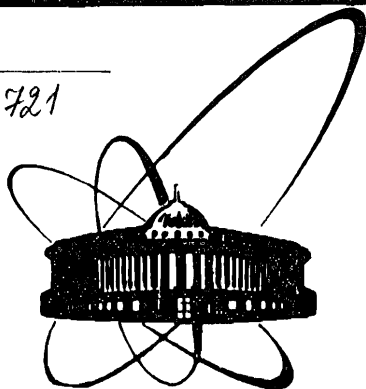


А 421



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

СЗ44.1с1

13-87-344

Ю.М.Антипов*, Н.П.Буданов*, Ю.П.Горин*,
Р.Лейтнер, Г.В.Мицельмахер, А.А.Ноздрин,
А.Г.Ольшевский, А.И.Петрухин*

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ
СПЕКТРОМЕТРЫ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
УСТАНОВКИ СИГМА-АЯКС

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

*Институт физики высоких энергий, Серпухов

1987

Введение

Для регистрации и спектрометрии вторичных частиц с энергией до нескольких сотен МэВ в ряде установок применяются детекторы на основе пластических сцинтилляторов (например, /1-4/), использование которых позволяет создавать крупногабаритные спектрометры с высоким быстродействием и достаточно хорошим энергетическим разрешением (5-10)%.

В ОИЯИ и ИФВЭ в рамках программы СИГМА-АЯКС созданы широкоапертурные сцинтилляционные спектрометры, предназначенные для измерения энергии медленных частиц, в частности протонов отдачи, вылетающих из мишени под большими углами при облучении ее пучком частиц высоких энергий. В спектрометрах, один из которых имеет цилиндрическую геометрию, а два других - форму прямоугольного параллелепипеда, использовался пластический сцинтиллятор на основе полистирола с общим весом 1200 кг. Особенностью данных приборов является применение метода светосбора с помощью световодов - сместителей спектра. Использование этого метода, хотя и приводит к определенным потерям света, позволяет собирать свет с больших поверхностей, существенно упрощать конструкции детекторов, а также улучшать однородность светосбора.

Методические результаты исследований отдельной секции цилиндрического спектрометра опубликованы нами ранее /5/. В настоящей работе приводим описание и результаты испытаний спектрометров в целом, в том числе их характеристики, полученные при регистрации протонов отдачи в условиях реального физического эксперимента на ускорителе ИФВЭ.

Описание спектрометров

На рис.1 приведен схематический вид цилиндрического (с неполной апертурой) и двух прямоугольных сцинтилляционных спектрометров, расположенных так, как они использовались в экспериментах по изучению процессов упругого и радиационного рассеяния Π^- и K^- -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на протонах. По оси цилиндрического спектрометра располагалась жидководородная мишень. Между мишенью и спектрометрами размещались трековые детекторы.

Цилиндрический спектрометр представляет собой полый цилиндр с внутренним и внешним диаметрами 570 и 1070 мм соответственно и длиной 800 мм. Он разбит по окружности на 32 независимые секции, имеющие в сечении вид трапеции с основаниями 56 и 106 мм и высотой 250 мм. Каждая секция состоит из двух склеенных между собой блоков сцинтиллятора длиной 400 мм.

Симметрично расположенные относительно мишени прямоугольные спектрометры имеют вид прямоугольных параллелепипедов ("стенок") с размерами 1200x848x250 мм³. "Стенка" состоит из 8 независимых секций сечением 106x250 мм² и длиной 1200 мм. Каждая секция сложена (без оптического контакта) из 3 блоков сцинтиллятора длиной 400 мм.

Пластический сцинтиллятор на основе полистирола с добавками 1,5% PPO и 0,05% POPOP или 2% p-терфенила и 0,02% POPOP изготавливался в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в виде больших блоков весом 75 кг. Затем они разрезались на блоки требуемых размеров. Полировались только грани блоков сцинтиллятора, через которые осуществлялся светосбор. Вообще, как показали измерения, полировка сцинтилляторов не улучшает существенно характеристик прибора.

Светосбор с каждой секции спектрометров осуществляется с помощью световода - сместителя спектра (размерами 10x90x1000 мм³ и 10x100x1200 мм³ для цилиндрического и прямоугольного детекто-

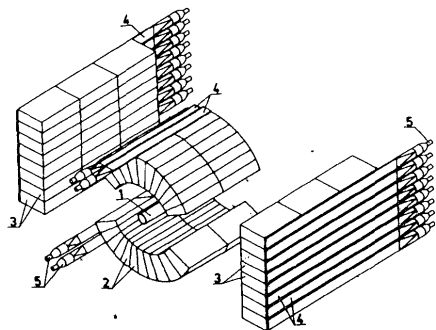


Рис.1. Схематический вид спектрометров. 1 - жидководородная мишень, 2 - блоки сцинтилляторов цилиндрического спектрометра, 3 - блоки сцинтилляторов прямоугольных спектрометров, 4 - световоды - сместители спектра, 5 - фотоумножители.

ров соответственно), накладываемого на сцинтиллятор без оптического контакта с внешней от мишени стороны (см. рис.1). Эти световоды изготовлены в ИФВЭ путем нанесения на полированную пластину из оргстекла вещества - сместителя спектра (пиразолина) /6/. К торцу световода - сместителя спектра приклеен световод обычного типа, а к нему - фотоумножитель ФЭУ-110 с диаметром фотокатода 60 мм. Сцинтилляционная секция и световоды обернуты алюминизированным майларом и, таким образом, светоизоляция секций друг от друга осуществляется двумя его слоями.

Конструкция цилиндрического спектрометра обеспечивает сборку сцинтилляционных секций с помощью фланцев и стяжек, крепление кожухов ФЭУ на ложементе и светоизоляцию. Элементы прямоугольных спектрометров располагаются в общем светонепроницаемом контейнере, наружу которого выведены разъемы питания и сигналов ФЭУ. Их магнитная защита в данном случае обеспечивается экранами из нескольких слоев пермаллоя и жести. Общий вид прямоуголь-

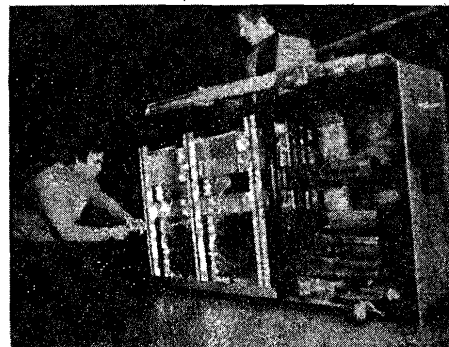


Рис. 2. Общий вид прямоугольного спектрометра.

ного спектрометра виден на рис.2. Количество постороннего вещества в спектрометрах на пути частиц до сцинтиллятора определяется защитными слоями майлара толщиной 100 мкм и черной бумаги.

Для обеспечения стабильности усиления фотоумножителей в условиях высоких нагрузок ($\sim 10^5$ частиц/с) последние четыре динода запитаны от отдельных сильноточных источников. Длительность импульсов с ФЭУ составляла около 50 нс. Сигналы с динодов используются при выработке триггера, а сигналы с анодов поступают на 10-битный преобразователь амплитуда-код. Для настройки и контроля временной стабильности каналов спектрометров к дальним от ФЭУ торцам световодов - сместителей спектра были приклеены светодиоды, а непосредственно на торцы ФЭУ - пластинки сцинтиллятора толщиной 100 мкм с альфа-источниками.

Испытания спектрометров на пучке П-мезонов и мюонов с энергиями 20+40 ГэВ

Процедура испытаний спектрометров в сборе аналогична описанной нами ранее для секции цилиндрического спектрометра /5/. С помощью телескопа счетчиков, определяющего область пучка сечением ~ 10 см², проводилось облучение секций спектрометров при раз-

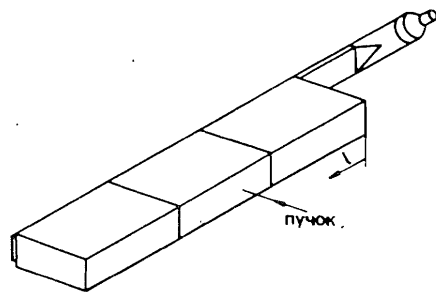
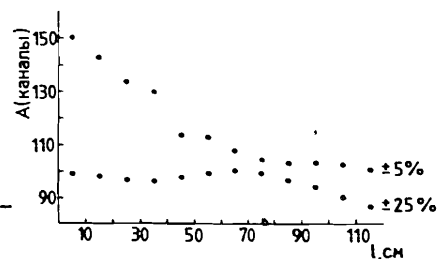


Рис.3. Схема измерения характеристик спектрометров на пучке частиц с энергиями 20+40 ГэВ.

Рис.4. Зависимость амплитуды импульса A от места облучения по длине сцинтилляционной секции: ● - без компенсации неоднородности светособирания, ○ - с компенсацией.



личных координатах ℓ по длине (см. рис.3). Полученные спектры имеют характерный вид распределения Ландау с разрешением 20–25% ($FWHM$). На рис.4 приведена типичная для отдельной секции "стенки" зависимость амплитуды импульсов от места облучения ℓ для двух случаев: без компенсации и с компенсацией неоднородности светособирания путем размещения полосы черной бумаги переменной ширины между сцинтиллятором и световодом – сместителем спектра. В первом случае неоднородность светособирания составляет $\pm 25\%$, а во втором – $\pm 5\%$. Такой простой способ компенсации (ставший возможным благодаря использованию световодов – сместителей спектра) позволил довести неоднородность светособирания для всех секций спектрометров до величины, не превышающей $\pm 5\%$.

Подготовленные спектрометры калибровались в рабочем для данного эксперимента положении (рис.1) на фоновых мюонах канала ускорителя, летящих вдоль оси пучка. Высокое напряжение на фотомножителях подбиралось так, чтобы амплитуды сигналов имели заданное значение. Величина сигнала от световода устанавливалась

примерно равной мюонному сигналу. Энергия, выделенная в сцинтилляторе ($2,5 \text{ МэВ/см} \times 120 \text{ см} = 300 \text{ МэВ}$ для секции "стенки"), ставилась в соответствие с отсчетами АЦП.

Калибровка прямоугольных спектрометров на протонах отдачи

В 1983–84 гг. на установке СИГМА-АЯКС был выполнен эксперимент по изучению процессов упругого и радиационного рассеяния Π^- и K^- -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с на протонах. В этом эксперименте рассеянные вперед мезоны регистрировались магнитным спектрометром (отдельные элементы установки описаны в работе /7/), а вылетающие из мишени протоны отдачи регистрировались двухплечевым спектрометром, каждое плечо которого состояло из сцинтилляционной "стенки" (см. рис.1), пропорциональных камер и тонкого запускающего сцинтилляционного счетчика, расположенного вблизи мишени и перекрывающего апертуру плеча (на рис. не показаны). Апертура плеч позволяла регистрировать протоны в диапазоне углов $45^\circ \pm 90^\circ$ при азимутальном акцептансе 21% от 2π .

Амплитудная информация записывалась с анодов фотомножителей "стенок", а сигналы с последних динодов служили для выработки триггера (с порогом, соответствующим энерговыделению $\sim 50 \text{ МэВ}$). Цилиндрический спектрометр в данном эксперименте работал не в спектрометрическом режиме и использовался как охранная система (динодные сигналы включались в триггере в антисовпадений).

Выделение в процессе обработки событий упругого рассеяния позволило провести сравнение предсказанных из кинематики реакции энергий протонов отдачи с амплитудами, регистрируемыми сцинтилляционными "стенками", и, таким образом, провести их калибровку до энергий $T \sim 300 \text{ МэВ}$. Были получены амплитудные распределения, соответствующие регистрации "стенками" протонов в определенном интервале кинетической энергии T (потери энергии в постороннем

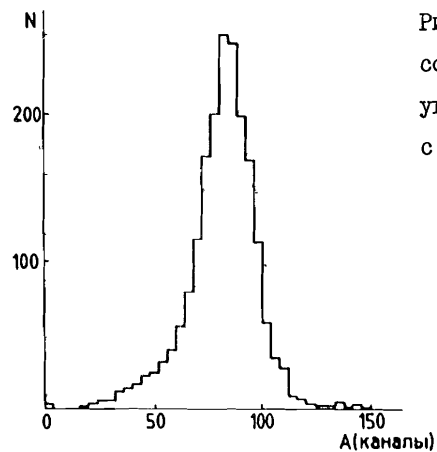
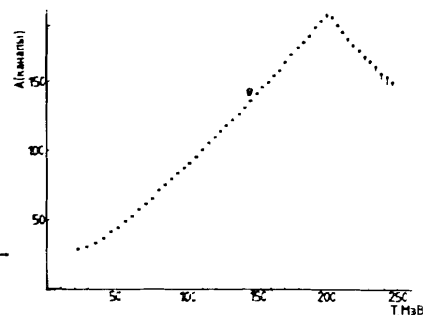


Рис. 5. Амплитудное распределение, соответствующее регистрации прямоугольными спектрометрами протонов с энергиями $98 \leq T < 102$ МэВ.

Рис. 6. Зависимость амплитуды импульса от кинетической энергии протонов.



веществе на пути частиц учитывались). На рис.5 приведен один из таких спектров, соответствующий $98 \leq T < 102$ МэВ. Спектры фиксировались распределением Гаусса, определялись амплитуды, соответствующие их максимумам и дисперсии. На рис.6 представлена зависимость этих амплитуд от энергии налетающего протона. Эта зависимость с хорошей точностью линейна в диапазоне от 50 до 200 МэВ, то есть до максимальной энергии, для которой пробег протона укладывается в слое сцинтиллятора, соответствующем толщине "стенки" — 250 мм (отклонение от линейности для энергий $T \leq 50$ МэВ является аппаратным эффектом и связано с искажением амплитудных спектров из-за триггерного отбора событий с порогом ~ 50 МэВ). Для протонов с $T > 200$ МэВ, пролетающих сквозь сцинтиллятор, амплитуда падает с ростом энергии вследствие уменьшения ионизационных потерь.

Оценка собственного энергетического разрешения спектрометров была проведена путем исключения из дисперсий спектров (см. рис.5) вклада следующих факторов: ширины энергетического интервала T в спектре и неопределенности в предсказании T из-за

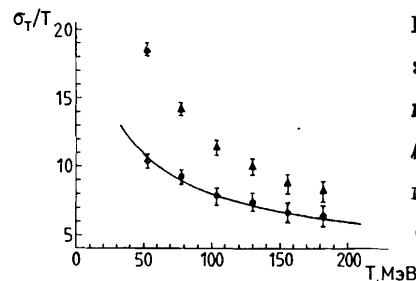


Рис. 7. Зависимость относительного энергетического разрешения прямоугольных спектрометров от энергии протонов: \blacktriangle — без коррекции; \bullet — после коррекции; кривая — результат аппроксимации (см. текст).

ошибок в определении углов и импульсов частиц, по которым проводилось это предсказание. На рис.7 приведены значения σ_T/T в зависимости от T , полученные без исключения вклада этих факторов (без коррекции) и после их исключения (после коррекции). Видно, что собственное разрешение спектрометров изменяется от 10% до 6% в диапазоне 50+200 МэВ. Эта зависимость может быть аппроксимирована следующим выражением: $(\sigma_T/T)^2 = 0,74^2/T + 0,03^2$, где T — кинетическая энергия протонов в МэВ. Первое слагаемое определяется статистическими флуктуациями числа фотоэлектронов на фотокатоде ФЭУ, а второе — неоднородностью светособирания.

Заключение

Опыт применения описанных спектрометров показал их надежную работу в условиях реального физического эксперимента при фоновых нагрузках $\sim 10^5$ частиц/с на канал. При рабочей апертуре каждого из плоских спектрометров — 1 м^2 и относительно малом количестве ФЭУ (8 шт.) энергетическое разрешение составляет

$$\sigma_T/T \approx 6\% \text{ для протонов с энергией } 200 \text{ МэВ.}$$

Дополнение созданных спектрометров системами счетчиков с соответствующей апертурой для измерения времени пролета регистрируемых частиц (или ионизационных потерь) позволит осуществлять идентификацию частиц по двум измеряемым параметрам.

Авторы выражают благодарность всему коллективу сотрудничества СИГМА-АЯКС за помощь в работе, В.С.Данко и В.И.Рыкалину за полезные обсуждения и содействие в изготовлении световодов - сместителей спектра, С.Л.Смирновой, Н.В.Виноградовой, З.Г.Зайцевой и Р.С.Гальпериной за большую работу по изготовлению сцинтилляторов.

Литература

1. Hartner G.F. et al. NIM, 1983, v. 216, p. 113.
2. Baden A. et al. NIM, 1982, v. 203, p. 189.
3. Акимов Ю.К. и др. ПТЭ, 1981, № 4, с.24.
4. Гаврилов В.Б. В кн.: Элементарные частицы. XI школа физики ИТЭФ. М.: Энергоатомиздат, 1984, вып. I, с.24.
5. Антипов Ю.М. и др. ПТЭ, 1983, № 6, с.26.
6. Васильев А.Н. и др. Препринт ИФВЭ 82-62, Серпухов, 1982.
7. Антипов Ю.М. и др. Препринт ИФВЭ 86-178, Серпухов, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 мая 1987 года.

Антипов Ю.М. и др.

13-87-344

Широкоапертурные сцинтилляционные спектрометры
полного поглощения установки СИГМА-АЯКС

Описаны широкоапертурные сцинтилляционные спектрометры полного поглощения, один из которых имеет цилиндрическую геометрию, а два других - форму прямоугольного параллелепипеда. Общий вес пластикового сцинтиллятора спектрометров - 1200 кг. Светосбор осуществляется с помощью световодов - сместителей спектра. Приведены результаты методических исследований спектрометров и характеристики, полученные при регистрации протонов отдачи в условиях реального физического эксперимента на ускорителе ИФВЭ. Неоднородность светособирания не превышает +5%. Энергетическое разрешение $\sigma_T/T \approx 6\%$ для протонов с энергией 200 МэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и ИФВЭ, Серпухов.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Antipov Yu.M. et al.

13-87-344

A Wide Aperture Total Absorption Scintillation
Spectrometers of SIGMA-AYAKS Installation

A wide aperture total absorption scintillation spectrometers, one having a cylindrical geometry and two others - rectangular parallelepiped form are described. Total weight of spectrometer plastic scintillator is 1200 kg. Wave length shifter bars are used for light collection. The results on methodical study of the spectrometers and the parameters obtained for recoil proton registration in real physical experiments on the Serpukhov accelerator are presented. The factor of nonuniformity of light collection does not exceed +5%. The energy resolution is $\sigma_T/T \approx 6\%$ for 200 MeV.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR and IHEP, Serpukhov.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987