

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2072 / 2-80

12/5-80
13-80-36

Ю.К.Акимов, И.И.Гайсак, Д.Дорчиоман,
Д.Лазарович, С.И.Мерзляков, К.О.Оганесян,
Е.А.Пасюк, С.Ю.Пороховой, А.И.Руденко

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГОДОСКОП-СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИЙ
С УЧАСТИЕМ ПИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Направлено в ПТЭ

1980

Акимов Ю.К. и др.

13-80-36

Широкоапертурный сцинтилляционный годоскоп-спектрометр для исследования реакций с участием пионов низких энергий

Приводится описание сцинтилляционного годоскопа для исследований реакций с участием пионов с энергией до 100 МэВ. Годоскоп может работать с твердыми и газовыми мишенями. В нем регистрируются продукты взаимодействия в интервале углов $20^\circ \div 160^\circ$. Используются двухслойные детекторы с органическими и неорганическими CsI(Tl) сцинтилляторами, что позволяет разделять и идентифицировать продукты реакций. Разрешение детекторов при спектрометрировании частиц лучше 10%. Рассмотрены возможности измерений упругого рассеяния пионов на протонах, полных сечений (π^+ , π^-)-реакций. Приведены оценки фоновых условий и результаты испытаний на пучке пионов синхроциклотрона ЛЯП.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Akimov Yu.K. et al.

13-80-36

Large-Solid-Angle Scintillation Hodoscope-Spectrometer for Investigation of Reactions

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы происходит интенсивное развитие исследований взаимодействия пионов малых и промежуточных энергий с ядрами. С точки зрения проявления деталей механизма пион-ядерного взаимодействия и ядерной структуры большой интерес представляет исследование процессов взаимодействия пионов в области энергий до 100 МэВ, т.е. при энергии, где в малой степени сказывается поглощение пионов ядром.

Важным направлением исследований является также изучение процессов упругого рассеяния пионов низких энергий на водороде и дейтерии, а также окологорогового рождения пионов пионами.

Исследование процессов с участием пионов низких энергий предъявляет ряд требований к регистрирующей аппаратуре, связанных с относительно малым сечением взаимодействий, с относительно низкими интенсивностями пионных пучков, с трудностями детектирования и спектрометрирования низкоэнергичных продуктов реакций. В этой связи особенно важны совершенствование методов исследования и разработка детекторов, отвечающих требованиям низкоэнергичной пионной физики.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ совместно с МИФИ и ИЯИ АН СССР завершается создание установки "Пион", предназначенной для исследования процессов с участием пионов низких энергий. Составными частями установки являются: сцинтилляционные и полупроводниковые спектрометры, пропорциональные и дрейфовые камеры. Ряд детектирующих устройств установки и методических исследований по ним описаны в работах ¹⁻⁸. В настоящей работе рассматривается основной сцинтилляционный элемент установки - широкоапертурный годоскоп-спектрометр.

2. КОНСТРУКЦИЯ ГОДОСКОПА

Годоскоп состоит из 12 счетчиков с пластмассовыми сцинтилляторами площадью 100×200 мм² и толщиной 90 мм /рис. 1/. Поверхности четырех центральных счетчиков /6/ выложены пластинами из неорганического сцинтиллятора CsI(Tl) /10/. Сцинтилляторы собраны в блоки таким образом, что их поверхности образуют рабочий объем в виде полого параллелепипеда длиной 600 мм и сечением 100×100 мм². Сцинтилляторы заключены в корпус /8/ из

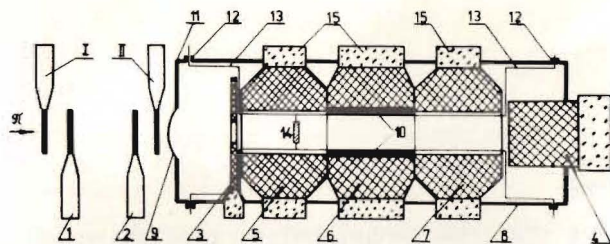


Рис. 1. I, II - счетчики время-пролетной системы. 1, 2 - мониторные счетчики; 3 - счетчик антисовпадений; 4 - торцевой счетчик; 5, 6, 7 - сцинтилляторы счетчиков годоскопа; 8 - корпус; 9 - входное окно; 10 - сцинтилляторы CsI(Tl); 11 - фланец корпуса; 12 - вакуумный ввод; 13 - тяги системы передвижения твердой мишени 14; 15 - световоды.

нержавеющей стали. В зависимости от требований эксперимента корпус может быть заполнен газом или откачан для работы с твердыми мишенями или для измерения фона. Корпус рассчитан на давление до 10 атм и работу со взрывоопасными газами. Сигналы от сцинтилляторов /5/, /6/ и /7/ выводятся через световоды /15/ к фотоумножителям. Пучок частиц проходит через мониторные счетчики /1/ и /2/, и через входное окно /9/ попадает в объем корпуса /8/. Пройдя отверстие счетчика антисовпадений /3/, частицы входят в рабочий объем, за которым установлен торцевой счетчик /4/. Сцинтилляторы всех счетчиков покрыты алюминированной майларовой пленкой и светоизолированы друг от друга.

Входное окно /9/ может закрываться майларом или нержавеющей сталью толщиной 0,1 мм. В корпусе имеются вакуумные вводы /12/ для тяг /13/ системы передвижения и смены твердых мишеней /14/. Твердая мишень в виде пластинки может передвигаться на длину 570 мм без нарушения вакуума в корпусе. Возможна замена одной мишени другой и вывод ее из пучка для проведения фоновых измерений.

Контакт пластин из CsI(Tl) и световодов с пластмассовыми сцинтилляторами осуществляется через оптическую замазку. Последовательное заполнение корпуса газами и откачка при его испытаниях показали, что происходит адсорбция газа-мишени замазкой и последующая его десорбция. В результате десорбции в слое замазки между пластинами CsI(Tl) и сцинтилляторами, а также между сцинтилляторами и световодами возможны нарушения

оптического контакта в виде пузырьков и разводов. Для их предотвращения было проведено исследование вызывающих эти нарушения условий и установлен специальный режим откачки и наполнения мишени, исключающий появление нежелательных эффектов.

Выбор размеров сцинтилляторов годоскопа и рабочего объема определяется геометрией пучка, технологическими возможностями изготовления пластин из CsI(Tl) и энергией продуктов реакций исследуемых физических процессов. Выбранная толщина пластмассовых сцинтилляторов достаточна для остановки в них пионов с энергией до 70 МэВ. Толщина устанавливаемых в годоскопе пластин CsI(Tl) может варьироваться от нескольких сот микрон до 12 мм. В пластине наибольшей толщины могут останавливаться протоны с энергией 70 МэВ.

При испытаниях и работе годоскопа на пучках мезонного тракта синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ размеры мониторного счетчика /2/ и окна в счетчике антисовпадений /3/ были выбраны равными 50x50 мм², что позволило исключить частицы пучка, попадающие на сцинтилляторы годоскопа. При указанных размерах счетчиков в годоскопе можно регистрировать продукты взаимодействия в интервале углов 20÷160°.

Сцинтилляторы счетчиков объединены в три секции: /5/, /6/, /7/, конструктивно независимые друг от друга, что упрощает их сборку и позволяет, удаляя любую из секций, изменять рабочий объем, вводить иные детектирующие устройства.

3. СЧЕТЧИКИ

Для пластин CsI(Tl), используемых в годоскопе, были проведены исследования энергетического разрешения, относительного световыхода для протонов, дейтонов и альфа-частиц, зависимости световыхода от энергии и места попадания частицы, толщины поверхностного нечувствительного слоя. Исследования проводились на монохроматических пучках протонов, дейтонов и альфа-частиц с энергией до 15 МэВ тандем-генератора Центрального института физики в Бухаресте /1,2/.

Полученные результаты показали, что энергетическое разрешение для протонов изменяется от 8,5% при энергии 3 МэВ до 5,7% - при энергии 15 МэВ. Зависимость световыхода от энергии протонов от 3 до 100 МэВ линейна /рис. 2 и 3/ /12,9/. Толщина поверхностного нечувствительного слоя оказалась равной ~5 мг/см². Отдельные пластины отличались в световыходе максимумом в 1,4 раза. Для годоскопа выбирались лучшие пластины с одинаковыми характеристиками и группировались по две на каждый из четырех центральных счетчиков. Разброс величин сигналов для полного спектрометрического тракта, включающего пластину

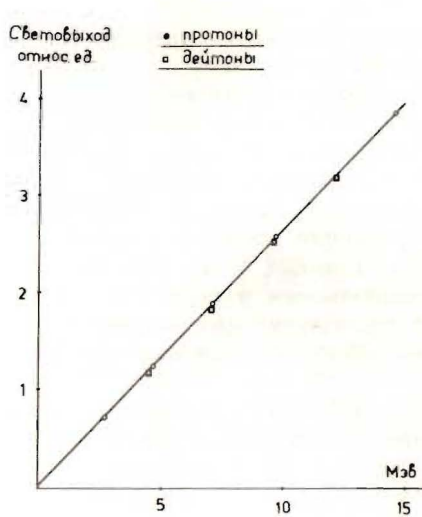


Рис. 2. Зависимость световыходов в CsI(Tl) от энергии для протонов и дейтронов.

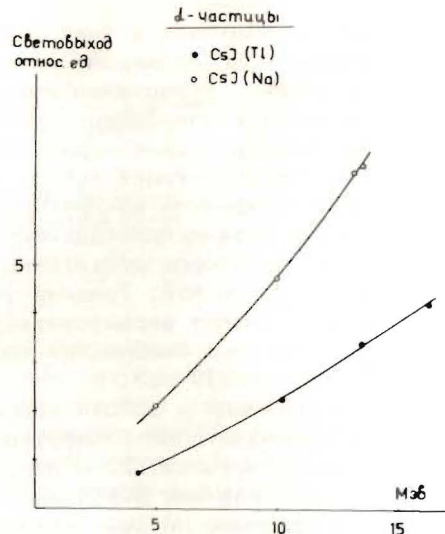


Рис. 3. Зависимость световыходов в CsI(Tl) и CsI(Na) от энергии альфа-частиц.

CsI(Tl) /10/, пластмассовый сцинтиллятор /6/, световод /15/, в зависимости от точки поверхности сцинтиллятора на площади $100 \times 200 \text{ мм}^2$, не превышал 9%. Необходимо заметить, что эти исследования проводились на двухслойном счетчике, тождественном по параметрам счетчикам /6/ в центральной части годоскопа.

В используемых пластмассовых сцинтилляторах проведены измерения световыхода для мюонов и пионов в интервале энергий $20 \div 80 \text{ МэВ}$ и для протонов - в интервале энергий $20 \div 200 \text{ МэВ}$ /7/. Установлено, что зависимость световыхода от энергии линейна, и световыходы для мюонов, пионов и протонов одних и тех же энергий одинаковы /см. рис. 4-6/.

В счетчиках боковых секций /5/ и /7/ использованы ФЭУ-110, в счетчиках центральной секции /6/ - ФЭУ-49Б. Все ФЭУ работают в спектрметрическом режиме. Подбор делителей ФЭУ производился также и выравниванием зонных характеристик по площади фотокатода с помощью импульсных источников света, устанавливаемых в центре фотокатода и на расстоянии 30 и 60 мм /для ФЭУ-49Б/ от центра. ФЭУ с кристаллом NaI(Tl) диаметром 70 мм и высотой 70 мм имеют разрешение не хуже 8% от γ -источника ^{60}Co . Все они закрыты экранами для исключения влияния магнитных полей.

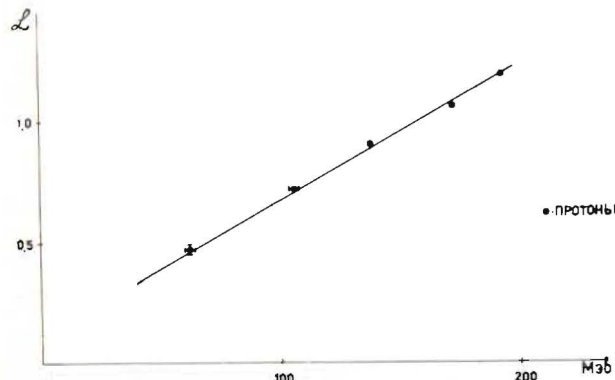


Рис. 4

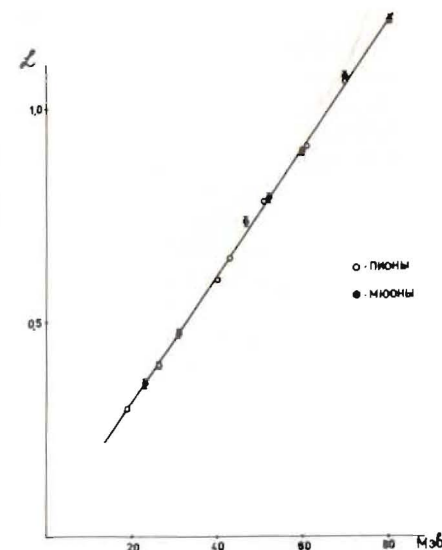


Рис. 5

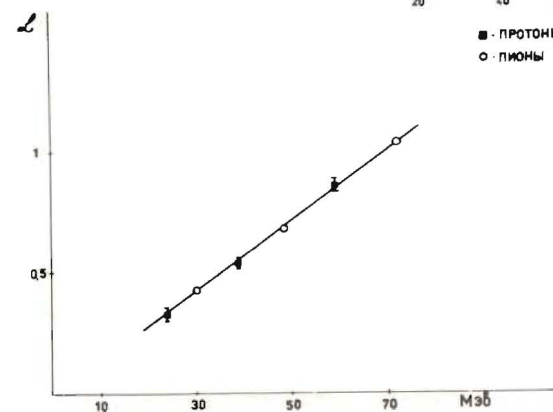


Рис. 6

Рис. 4, 5, 6. Зависимость световыходов в пластмассовом сцинтилляторе на основе полистирола от энергии: для протонов - 4; для пионов и мюонов - 5; для пионов и протонов - 6.

В счетчике антисовпадений /3/ использовался ФЭУ АУР-56. Неэффективность антисовпадений измерялась при замене сцинтиллятора с отверстием - на сплошной. Она оказалась равной $2 \cdot 10^{-4}$. В счетчике /4/ установлен ФЭУ ХР-2040. Этот счетчик может выполнять несколько функций: работать в режиме антисовпадений, регистрировать нейтроны, а также идентифицировать и спектрометрировать π^+ -мезоны с энергиями до 100 МэВ. В режиме идентификации π^+ -мезонов эффективность регистрации счетчика /4/ составляет $\sim 47\%$ при разрешении ≤ 2 МэВ для π^+ -мезонов с энергией 40 МэВ.

4. ПРИНЦИП РАБОТЫ

Принцип работы годоскопа следующий. Продукты взаимодействия пиона попадают в детекторы. Акт взаимодействия регистрируется по одновременному появлению импульсов совпадений от мониторных счетчиков и счетчиков годоскопа и отсутствию сигналов антисовпадений. Слой CsI(Tl) служит для регистрации и спектрометрирования короткопробежных частиц и γ -квантов, пластмассовые сцинтилляторы - для выделения длиннопробежных частиц и нейтронов. Полученный таким образом управляющий импульс разрешает отбор событий, удовлетворяющих кинематике исследуемого процесса. Каждый конкретный процесс характеризуется определенной комбинацией сигналов от детекторов в зависимости от типа, числа регистрируемых частиц и их проникающей способности. Необходимые логические и спектрометрические сигналы выделяются электронной блок-схемой, затем информация направляется для обработки на ЭВМ.

Электронная блок-схема собрана из блоков ядерной электроники, разработанных в Лаборатории ядерных проблем /10,11/. Импульсы частиц, зарегистрированных в CsI(Tl) и пластмассовых сцинтилляторах, разделяются специально разработанными электронными схемами - дискриминаторами формы импульсов /ДФИ/, предназначенными для разделения сигналов от двухслойного сцинтилляционного детектора по форме выходного импульса ФЭУ и спектрометрирования сигнала от сцинтиллятора CsI(Tl).

Блок-схема ДФИ приведена на рис. 7. Она работает в амплитудном диапазоне $\sim 700 / 7$ мВ ± 5 В/. Выходные сигналы соответствуют стандарту NIM. На выходах ДФИ формируются логические сигналы частиц, остановившихся в слое CsI(Tl) /выход "р"/, остановившихся или прошедших пластмассовый сцинтиллятор /выходы " π " и " π^+ "/. Выход "АА" используется для амплитудного анализа сигналов от CsI(Tl).

Счетчики с двухслойными сцинтилляторами совместно с дискриминаторами формы импульса выполняют важнейшие функции годо-

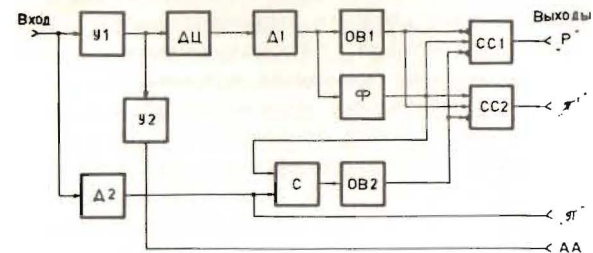


Рис. 7. Блок-схема дискриминатора формы импульса: У - усилитель, Д - дискриминатор нижнего уровня, ДЦ - дифференцирующая цепь, ОВ - одновибратор, Ф - формирователь импульса по заднему фронту входного сигнала, С - смеситель, СС - схема совпадений.

скопа - разделяют частицы по их проникающей способности. Поэтому необходимо было тщательно исследовать эффективность разделения частиц, регистрируемых в каждом слое.

Измерения проводились в прямых пучках протонов и пионов мезонного тракта ЛЯП на счетчике, идентичном устанавливаемому в годоскопе. Толщина слоя CsI(Tl) варьировалась от 2 до 10 мм, толщина пластмассового сцинтиллятора - от 25 до 250 мм.

Измерения подтвердили надежность выбранного метода идентификации частиц в годоскопе. Так, для протонов с энергией 25 МэВ, полностью останавливающихся в слое CsI(Tl), отношение счетов на выходах ДФИ N_{π^+} / N_{π^-} составило $\sim 0,015$. Измеренный энергетический спектр протонов пучка с выхода "АА" с точностью до 2% по ширине распределения совпал со спектром, измеренным методом кривой поглощения.

В свою очередь, для пионов, проходящих сквозь слой CsI(Tl), отношение счетов N_{π^+} / N_{π^-} составило $\sim 0,001$.

5. УСЛОВИЯ РАБОТЫ И ФОН

Возможности и условия работы годоскопа можно проанализировать на примерах использования его для исследований некоторых конкретных физических процессов.

Наиболее простой режим измерений реализуется при регистрации на совпадении с пучковой частицей одиночного продукта ее взаимодействия. Таким образом можно измерять упругое рассеяние пионов на ядрах. Эта возможность была проверена на пучке пионов мезонного тракта синхроциклотрона ЛЯП. Были проведены

измерения фоновых условий и оценена скорость счета при измерениях дифференциальных сечений упругого рассеяния пионов с помощью интегрального метода, рассмотренного в работе^{12/}. Информация о дифференциальных сечениях извлекается из зависимости скорости счета от положения мишени в рабочем объеме.

Основным источником фона при регистрации упруго рассеянных пионов таким методом являются мюоны, полученные вследствие распада пионов пучка. Величина фона зависит от энергии пионов /уменьшается с ее ростом/, от размеров окна счетчика антисовпадений /увеличивается с увеличением этих размеров/, а также существенным образом - от номера секции /растет по мере удаления от счетчика антисовпадений/. Методом Монте-Карло были проведены расчеты фона от мюонов для различных энергий пионов и при разных размерах окна счетчика антисовпадений. Сопоставление расчетных величин с фоновыми измерениями в откачанном корпусе показали, что большую часть загрузки всех трех секций можно приписать распадным мюонам.

Скорость счета и уровень фона можно проиллюстрировать на примере проведенных измерений с алюминиевой мишенью. Для мишени размером $0,5 \times 5 \times 5$ см³, расположенной в начале рабочего объема, облучаемой пучком пионов энергии 100 МэВ с интенсивностью $4 \cdot 10^8$ с⁻¹, счет полезных событий от третьей секции /находящейся в наиболее худших по фону от мюонов условиях/ составил 16 с⁻¹ при фоновой загрузке 26 с⁻¹. Соответствующее такой скорости счета дифференциальное сечение $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta = 6^\circ) \approx 100$ мб согласуется с ожидаемым.

Для идентификации частиц не использовались критерии по энергывыделению в счетчиках годоскопа. Привлечение спектрометрической информации позволяет решать более тонкие задачи в рассматриваемом режиме регистрации одиночного продукта взаимодействия. Например, была проанализирована и показана возможность измерений на установке полных сечений (π^+ , π^0) реакций, приводящих к образованию изолированного возбужденного изобарного аналогового состояния /ИАС/. Метод измерения заключается в регистрации в слое CsI(Tl) распадных протонов с определенной энергией из возбужденных уровней ИАС.

Возможности годоскопа в наибольшей степени могут проявиться при исследовании реакций с регистрацией двух и более частиц - продуктов взаимодействия.

Особенно эффективным представляется исследование процессов упругого рассеяния пионов с энергией в несколько десятков МэВ на протонах и дейтронах. Мишенью служит газообразный водород или дейтерий, заполняющие корпус годоскопа. При измерении дифференциальных сечений упругого πp -рассеяния регистрируются на совпадении рассеянные пион и протон с одновременным измерением энергии протона, остановившегося в слое CsI(Tl). Для

идентификации упругого πd -рассеяния необходимо измерить энергию и дейтрона, и пиона. Давление газа выбирается таким, чтобы для детектируемых частиц разброс их потерь энергии в газе не превышал энергетического разрешения детекторов CsI(Tl).

В качестве примера приведем оценки возможностей годоскопа при измерении упругого (πp)-рассеяния с энергией пионов 40 МэВ. Дифференциальные сечения могут быть измерены в угловом диапазоне / 30° - 150° /. Угловое разрешение определяется рассмотренными выше значениями энергетического разрешения и составляет 4° - 6° . Ожидаемая скорость счета для пучка пионов с интенсивностью 10^5 с⁻¹ при давлении водорода 2 атм. составит ~ 1 с⁻¹.

Для определения уровня фона были проведены измерения скоростей счета совпадений пучкового пиона с сигналами от двух любых боковых граней откачанного годоскопа. Для пучка с интенсивностью $2 \cdot 10^4$ с⁻¹ число таких совпадений составляло $0,12$ с⁻¹ при числе случайных совпадений, в 20 раз меньшем. Введение отбора событий дискриминатором формы импульса по проникающей способности снижает величину фона более чем в 10 раз.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение перечислим основные особенности установки, позволяющие эффективно использовать ее для исследования процессов с участием пионов низких энергий:

1. Близкое к мишени расположение детекторов, снижающее потери и порог при регистрации частиц.
2. Большой телесный угол /геометрическая эффективность центральной части годоскопа со сцинтилляторами CsI(Tl) при работе с газовой мишенью 0,5, а для твердой мишени - 0,9/.
3. Применение двухслойных детекторов, позволяющее разделять короткопробежные и длиннопробежные частицы и идентифицировать их.
4. Спектрометрирование частиц /протонов до энергий 70 МэВ, пионов до 30 МэВ в CsI(Tl), протонов до энергий 200 МэВ и пионов до энергий 100 МэВ в детекторе пионов/.
5. Регистрация реакций с несколькими конечными частицами, в том числе возможность регистрации γ -квантов и нейтронов.
6. Использование как газовых, так и твердых мишеней. Возможность регулирования давления.
7. Отсутствие громоздких систем, обеспечивающее мобильность установки и использование ее на разных пучках частиц.

Авторы выражают благодарность М.М.Кузнецову и Ш.Г.Шамсутдинову за большую работу по сборке и наладке годоскопа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорчиоман Д. и др. ПТЭ, 1977, 4, с.74.
2. Дорчиоман Д. и др. ОИЯИ, P1-10910, Дубна, 1977.
3. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 13-11717, Дубна, 1978. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 13-11718, Дубна, 1978.
4. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 1-11845, Дубна, 1978.
5. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 13-12385, Дубна, 1979.
6. Горбунов В.К. и др. ОИЯИ, 13-12386, Дубна, 1979.
7. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 13-12636, Дубна, 1979.
8. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, 13-12921, Дубна, 1979.
9. Будяшов Ю.Г. и др. ОИЯИ, P1-5682, Дубна, 1971.
10. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
11. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, P13-12334, Дубна, 1979.
12. Гайсак И.И., Оганесян К.О. ОИЯИ, 13-12004, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 января 1980 года.

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

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

P1,2-7642	Труды Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973.	7 р. 15 к.
D1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	2 р. 60 к.
D6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1975.	1 р. 90 к.
D13-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	4 р. 20 к.
D1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
D13-9287	Труды VIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1975.	5 р. 00 к.
D7-9734	Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов /Дубна, 1975/.	3 р. 00 к.
D2-9788	Нелокальные, нелинейные и неренормируемые теории поля /Алушта, 1976/.	2 р. 40 к.
D-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
D9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
D2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D10,11-11264	Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.