику запуска установки вводится дополнительный элемент, который из общего потока событий выделяет только те, которые удовлетворяют определенным критериям. Применяемые критерии отбора в наших экспериментах можно разделить на несколько основных групп: требования срабатывания определенного числа проволок детекторов, требования определенных временных соотношений, ограничения на угол рассеяния частицы в кристалле, требование определенных энергетических соотношений. Для каждого применяемого критерия можно определить коэффициент полезной информации $\sigma_i = N_T/N$, где N_T - число запусков, в которых наложенные критерии выполняются, N - общее число запусков. При оценке влияния отбора на накопление данных следует рассмотреть две величины: коэффициент подавления общего числа записываемой информации (k_{Π}), влияющий на число записанных лент, и коэффициент увеличения полезной информации (k_y), непосредственно влияющий на время работы на пучке, необходимое для выполнения эксперимента. Коэффициенты эти можно представить в виде

$$k_{\Pi} = \frac{(1 + t_c \cdot N)\sigma}{1 + (t_p + t_c \cdot \sigma)N} \quad ; \quad k_y = \frac{1 + t_c \cdot N}{1 + (t_p + t_c \cdot \sigma)N} \quad , \quad /1/$$

где t_c - время считывания информации, t_p - время решения алгоритма, N - среднее количество запусков установки в секунду, σ - коэффициент полезной информации.

Введение в эксперимент устройств отбора целесообразно при условии $k_{\Pi} < 1$ и $k_y > 1$. Чрезвычайно важной является эффективность регистрации "хороших" событий, которая должна быть достаточно близкой к единице. Ухудшение этой эффективности может привести

к искажению физического результата. Хорошей практикой для анализа работы устройств отбора было введение определенного процента запусков, к которым не применялись критерии отбора.

Ниже будут описаны способы реализации критериев отбора на примере применения в экспериментах по изучению прохождения заряженных частиц через монокристаллы.

2. ОТБОР СОБЫТИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ КАНАЛИРОВАНИЯ

В эксперименте^{/6/}, проведенном в Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми /Батавия/, изучался эффект каналирования протонов и пионов при энергиях 35, 100 и 250 ГэВ в монокристалле германия. Углы входа и выхода частиц измерялись системой трех дрейфовых камер с высоким пространственным разрешением^{/7/}. Захват частицы в процесс каналирования может происходить тогда, когда заряженная частица, движущаяся вблизи оси или плоскости монокристалла, попадает в критический угол захвата Θ_c , зависящий от энергии, как $E^{-1/2}$. Для энергии 100 ГэВ и монокристалла германия Θ_c равен 68 мкрад. Так как угловая расходимость пучка, составлявшая в нашем случае +300 мкрад, превышала критический угол захвата, большое количество событий подвергалось многократному рассеянию и становилось неинтересным с точки зрения изучаемого эффекта. Для подавления событий, не испытавших эффекта каналирования, в эксперименте был применен элемент отбора^{/8/}, с помощью которого анализировался угол рассеяния частицы. Дополнительно был введен второй элемент /по эффективности ДК/^{/9/}, отбрасывающий события, в которых восстановление треков было невозможно.

А. Отбор по углу рассеяния

Критерием отбора в этом случае является выполнение требования, чтобы угол рассеяния частицы в кристалле не превышал заданного /рис.1/:

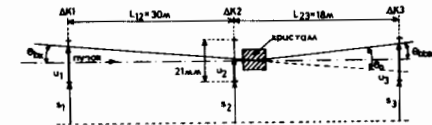
$$|\Theta_{\text{вых}}^x - \Theta_{\text{вх}}^x| < \Theta_0^x \quad \text{и} \quad |\Theta_{\text{вых}}^y - \Theta_{\text{вх}}^y| < \Theta_0^y, \quad /2/$$

где: $\Theta_{\text{вых}}^x$, $\Theta_{\text{вых}}^y$ - углы выхода частицы из кристалла в плоскостях "X" и "Y", $\Theta_{\text{вх}}^x$, $\Theta_{\text{вх}}^y$ - углы входа в кристалл, $\Theta_0^{x,y}$ - углы обрезания, соответствующие заданному допустимому углу рассеяния. Эти условия отбора могут быть представлены в следующем алгебраическом виде:

$$|A'x_1 - B'x_2 + C'x_3 + D_x| < Z_x \quad \text{и} \quad |A''y_1 - B''y_2 + C''y_3 + D_y| < Z_y, \quad /3/$$

где A, B, C - коэффициенты, зависящие от геометрии установки, параметров трех дрейфовых камер, применяемых в эксперименте,

Рис.1. Схема установки для изучения эффекта каналирования.



коэффициентов преобразования ВЦП, а $X_{1,2,3}$, $Y_{1,2,3}$ - отсчеты ВЦП, соответствующие дрейфовым промежуткам. Для используемой установки при одинаковых коэффициентах преобразования всех ВЦП нормализованные коэффициенты составляли: $A = 0,712$, B был принят равным единице, $C = 0,285$. Коэффициенты D и Z определялись эмпирически по ходу набора данных. В проведенном эксперименте поперечные размеры применяемого кристалла составляли $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и не превышали размеров одного дрейфового промежутка. Таким образом, задача отбора упрощалась, так как для вычисления угла рассеяния, учитывая угловую расходимость пучка, было достаточно анализировать данные из одного дрейфового промежутка каждой из трех камер. Были разработаны два варианта устройства отбора: упрощенный, на базе электронных компонентов среднего масштаба интеграции, и более гибкий, выполняющий алгоритм отбора для нескольких дрейфовых промежутков и обладающий более высокой точностью.

Вариант 1. В этом случае коэффициенты A , B , C уравнения /3/ уравнивались путем подбора коэффициентов преобразования ВЦП и общий вид алгоритма приобретал форму:

$$|x_1 - x_2 + x_3 + D_x| < Z_x, \quad |y_1 - y_2 + y_3 + D_y| < Z_y, \quad /4/$$

где числа x , y являются 11-разрядными данными ВЦП, находившимися под субадресами A(0) - A(5) преобразователя ORTEC TD 811. Константы D и Z вводились с передней панели устройства, выполненного в стандарте КАМАК в соответствии с EUR 6500^{/10/}. Сигнал запуска установки инициировал работу устройства /рис.2/, которое после получения доступа к магистрали реализовало алгоритм отбора в следующих восьми циклах:

1. $D_x + N.A(0).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
2. $\text{РЕГ} - N.A(1).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
3. $\text{РЕГ} + N.A(2).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
4. $|\text{РЕГ} - Z_x|$, решение по X-плоскости
5. $D_y + N.A(3).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
6. $\text{РЕГ} - N.A(4).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
7. $\text{РЕГ} + N.A(5).F(0) \rightarrow \text{РЕГ}$
8. $|\text{РЕГ} - Z_y|$, решение по Y-плоскости.

В случае, если решения по обеим плоскостям были положительными, устройство выставляло на магистрали запрос "L", в противном слу-

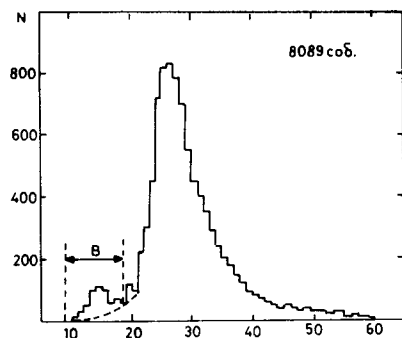
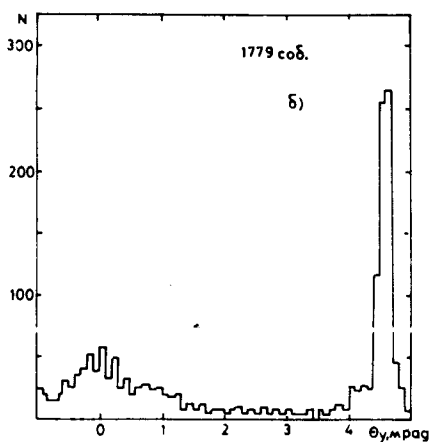
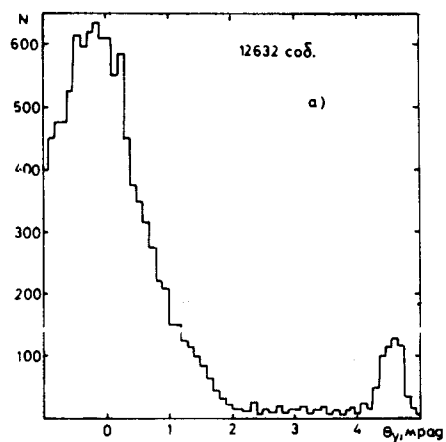


Рис.6. Амплитудное распределение ионизационных потерь в ориентированном полупроводниковом детекторе.

Рис.7. Распределение частиц, выходящих из кристалла с углом изгиба 4,5 мрад: а/ без отбора, б/ с отбором по критерию каналирования.



кости^{/14/}. Траектории частиц, проходящих через кристалл, определялись с помощью трех блоков дрейфовых камер^{/15/}. Пучок протонов с энергией 8,4 ГэВ проходил через монокристалл кремния длиной 20 мм, часть которого подвергалась контролируемому изгибу. Входная часть монокристалла представляла собой полупроводниковый детектор, позволяющий измерять ионизационные потери частиц. На рис.6 приведен амплитудный спектр сигналов от частиц, прошедших через детектируемую часть кристалла, ориентированную плоскостью (III) вдоль пучка. Пунктиром показан тот же спектр в случае разориентированного кристалла. Видно, что по малой величине ионизационных потерь можно выделить частицы, захваченные в процесс каналирования. Этот факт использовался для ориентации кристалла относительно пучка протонов, а в дальнейшем для выделения исследуемого эффекта. Из спектра ионизационных потерь с помощью двух одноканальных анализаторов ORTEC 455 выделялась часть /определенная окном В /, ответственная за каналирование. Окно это устанавливалось на уровне $0,2 \pm 0,7$ от максимума распределения. На рис.7

показано распределение частиц, выходящих из кристалла при угле изгиба 4,5 мрад, без применения отбора, и рис.7б показывает события, отобранные по критерию каналирования. На рисунке виден резко выделенный пик при углах около 4,5 мрад, образованный каналированными отклоненными частицами; небольшой пик в районе нулевого угла соответствует частицам, не захваченным в процесс каналирования.

4. ОТБОР СОБЫТИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ

Эксперимент^{/16/} по исследованию излучения, возникающего при каналировании релятивистских частиц в монокристаллах, был проведен на электрон-позитронном пучке ускорителя ИФВЭ /Серпухов/. Схема экспериментальной установки показана на рис.8. Сцинтилляционные счетчики совпадений S1, S2, S3 и антисовпадений - A1, A2, A3 выработывали сигнал запуска установки. Дрейфовые камеры DC1, DC3, DC4, а также дрейфовая камера низкого давления использовались для регистрации координат. Энергия фотонов, испускаемых в процессе каналирования, измерялась γ -спектрометром, изготовленным на основе сцинтиллирующего кристалла CsI(Tl). Для уменьшения фонового тормозного излучения минимизировалось количество вещества на трассе прохождения пучка. Количество сцинтилляционных счетчиков было сведено до необходимого минимума, а блок дрейфовой камеры низкого давления, кроме измерения координат, участвовал также в формировании запуска установки. В этом эксперименте применялись три критерия отбора: энергетический, временной и отбор по эффективности.

а/ Энергетический отбор событий

В большом потоке событий количество случаев, в которых частицы подвергаются каналированию, а испущенные фотоны попадают в рабочую область γ -спектрометра, составляет несколько процентов. На рис.9а показан энергетический спектр, регистрируемый γ -спектрометром. Из рисунка видно, что основная часть событий попадает

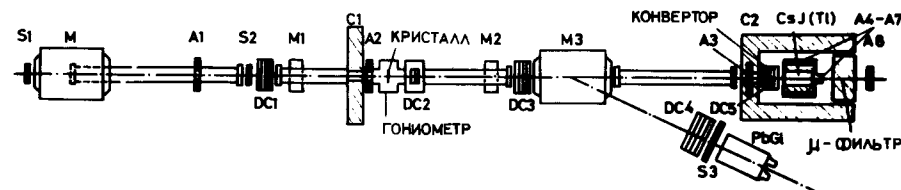


Рис.8. Схема экспериментальной установки^{/16/}

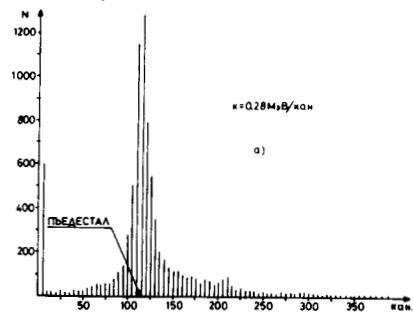


Рис.9. Энергетический спектр фотонов, регистрируемых γ -спектрометром: а/ без отбора, б/ с применением системы отбора.

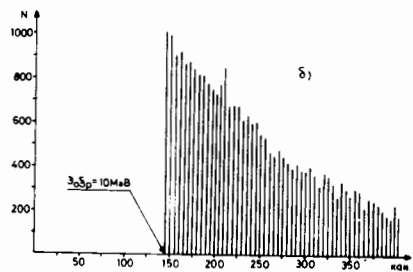
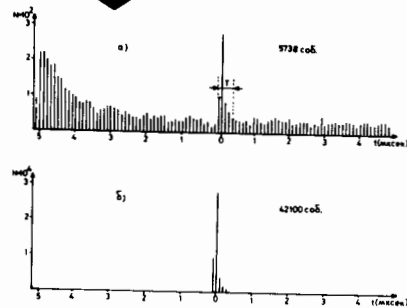


Рис.10. Временное распределение фотонов, регистрируемых γ -спектрометром: а/ без отбора, б/ с применением системы отбора.



в область пьедестала АЦП, что соответствует отсутствию фотонов. Для подавления ненужных событий был создан цифровой препроцессор, который из регистрирующего АЦП типа ORTEC AD811 извлекал необходимую информацию и выдавал сигнал решения в том случае, когда зарегистрированная энергия фотона превышала некоторую величину /заданную/. На рис.9б показан спектр отобранных событий для порога обрезания, равного 10 МэВ.

б/ Временной отбор событий

Описанный выше энергетический критерий отбора являлся недостаточным, так как в условиях значительных нагрузок и большого энергетического диапазона сигналы, поступающие из спектрометрического усилителя, могли быть вызваны случайными совпадениями. Результирующий спектр мог также являться суммой энергии от рабочей частицы и ложных частиц, пролетевших в другое время. Для выделения частиц, соответствующих данному запуску установки, применялся временной критерий отбора. От переднего фронта сигнала, поступающего от спектрометрического предусилителя, с помощью специального усилителя-формирователя формировался логический импульс, который затем дополнительно задерживался на 5 мкс и поступал на вход "Стоп" ВЦП. Стартовый сигнал на этот ВЦП поступал от сигнала запуска установки. На рис.10а представлено временное распределение частиц, регистрируемых временным трактом

γ -спектрометра. Временное условие отбора требовало попадания сигналов от γ -квантов во временной коридор $T/+0,25$ мкс/, а также их отсутствия в диапазоне времени $-5 \pm -0,25$ мкс. Рис.10б показывает временное распределение γ -квантов после применения этого критерия отбора.

в/ Отбор по эффективности

Как было уже сказано, дрейфовая камера DC2 участвовала в запуске установки. За время дрейфа импульсы с сигнальных проволок просматривались логической матрицей, и сигнал решения генерировался в случае срабатывания всех плоскостей камеры.

Наряду с системой отбора в эксперименте применялась система выработки разных типов запусков установки, отличающихся критериями отбора. Существовало шесть типов запуска: основной запуск с применением критериев отбора, пучковый запуск /без применения критериев/ - для оценки системы отбора и нормировки, случайный запуск - для определения пьедесталов АЦП, мезонный запуск - для калибровки γ -спектрометра, запуск от светодиода - для дополнительной калибровки γ -спектрометра и тестовый запуск - для калибровки дрейфовых камер.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ОТБОРА

Рассмотрим работу устройств отбора на примере их использования в эксперименте по исследованию излучения, возникающего при каналировании заряженных частиц в монокристаллах^{16/}. В этом эксперименте применялись три критерия отбора, и каждый из них можно охарактеризовать определенным коэффициентом отбора полезной информации. Эффективность срабатывания одной проволоки DC2 составляла обычно 95%, и коэффициент полезной информации для отбора по эффективности камер равнялся $\sigma_K = 0,80$. Экспериментально были определены коэффициенты: энергетический, для энергии обрезания 10 МэВ, и временной, составляющие $\sigma_3 = 0,2$ и $\sigma_B = 0,03$ соответственно. Суммарный коэффициент полезной информации в случае, когда применялись все три критерия отбора, был равен $\sigma = 0,02$. На рис.11а и б показано графическое представление выражения /1/ для коэффициентов подавления записываемой информации k_{II} и увеличения полезной информации k_{γ} в зависимости от среднего количества запусков установки в секунду. Кривые представлены для каждого из применяемых критериев и для суммарного коэффициента полезной информации. В рассматриваемом эксперименте среднее количество запусков установки, т.е. количество частиц, попавших в рабочую зону кристалла, составляло $2 \cdot 10^3$, и для этой величины загрузки $k_{II} = 0,05$ и $k_{\gamma} = 2,7$. Отсюда следует, что для успешного проведения

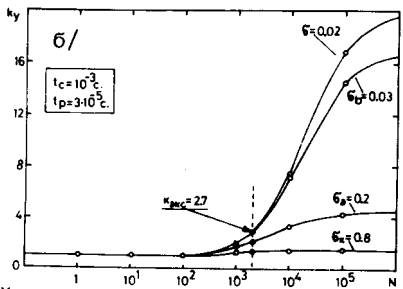
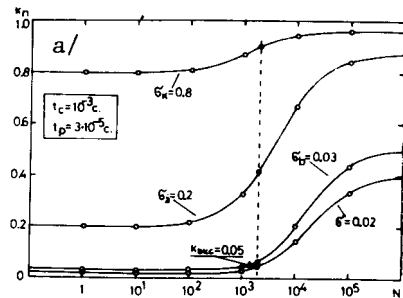


Рис.11. Зависимости коэффициентов подавления записываемой информации и увеличения полезной информации от среднего количества пусков установки в секунду.

эксперимента, после введения устройств отбора, потребовалось почти в три раза меньше времени работы на пучке и количество записанных магнитных лент сократилось в 20 раз.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить всех коллег, принимавших участие в подготовке и проведении описанных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

- Larsen R.S. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1979, 26,1, p.678.
- Гузик З., Форуцки А. ОИЯИ, 13-81-587, Дубна, 1981.
- Verkerk C. CERN 78-13, Geneva, 1978, p.65.
- Turala M. Nucl.Instr. and Meth., 1980, 176, p.51.
- Гузик З. ОИЯИ, 13-6696, Дубна, 1972.
- Carrigan R.A. et al. Nucl.Phys., 1980, B163, p.1.
- Filatova N.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 143, p.17.
- Guzik Z. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 166, p.351.
- Filatova N.A., Guzik Z., Tsyganov E.N. Fermilab, FN-303, Batavia, 1977.
- Multiple Controllers in a CAMAC Crate, ESONE Committee, EUR 6500.
- ADVANCED MICRO DEVICES, The 2900 Family Data Book, Sunnyvale, 1979.
- MECL Integrated Circuits, Motorola, 1974, vol.4.
- Водопьянов А.С. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с.474.
- Tsyganov E.N. Fermilab, TM-682, TM-684, Batavia, 1976.
- Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, 13-80-225, Дубна, 1980.
- Головатюк В.М. и др. ОИЯИ, Д1-81-592, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 декабря 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	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.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	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.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Гузик З. и др.

1-82-865

Электронный отбор физических событий в экспериментах по изучению процессов прохождения заряженных частиц через монокристаллы

В работе представлены способы реализации предварительного отбора физических событий в экспериментах по отклонению заряженных частиц с помощью изогнутого монокристалла и исследованию излучения, возникающего при каналировании электронов и позитронов. Проведен количественный анализ эффективности устройств отбора.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Guzik Z. et al.

1-82-865

Filtering of Physical Events in Experiments on the Investigation of Processes of Charged Particles Passing through Monocrystals

The methods of primary physical events filtering in experiments of steering charged particles with the help of bent monocrystals and investigations of radiation, originated during electrons and positrons channeling are described. The analysis of selection devices efficiency is given. The data filtering application resulted in three times decreasing of the beam exposition and number of magnetic tapes used was reduced by 50 times.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.