

УДК 539.107.5

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

АКИМОВ Ю. К., ГАЙСАК И. И., ДОРЧИОМАН Д. *, ЛАЗАРОВИЧ Д. *, МЕРЗЛЯКОВ С. И.,
ОГАНЕСЯН К. О., ПАСЮК Е. А., ПОРОВОЙ С. Ю., РУДЕНКО А. И.

Описан сцинтилляционный годоскоп для исследования реакций с участием пионов с энергией до 100 МэВ. Годоскоп может работать с твердыми и газовыми мишенями. Используются двухслойные детекторы с органическими и неорганическими CsJ(Tl)-сцинтилляторами, что позволяет разделять и идентифицировать продукты реакции. Энергетическое разрешение детекторов лучше 10%. Приведены результаты испытаний годоскопа на пучке пионов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

В Лаборатории ядерных проблем (ЛЯП) ОИЯИ совместно с Московским инженерно-физическим институтом и Институтом ядерных исследований АН СССР завершается создание установки «Пион», предназначенной для исследования процессов взаимодействия с участием пионов низких энергий. Составными частями установки являются сцинтилляционные и полупроводниковые спектрометры, пропорциональные и дрейфовые камеры. Ряд детектирующих устройств установки и методических исследований на них описаны в работах [1 ÷ 8]. В данной работе рассматривается основной сцинтилляционный элемент установки — широкоапертурный годоскоп-спектрометр.

Конструкция годоскопа. Конструкция годоскопа представлена на рис. 1. Годоскоп состоит из 12 счетчиков с пластмассовыми сцинтилляторами площадью 100×200 мм² и толщиной 90 мм. Поверхности четырех центральных счетчиков 6 годоскопа выложены пластинками из неорганического сцинтиллятора CsJ(Tl) (10). Сцинтилляторы собраны в блоки так, что их поверхности выделяют рабочий объем в виде полого параллелепипеда длиной 600 мм и сечением 100×100 мм². Сцинтилляторы заключены в корпус 8 из нержавеющей стали. В зависимости от требований эксперимента корпус может быть заполнен газом или откачан для работы с твердыми мишенями или измерения фона. Корпус рассчитан на давление до 10 атм и работу со взрывоопасными газами. Сигналы от сцинтилляторов 5 ÷ 7 выводятся через световоды 15 к фотоумножителям. Пучок частиц проходит через счетчики-мониторы 1, 2 и через входное окно 9 попадает в объем корпуса 8. Пройдя отверстие счетчика антисовпадений 3, частицы входят в рабочий объем. За рабочим объемом установлен торцевой счет-

чик 4. Сцинтилляторы всех счетчиков покрыты алюминизированным майларом 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. Возможны замены одной мишени на другую и вывод мишени из пучка для проведения фоновых измерений.

Размеры сцинтилляторов годоскопа и рабочего объема определяются геометрией пучка, технологическими возможностями изготовления пластин из CsJ(Tl) и энергиями продуктов реакций исследуемых физических процессов. Выбранная толщина пластмассовых сцинтилляторов достаточна для останова в них пионов с энергией до 70 МэВ. Толщина устанавливаемых в годоскопе пластин CsJ(Tl) может изменяться от нескольких сотен микрометров 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 мониторингового счетчика 2 и окна в счетчике антисовпадений 3 были выбраны равными 50×50 мм². При указанных размерах счетчиков в годоскопе можно регистрировать продукты взаимодействия в интервале углов $20 \div 160^\circ$.

Сцинтилляторы счетчиков объединены в три секции 5, 6 и 7, конструктивно независимые друг от друга. Это упрощает сборку и позволяет, удаляя любых из них, изменять рабочий объем, вводить иные детектирующие устройства.

Счетчики. На пластинах CsJ(Tl), используемых в годоскопе, были проведены исследования энергетического разрешения, относитель-

* Центральный институт физики, Бухарест, Румыния.

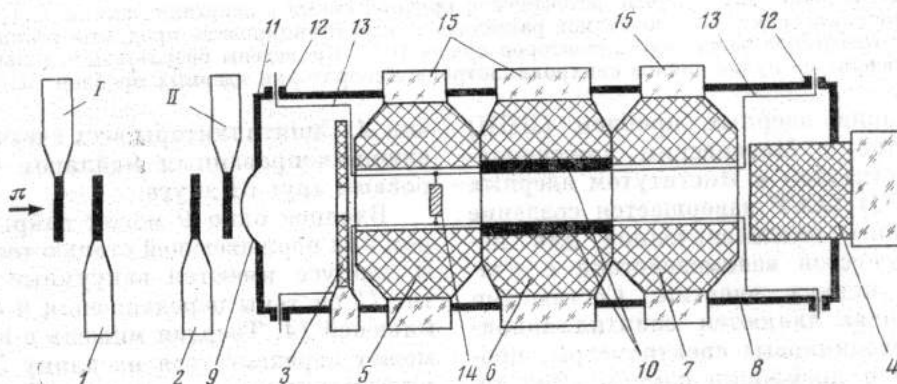


Рис. 1. Конструкция годоскопа. I, II — счетчики время-пролетной системы; 1, 2 — счетчики-мониторы, 3 — счетчик антисовпадений, 4 — торцовый счетчик, 5 ÷ 7 — сцинтилляторы счетчиков годоскопа, 8 — корпус, 9 — входное окно, 10 — сцинтилляторы CsJ(Tl), 11 — фланец корпуса, 12 — вакуумный ввод, 13 — тяги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

ного световыхода для протонов, дейтронов и α -частиц, зависимости световыхода от энергии и места попадания частицы, толщины поверхностного нечувствительного слоя. Исследования проводились на монохроматических пучках протонов, дейтронов и α -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 в диапазоне 3 ÷ 100 МэВ линейна (рис. 2 и 3) [1, 2, 9]. Толщина поверхностного нечувствительного слоя оказалась

равной ~ 5 мг/см². Отдельные пластины отличались по световыходу максимально 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, содержащего пластину CsJ(Tl), пластмассовый сцинтиллятор и световод в зависимости от точки поверхности сцинтиллятора на площади 100×200 мм² не превышал 9%. Необходимо отметить, что эти исследования проводились на двухслойном счетчике, тождественном по параметрам счетчикам 6 в центральной части годоскопа.

На используемых пластмассовых сцинтилляторах проведены измерения световыхода для мюонов и пионов в интервале энергий 20 ÷ 80 МэВ и для протонов в интервале энергий 20 ÷ 200 МэВ [7]. Установлено, что зависимость световыхода от энергии линейна и световыходы для мюонов, пионов и протонов одинаковых энергий одинаковы (рис. 4 и 5).

В счетчиках боковых секций 5 и 7 использованы ФЭУ-110, в счетчиках центральной секции 6 — ФЭУ-49Б. Все ф.э.у. работают в спектрометрическом режиме. Подбор делителей ф.э.у. производился с 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. Все ф.э.у. с кристаллом NaJ(Tl) ϕ 70 и высотой 70 мм имеют разрешение не хуже 8% от γ -излучения ⁶⁰Со. Все ф.э.у. закрыты экранами для исключения влияния магнитных полей.

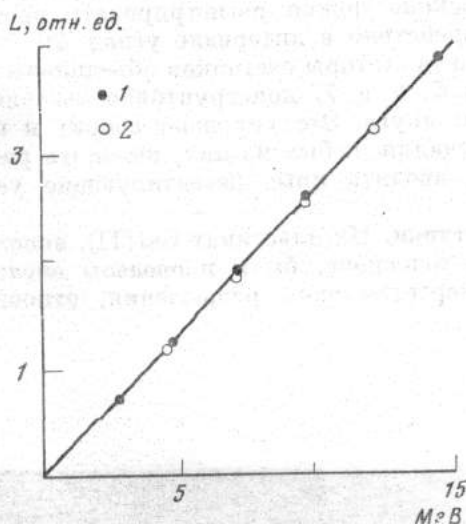


Рис. 2. Зависимость световыхода в CsJ(Tl) от энергии протонов (1) и дейтронов (2)

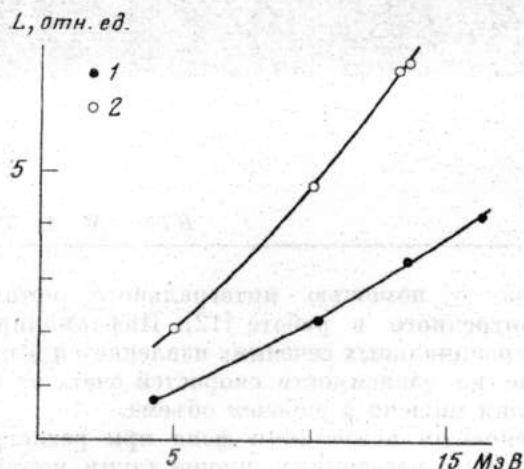


Рис. 3. Зависимость световыхода в CsJ(Tl) (1) и CsJ(Na) (2) от энергии α -частиц

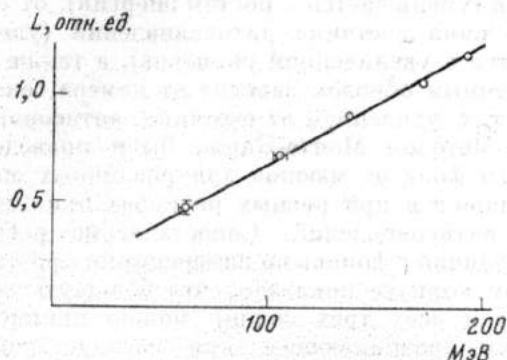


Рис. 4. Зависимость световыхода в пластмассовом сцинтилляторе на основе полистирола от энергии протонов

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

Принцип работы. Принцип работы годоскопа следующий. Продукты взаимодействия пионов с мишенью попадают в детекторы. Акт взаимодействия регистрируется по одновременному появлению импульсов совпадений от мониторинговых счетчиков и счетчиков годоскопа и отсутствию сигналов антисовпадений. Слой

CsJ(Tl) служит для регистрации и измерения энергии короткопробежных частиц и фотонов γ -излучения, 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 системой, затем информация направляется для обработки на э.в.м.

Электронная система собрана из блоков, разработанных в Лаборатории ядерных проблем [10, 11]. Импульсы от частиц, зарегистрированных в CsJ(Tl)- и пластмассовых сцинтилляторах, разделяются специально разработанными электронными схемами — дискриминаторами формы импульсов. Дискриминатор формы импульса (д.ф.и.) предназначен для разделения сигналов от двухслойного сцинтилляционного детектора по форме выходного импульса ф.э.у. и измерения сигнала от сцинтиллятора.

Блок-схема д.ф.и. приведена на рис. 6. Схема работает в амплитудном диапазоне ~ 700 (7 мВ ÷ 5 В). Выходные сигналы соответствуют стандарту NIM. На выходах д.ф.и. формируются логические сигналы от частиц, остановившихся в слое CsJ(Tl) (выход р), остановившихся или прошедших пластмассовый

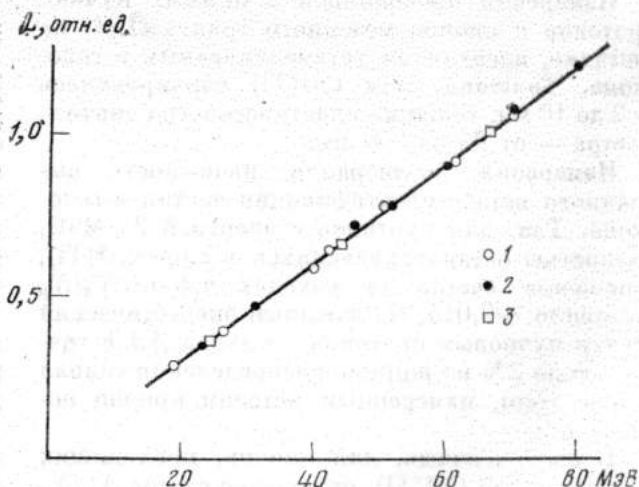


Рис. 5. Зависимость световыхода в пластмассовом сцинтилляторе от энергии пионов (1), мюонов (2) и протонов (3)

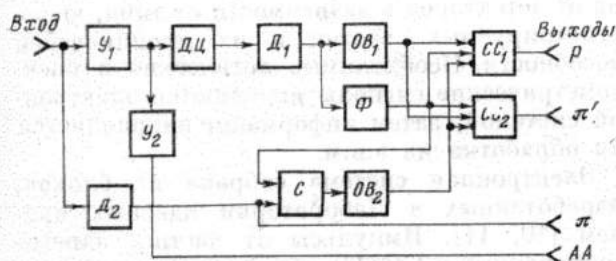


Рис. 6. Блок-схема дискриминатора формы импульса: $У$ — усилитель, $Д$ — дискриминатор нижнего уровня, $ДЦ$ — дифференцирующая цепь, $ОВ$ — одновибратор, $Ф$ — формирователь импульса по заднему фронту входного сигнала, $С$ — смеситель, $СС$ — схема совпадений

сцинтиллятор (выходы Π и Π'). Выход $АА$ используется для амплитудного анализа сигналов от $CsJ(Tl)$.

Счетчики с двухслойными сцинтилляторами совместно с д.ф.и. выполняют важнейшие функции годоскопа — разделяют частицы по проникающей способности. Поэтому необходимо было тщательное исследование эффективности разделения частиц, регистрируемых в каждом слое.

Измерения проводились в прямых пучках протонов и пионов мезонного тракта ЛЯП на счетчике, идентичном устанавливаемым в годоскопе. Толщина слоя $CsJ(Tl)$ 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 $CsJ(Tl)$, отношение счетов на выходах д.ф.и. N_{π}/N_p составило $\sim 0,015$. Измеренный энергетический спектр пучковых протонов с выхода $АА$ с точностью до 2% по ширине распределения совпал со спектром, измеренным методом кривой поглощения.

В свою очередь, для пионов, проходящих насквозь слой $CsJ(Tl)$, отношение счетов N_p/N_{π} составило $\sim 0,001$.

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

Наиболее простой режим измерений реализуется при исследовании упругого рассеяния пионов на ядрах. Эта возможность была проверена на пучке пионов мезонного тракта синхротронного ЛЯП. Был измерен фон и оценена скорость счета при измерениях дифференциальных сечений упругого рассеяния

пионов с помощью интегрального метода, рассмотренного в работе [12]. Информация о дифференциальных сечениях извлекается в этом случае из зависимости скоростей счета от положения мишени в рабочем объеме.

Основным источником фона при регистрации упруго рассеянных пионов таким методом являются мюоны от распада пионов пучка. Величина фона от мюонов зависит от энергии пионов (уменьшается с ростом энергии), от размеров окна счетчика антисовпадений (увеличивается с увеличением размеров), а также существенным образом зависит от номера секции (растет с удалением 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 при откачанном корпусе показало, что большую часть загрузки всех трех секций можно приписать мюонам, возникающим при распаде пионов пучка.

Скорости 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 с энергией 100 МэВ и интенсивностью $4 \cdot 10^9$ с⁻¹, счет полезных событий от третьей секции (находящейся в самых худших условиях по фону от мюонов) составил 16 с⁻¹ при фоновой загрузке 26 с⁻¹. Соответствующее такой скорости счета дифференциальное сечение $d\sigma/d\Omega$ ($\theta = 6^\circ$) $\simeq 100$ мбарн согласуется с ожидаемым.

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 мегаэлектрон-вольт на протонах и дейтронах. Мишенью служит газообразный водород или дейтерий, заполняющий корпус годоскопа. При измерении дифференциальных сечений упругого π -рассеяния регистрируются на совпадении рассеянные пион и протон с одновременным измерением энергии протона, остановившегося в слое $CsJ(Tl)$. 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 был не больше энергетического разрешения детекторов.

В качестве примера приведем оценки возможностей годоскопа при измерении упругого P_r -рассеяния при энергии пионов 40 МэВ. Дифференциальные сечения могут быть измерены в угловом диапазоне $30 \div 150^\circ$. Угловое разрешение определяется рассмотренными выше значениями энергетического разрешения и составляет $4 \div 6^\circ$. Ожидаемая скорость счета для пучка пионов с интенсивностью 10^6 с^{-1} при давлении водорода 2 атм составит $\sim 1 \text{ с}^{-1}$.

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

В заключение перечислим основные особенности установки, позволяющие эффективно использовать ее для исследования процессов с участием пионов низких энергий: расположение детекторов вблизи мишени, снижающее потери и порог при регистрации частиц; большой телесный угол (геометрическая эффективность центральной части годоскопа со сцинтилляторами CsJ(Tl) при работе с газовой мишенью имеет величину 0,5, а в случае твердой мишени — 0,9); применение двухслойных детекторов, позволяющее разделять короткопробежные и длиннопробежные частицы и идентифицировать их; возможность измерения энергии частиц (протонов до энергий 70 МэВ, пионов до 30 МэВ в CsJ(Tl), протонов до энергий 200 МэВ и пионов до энергий 100 МэВ в детек-

торе пионов); возможность регистрации реакций с несколькими конечными частицами, в том числе возможность регистрации фотонов γ -излучения и нейтронов; использование как газовых, так и твердых мишеней, возможность регулирования давления; отсутствие громоздких систем, обеспечивающих мобильность установки и использование ее на разных пучках частиц.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорчиоман Д., Константин М., Лазарович Д. и др. ПТЭ, 1977, № 4, с. 74.
2. Дорчиоман Д., Константин М., Лазарович Д. и др. Препринт ОИЯИ, Р1-10910, Дубна, 1977.
3. Акимов Ю. К., Курепин А. Б., Изуев Нок Лам и др. Сообщение ОИЯИ, 13-11717, Дубна, 1978; Акимов Ю. К., Курепин А. Б., Мерзляков С. И. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-117-18, Дубна, 1978.
4. Акимов Ю. К., Горнов М. Г., Буров Ю. В. и др. Препринт ОИЯИ, 1-11845, Дубна, 1978.
5. Акимов Ю. К., Краснов В. А., Курепин А. Б. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-12385, Дубна, 1979.
6. Горбунов В. К., Краснов В. А., Курепин А. Б. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-12986, Дубна, 1979.
7. Акимов Ю. К., Мерзляков С. И., Ованесян К. О. и др. Препринт ОИЯИ, 13-12635, Дубна, 1979.
8. Горнов М. Г., Буров Ю. В., Лапушкин С. В. и др. Препринт ОИЯИ, 13-12921, Дубна, 1979.
9. Будяшов Ю. Г., Зинов В. Г., Конин А. Д. и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-5682, Дубна, 1974.
10. Борейко В. Ф., Будяшов Ю. Г., Валуге Ю. М. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
11. Борейко А. Ф., Будяшов Ю. Г., Валуге Ю. М. и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-12334, Дубна, 1979.
12. Гайсак И. И., Ованесян К. О. Сообщение ОИЯИ, 13-12004, Дубна, 1979.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
Поступила в редакцию 1.II.1980