

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



SU7703696

13 - 8898

В.А.Будилов, А.Буяк, Н.К.Жидков, А.Запасник,
А.А.Кукушкин, П.В.Номоконов, М.Шавловски

E42.511

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЯДЕР ОТДАЧИ
НА ОСНОВЕ $\Delta E - E$ ТЕЛЕСКОПОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

1975

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

13 - 8898

В.А.Будилов, А.Буяк, Н.К.Жидков, А.Запасник,
А.А.Кукушкин, П.В.Номоконов, М.Шавловски

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЯДЕР ОТДАЧИ
НА ОСНОВЕ $\Delta E - E$ ТЕЛЕСКОПОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

Будипов В.А. и др.

13 - 8898

Многоканальный спектрометр ядер отдачи на основе $\Delta E-E$
телескопов полупроводниковых детекторов

В работе описана электроника спектрометра ядер отдачи на основе телескопов полупроводниковых $\Delta E-E$ детекторов, работающего на линии с ЭВМ БЭСМ-4. Спектрометр позволяет получать одновременно восемь двумерных гистограмм $\Delta E, E-\Delta E$, т.е. измерять дифференциальное сечение в восьми угловых точках, идентифицировать ядра отдачи и измерять их энергию. Кратко описана спектрометрическая электроника, логика кодирования номера детектора, организация работы амплитудно-цифровых преобразователей. Приведены иллюстрации работы спектрометра при изучении упругого $d-d$ рассеяния на синхрофазотроне ЛВЭ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Назначение установки

Установка предназначена для регистрации полупроводниковыми детекторами ядер отдачи в реакциях p , d , α -ядро. Она имеет шестнадцать спектрометрических каналов и допускает два режима работы:

1. Работа с шестнадцатью независимыми спектрометрическими каналами.

2. Двумерный анализ с восемью телескопами полупроводниковых детекторов. Этот режим используется для идентификации частиц $\Delta E - E$ -методом. Частицы, которые не проходят в E -детектор, а задерживаются в ΔE -счетчике, также регистрируются.

Физическая задача, для которой создана установка, - измерение дифференциальных сечений. Поэтому основным требованием к аппаратуре является одинаковая эффективность всех каналов. Возможны два решения:

1. Высокое быстродействие аппаратуры и регистрация просчетов в каждом канале.

2. Введение общего мертвого времени для всех каналов.

Первый метод позволяет работать при больших нагрузках. Второй - требует меньшего количества аппаратуры. Мы реализовали второй метод. Аналогичная установка, но без двумерного анализа, работала раньше в экспериментах по изучению упругого pp - и pd -рассеяния на малые углы и описана в ^{1/}.

Описание работы спектрометра

Блок-схема спектрометра частиц отдачи приведена на рис. 1. Электроника установки состоит из следующих блоков:

- 1/ полупроводниковые детекторы или телескопы полупроводниковых детекторов;
- 2/ зарядочувствительные предусилители /ПУ/;
- 3/ спектрометрические усилители /УИС/;
- 4/ формирователи;
- 5/ блок кодирования номера детектора /БКД/;
- 6/ линейные схемы сложения /ЛС/;
- 7/ амплитудно-цифровые преобразователи /АЦП/;
- 8/ контрольный и калибровочный генераторы.

Кратко опишем работу спектрометра.

После предусилителей усиленные импульсы полупроводниковых детекторов поступают на спектрометрические усилители. С выхода каждого спектрометрического усилителя сигнал разветвляется на вход соответствующего формирователя номера детектора и на линейную схему сложения. ΔE - сигналы собираются на одной схеме линейного сложения и с выхода этой схемы поступают на

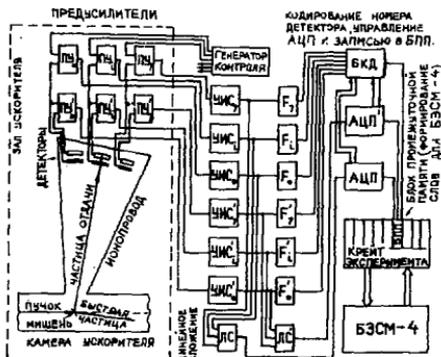


Рис. 1. Блок-схема спектрометра частиц отдачи.

вход АЦП 1, Е -сигналы собираются на другой схеме линейного сложения и подаются на АЦП2.

В блок кодирования номера детектора /БКД/ поступают сигналы со всех шестнадцати формирователей. БКД выполняет следующие функции:

1/ формирует импульс управления линейными воротами двух АЦП;

2/ запрещает запись информации в случае наложения импульсов в различных каналах;

3/ проверяет наличие совпадений в соответствующих ΔE - и Е -детекторах;

4/ вырабатывает код номера детектора или телескопа;

5/ вырабатывает признак одномерности или двумерности события;

6/ организует логику работы обоих АЦП.

Информация из блока кодирования номера детектора и амплитудно-цифровых преобразователей записывается в регистр промежуточной памяти /БПП/, где формируются 45-разрядные слова для ЭВМ БЭСМ-4. БПП входит в систему сопряжения спектрометра с ЭВМ и в данной работе не рассматривается.

Перейдем к описанию основных блоков установки.

Предусилители

Зарядочувствительные предусилители собраны по стандартной схеме. Так как мы используем тонкие ΔE -детекторы и соединительные кабели между предусилителями и детекторами длиной до полутора метров, емкости на входах предусилителей весьма велики /до нескольких сотен пикофарад/. Чтобы не затягивать фронт импульса, емкость обратной связи выбрана равной около 4 пикофарад и на входе используются полевые транзисторы с достаточно высокой крутизной: КП302, 7IS 75 или пара КП303. Выходной каскад имеет усиление 5. Полное усиление предусилителя около 50 мВ/МэВ.

Спектрометрические усилители

Структурная схема спектрометрического усилителя и его основные каскады приведены на рис. 2. Основные характеристики усилителя:

- 1/ максимальное усиление - 1000;
- 2/ ослабление: дискретное 2-64 с коэффициентом 2, плавное - гелипотом 1-2,5;
- 3/ динамический диапазон на нагрузку $300 \text{ Ом} \pm 10 \text{ В}$;
- 4/ фронт импульса /без формировок/ 80 нс;
- 5/ длительность сформированного импульса 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 мкс /по выбору/.

Усилитель имеет регулировку порога на выходе до 5 В, переключение полярности выходного сигнала и индикацию прохождения импульса /лампочка/. Формирование симметричного однополярного импульса осуществляется RLC цепочками.

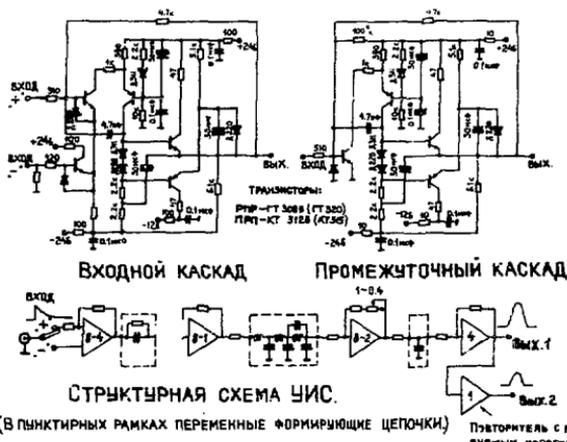


Рис. 2. Структурная схема и основные каскады спектрометрического усилителя.

Формирователи

Для правильной работы блока кодирования номера детектора выбор формирователей исключительно важен. Формирователь не должен иметь мертвого времени. Импульс формирователя должен присутствовать на входе БКД в течение всего времени действия аналогового сигнала /режим триггера Шмитта/ плюс время, на которое открываются линейные ворота АЦП. Эта добавка необходима потому, что из-за порога на выходе усилителя аналоговые импульсы имеют различную длительность, зависящую от амплитуды.

Линейные ворота АЦП открываются передним фронтом импульса со схемы "ИЛИ" от всех шестнадцати формирователей на фиксированную длительность. Триггеры соответствующего номера детектора в БКД запоминают состояние формирователей в момент закрытия линейных ворот. Таким образом, триггеры запоминают присутствие аналоговых импульсов на входах АЦП, в какой бы момент времени открытого состояния ворот они ни появились и какой бы малой длительности они ни были.

Все это обеспечивает правильное кодирование номера детектора и запрет в случае наложения импульсов в различных каналах. Проверка производилась с различными комбинациями каналов при статистических нагрузках до 50 кГц и размазанном спектре амплитуд /шумы детектора/. Сбоев кодирования номера детектора замечено не было.

Пороги формирователей устанавливаются как можно ниже. В нашем случае - на 30 мВ при полном динамическом диапазоне 6 В. /От запусков шумами детекторов избавлялись порогами на выходах УИС/.

Блок кодирования номера детектора

Функции блока кодирования номера детектора описаны ранее. Совместная логическая схема БКД и АЦП приведена на рис. 3, временные диаграммы - на рис. 4. Опишем работу БКД. С шестнадцати входных формиро-

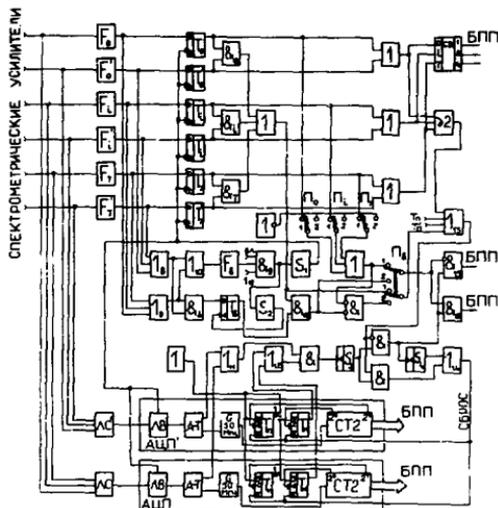


Рис. 3. Схема логики блока кодирования номера детектора /БКД/ и двух амплитудно-цифровых преобразователей /АЦП/.

вателей F_0 , F'_0, \dots, F_7 , F'_7 /обозначения со штрихом относятся к E-каналам, без штриха - ΔE - каналам/ импульсы поступают на "D" входы триггеров $T_0, T'_0, \dots, T_7, T'_7$ и на схемы "ИЛИ" I_8 и I_9 . После схем I_8, I_9, I_{10} импульс подается на формирователь F_8 , который формирует короткий стартовый импульс, поступающий на схему $\&_9$. Схема $\&_9$ блокирует прохождение этого импульса, если еще не окончено преобразование предыдущего события, полностью заполнен регистр промежуточной памяти БПП или есть внешняя блокировка. Если этих блокировок нет, то после прохождения $\&_9$ импульс запускает одновибраторы с регулируемой длительностью S_1 и S_2 . Импульс с одновибратора S_1 открывает линейные ворота двух АЦП и задним фронтом записывает состояние формирователей F_0, \dots, F'_7 в триггеры T_0, \dots, T'_7 . Одновибратор S_2 задним фронтом устанавливает триггер T_8 в состояние "1", если к этому моменту есть

совпадение любого из формирователей группы F с любым формирователем группы F'. Таким образом можно проверять совпадения АЕ-и Е-счетчиков с желаемым разрешающим временем. Практически, при введении порогов на выходах спектрометрических усилителей, этот формирователь приходится настраивать на длительность фронта аналогового сигнала.

События, вызывающие случайные совпадения между различными номерами формирователей F и F' и наложенные импульсы внутри групп F и F', отображаются с помощью схемы ≥ 2 /запрещается запись в БПП/.

На схему I₁₁ из АЦП поступают импульсы с длительностью, равной времени преобразования амплитуды в код. После окончания преобразования в АЦП одновибратор S₃ вырабатывает импульс, который в случае одномерного события появляется на выходе &15 в случае двумерного - на выходе &16. В случае запрета

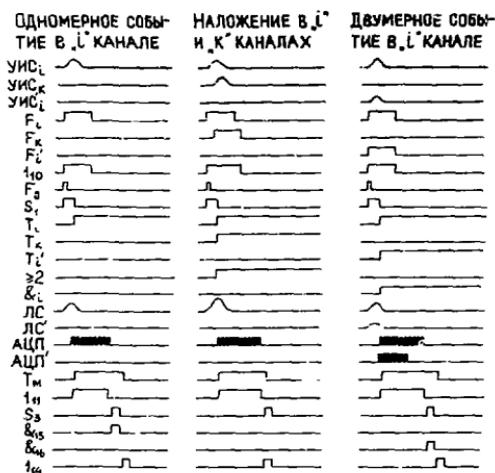


Рис. 4. Временные диаграммы работы спектрометра частиц отдачи. Обозначения соответствуют рис. 3.

регистрации он, через схему I_{14} , сразу идет на сброс триггеров блокировки.

При описании работы БКД мы опустили некоторые промежуточные элементы. Их назначение можно проследить по логической схеме /рис. 3/. Остановимся только на различных режимах работы БКД в зависимости от положения переключателей ПО-П7 и П8.

1/ Двумерный анализ. Включены 8 телескопов. Одномерные события не регистрируются. Все двумерные события записываются в регистр 11 БПП.

П8 - положение 2.

ПО-П7 - положение 2.

2/ То же, что и 1/, но разрешена запись одномерных событий группы F в каналах, выбранных переключателями $P_0 - P_7$. Двумерные события записываются в регистр 11 БПП, одномерные - в регистр 1 БПП.

П8 - положение 2.

ПО-П7 - по выбору.

3/ Одномерный анализ. Все шестнадцать каналов независимы. События группы F записываются в регистр 1 БПП, события группы F' - в регистр 11 БПП.

П8 - положение 1.

ПО-П7 - положение 1.

Амплитудно-цифровые преобразователи

Амплитудно-цифровые преобразователи построены по принципу преобразования амплитуды в серию импульсов и имеют следующие характеристики:

1/ частота генератора серия 50 мГц;

2/ число каналов 2^7 ,

3/ максимальное время преобразования 3,5 мкс, в случае перегрузки 5 мкс,

4/ дифференциальная нелинейность 2% /не считая первые 9 каналов/.

Схема собственно преобразователя не является оригинальной разработкой, и поэтому мы ее не приводим. Опишем только согласование работы АЦП и БКД. Схема логики показана на рис. 3. На рис. 4 приведены времен-

ные диаграммы совместной работы БКД и АЦП для трех случаев:

1/ регистрация одномерного события;
2/ наложение импульсов в различных каналах, запрет регистраций;

3/ регистрация двумерного события;

Поясним *рис. 3* и *рис. 4*.

Одновибратор S_1 открывает линейные ворота кодировщиков и передним фронтом сбрасывает счетчики серии АЦП. Первый импульс серии взводит триггеры T_M или T'_M , которые блокируют прохождение импульсов F_B через схему $\&g$, т.е. организуют мертвое время всего спектрометра. Сбрасываются эти триггеры после записи информации в БПП или сразу /в случае запрета записи/ после окончания преобразования. В случае переполнения одного из счетчиков вводятся триггеры T_{II} или T'_{II} , которые запрещают запись, так же, как схема ≥ 2 . T_{II} и T'_{II} сбрасываются вместе с триггерами T_M .

Калибровка и контроль

Для установления соответствия между энергией, принимаемой частицей в полупроводниковом детекторе, и амплитудой регистрируемого импульса необходима калибровка спектрометрических каналов. Для этой цели используется генератор точной и стабильной амплитуды. Сигнал от генератора подается на контрольные входы предусилителей. Над полупроводниковыми детекторами помещается α -источник. Для каждого предусилителя устанавливается эквивалент генераторного импульса с энерговыделением α -частицы. Если контрольные входы всех предусилителей настроены идентично, то для детекторов небольшой емкости отдельной калибровки не требуется. Генератор точной и стабильной амплитуды выполнен аналогично ^{2/}. В блоке "Вишня" одинарной ширины размещен как источник опорного напряжения, регулируемый гелипотом, так и сам формирователь точной амплитуды. Для контроля во время набора статистики используется другой генератор стабильной амплитуды. Генератор име-

ет восемь каналов. Амплитуда в каждом канале регулируется независимо. Так как все каналы спектрометра работают в режиме антисовпадений, то генератор вырабатывает на выходах импульсы поочередно. Генератор имеет внутренний и внешний запуск с делением частоты. Наиболее эффективный контроль получается при запуске генератора с частотой, пропорциональной нагрузкам аппаратуры /например, от мониторинговых счетчиков или задержанный запуск от любого из спектрометрических каналов/. С помощью этого генератора контролируется стабильность работы спектрометра во времени и равенство эффективности всех каналов. В случае двумерного анализа контрольные сигналы с каждого выхода генератора разветвляются на соответствующие предусилители ΔE -, и E-каналов /в ΔE -канал - через аттенуатор/.

Разрешение по энергии

Разрешение по энергии обуславливается несколькими факторами:

- 1/ собственным разрешением электроники;
- 2/ шумами полупроводниковых детекторов;
- 3/ сдвигом базовой линии при высоких нагрузках;
- 4/ наложении импульсов.

Собственное разрешение электроники /предусилителей/ около $6 \text{ кэВ} + 0,07 \text{ кэВ/пФ} \cdot C \text{ пФ}$.

Разрешение кремниевых детекторов для α -частиц с энергией 5 МэВ от 30 кэВ для поверхностно-барьерных детекторов средних толщин до 100 кэВ для толстых литий-дрейфовых с большими токами утечки. Таким образом, собственное разрешение электроники становится заметным только для очень тонких детекторов с емкостями несколько сот пикофарад. При работе на ускорителе в условиях неравномерного сброса на мишень искажение спектра из-за сдвига базовой линии может быть очень существенным. В нашем конкретном случае сдвиг и размытие контрольного генераторного пика на 2-3 канала /при общем числе каналов 128/ наблюдались уже при нагрузках $5-10 \text{ кГц}$ /для одно-

полярных импульсов шириной 1,6 мкс/. Включение перед АЦП восстановителей постоянной составляющей позволило работать с нагрузками до 20 кГц без заметного искажения спектров. При таких суммарных нагрузках восьмиканального спектрометра наложения импульсов в каждом канале еще не существенны. Наложения импульсов в различных каналах вызывают запрет регистрации, как уже говорилось выше.

Иллюстрация работы спектрометра

В настоящее время спектрометр работает на синхротроне ЛВЭ на линии с ЭВМ БЭСМ-4 в эксперименте по изучению упругого dd -рассеяния.

На рис. 5 приведен двумерный спектр энерговыделения частиц отдачи в одном из $\Delta E-E$ телескопов от вза-

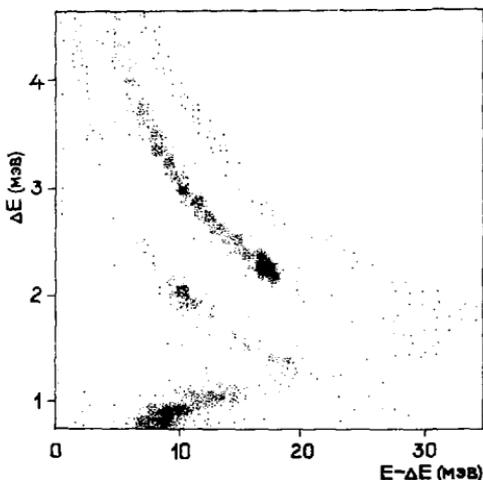


Рис. 5. Двумерный спектр частиц отдачи одного из $\Delta E-E$ каналов, полученный при взаимодействии дейтронов 8 ГэВ с дейтерированным полиэтиленом. На рисунке видны ветви тритонов, дейтронов, протонов и ветвь частиц, пролетающих оба детектора насквозь.

модействии пучка дейтронов 8 ГэВ с дейтерированным полиэтиленом. При этом были включены все восемь спектрометрических каналов, т.е. измерения проводились одновременно в восьми угловых точках. На рис. 5 видны четыре ветви /сверху вниз/: тритоны, дейтроны, протоны и ветвь частиц, пролетающих оба детектора насквозь. Сгущение событий на дейтронной и протонной ветвях соответствуют упругому dd- и dp-рассеянию. На рис. 6 приведены амплитудные спектры ΔE и $E-\Delta E$, полученные суммированием по строкам и столбцам соответственно двумерного спектра, приведенного на рис. 5.

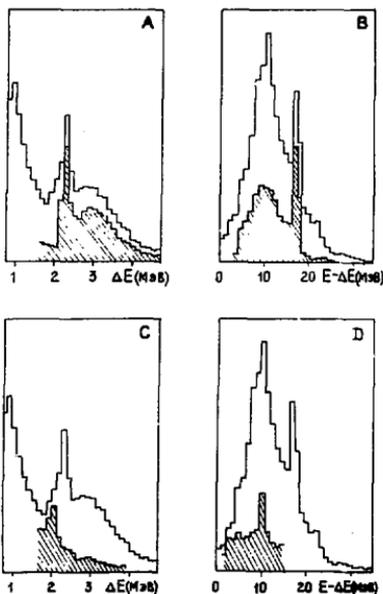


Рис. 6. Амплитудные спектры частиц отдачи ΔE и $E-\Delta E$, полученные суммированием по строкам и столбцам соответственно двумерного спектра, приведенного на рис. 5. На рис. 6А и 6В штрихом показаны распределения дейтронов, на рис. 6С и 6Д - протонов.

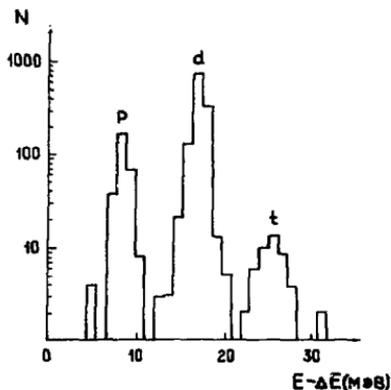


Рис. 7. Иллюстрация разделения частиц в $E-\Delta E$ канале. Спектр получен сечением двумерного спектра фиксированной энергией ΔE -счетчика в области упругого dd -пика.

На рис. 6А и 6В заштрихованная гистограмма - дейтроны, рядом с упругим пиком - дейтроны отдачи от реакции с развалом налетающего дейтрона. На рис. 6С и 6Д заштрихованная гистограмма - протоны, виден упругий пик от примеси водорода в дейтерированном полиэтилене.

Рис. 7 иллюстрирует разделение частиц в $E-\Delta E$ канале /толстый детектор/. Спектр получен сечением двумерного спектра, приведенного на рис. 5, фиксированной энергией ΔE - счетчика в области упругого dd -пика. /Для упрощения иллюстраций амплитудные каналы были просуммированы по 4, т.е. на всех рисунках вместо спектра 128×128 приведен спектр 32×32 /.

В заключение авторы выражают благодарность Я.Хвачевской, Б.Мадйчик, В.Зломанчуку /ПНР/, Б.П.Осипенко и сотрудникам его группы Е.Береги, Й.Крациковой, К.Моравской за изготовление полупроводниковых детекторов для спектрометра, Т.Ф.Грабовской за участие в изготовлении электроники, Л.Ф.Кирилловой и Г.Г.Безногих за программное обеспечение связи спектрометра с вычислительной машиной.

Литература

1. *Г.И.Забякин, Л.С.Золин и др. Препринт ОИЯИ, 13-3397, Дубна, 1967.*
2. *Б.Ю.Семенов, О.В.Ломакин. Сообщение ОИЯИ, Р13-6925, Дубна, 1973.*

*Рукопись поступила в издательский отдел
19 мая 1975 года.*



Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*

