

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.13

Г-192

2698/2-74

P13 - 7783

В.И.Ганичев, В.В.Круглов, А.В.Куликов,
А.В.Купцов, Л.Л.Неменов

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР

С ВОДЯНЫМ РАДИАТОРОМ

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

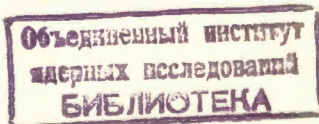
P13 - 7783

В.И.Ганичев, В.В.Круглов,* А.В.Куликов,*
А.В.Купцов, Л.Л.Неменов

ЧЕРЕНКОВСКИЙ СПЕКТРОМЕТР
С ВОДЯНЫМ РАДИАТОРОМ

Направлено в ПТЭ

* Филиал НИИЯФ МГУ, г. Дубна.



Ганичев В.И., Круглов В.В., Куликов А.В.,
Купцов А.В., Неменов Л.Л.

P13 - 7783

Черенковский спектрометр с водяным радиатором

Описывается черенковский спектрометр с радиатором размером $500 \times 500 \times 500$ мм³ из дистиллированной воды, sensibilizированной дикалиевой солью амино-Г-кислоты. Спектрометр позволяет измерять энергии электронов в диапазоне от 20 до 120 МэВ. При энергиях менее 100 МэВ энергетическое разрешение водяного спектрометра заметно превосходит аналогичную величину для стеклянных спектрометров полиого поглощения.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Ganichev V.I., Kruglov V.V., Kulikov A.V., P13 - 7783
Kuptsov A.V., Nemenov L.L.

A Čerenkov Spectrometer with the Water Radiator

A Čerenkov spectrometer having a $500 \times 500 \times 500$ mm³ radiator of distilled water sensitized with dipotassium salt of amine-G-acid is described. The spectrometer enables one to measure the electron energy in the range from 20 to 120 MeV. At the energies less than 100 MeV the energy resolution of the water spectrometer exceeds noticeably the analogous value for total absorption glass spectrometers.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

1. ВВЕДЕНИЕ

В ряде физических задач возникает необходимость измерения энергии электронов в диапазоне нескольких десятков МэВ. С этой целью широко используются черенковские спектрометры полного поглощения с радиатором из свинцового стекла. Однако амплитудное разрешение этих спектрометров зависит от энергии и при значениях ниже 100 МэВ сильно ухудшается. При регистрации электронов для уменьшения фона от медленных пи-мезонов целесообразно использовать в качестве радиатора вещество с меньшим показателем преломления. С этой точки зрения более выгодна вода ($n = 1,33$), для которой пороговая энергия E_{π} черенковского излучения пионов равна 71 МэВ по сравнению со значением $E_{\pi} = 36$ МэВ для свинцового стекла ($n = 1,65$). Достоинством воды является также отсутствие собственных сцинтилляций. Впервые водяной черенковский счетчик использовали Эдвардс и др.^{1/} для определения состава пучка мезонов. В настоящей работе описывается спектрометр с водяным радиатором, предназначенный для измерения энергии электронов и имеющий достаточно хорошее разрешение в диапазоне от 20 до 120 МэВ.

2. КОНСТРУКЦИЯ СПЕКТРОМЕТРА

Конструкция водяного черенковского спектрометра схематично показана на рис. 1. Радиатором является дистиллированная вода, заливаемая в плексигласовый бак с внутренними размерами $500 \times 500 \times 500$ мм³

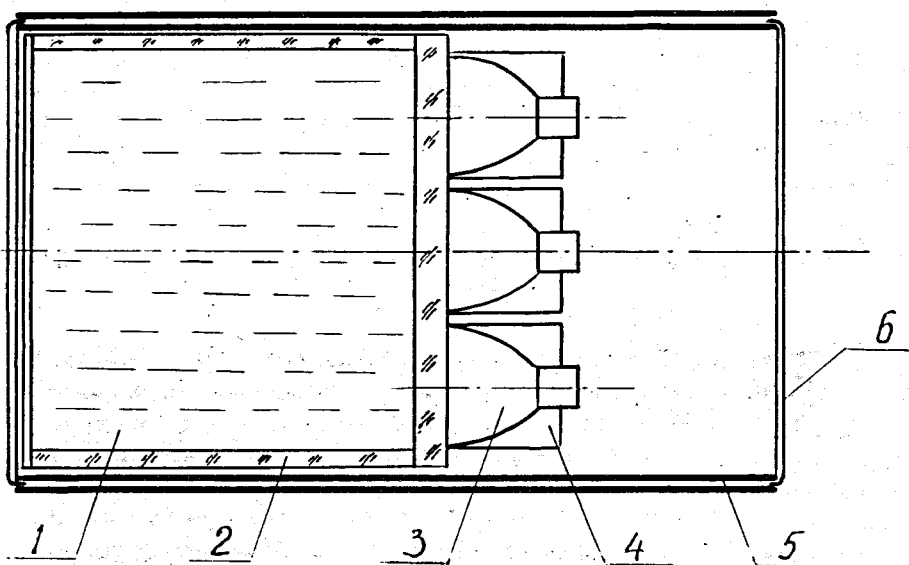


Рис. 1. Конструкция водяного черенковского спектрометра: 1 - дистиллированная вода, 2 - плексигласовый бак, 3 - фотоумножитель, 4 - экран из пермаллоя, 5 - двойной железный кожух, 6 - крышка.

/500 мм воды соответствуют 1,4 радиационной длины/. Толщина передней стенки бака - 7 мм. Для улучшения светосбора на внутреннюю поверхность бака нанесено диффузно отражающее водостойкое белое покрытие. Радиатор просматривается через заднюю стенку девятью фотоумножителями ФЭУ-49, находящимися в оптическом контакте со стенкой. Магнитная защита спектрометра состоит из общего двойного железного кожуха и экранов из отожженного пермаллоя, надетых на каждый фотоумножитель.

Сигналы со всех фотоумножителей суммируются в смесителе на резисторах, находящемся внутри корпуса спектрометра. Работа фотоумножителей контролируется с помощью светового диода, укрепленного на передней стенке бака. Специальная система контроля позволяет получать на выходе сигналы от отдельных фотоумножителей или любой их комбинации.

Для увеличения выходного сигнала со спектрометра дистиллированная вода была сенсibilизирована дикалиевой солью амино-Г-кислоты /далее амино-Г-соль/. Как показано в работах /2-4/, растворение в воде свободной амино-Г-кислоты или ее калиевых и натриевых солей позволяет сместить спектр черенковского излучения в область чувствительности сурьмяно-цезиевого фотокатода фотоумножителя.

3. ИЗМЕРЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОННОМ ПУЧКЕ

Спектрометр исследовался на мезонном тракте синхротрона ЛЯП в пучке электронов и смешанном отрицательном пучке π^- , μ^- -мезонов и электронов. Схема расположения детекторов приведена на рис. 2. Пучок электронов на мезонном тракте получался методом, описанным в /5/. Разброс электронных пучков по импульсу составлял $\pm 7\%$. Импульсы со спектрометра через схему пропускания подавались на анализатор АИ-4096.

На пучке электронов с энергией 44 МэВ изучалась зависимость амплитуды импульсов от концентрации амино-Г-соли. Концентрация изменялась последовательным добавлением амино-Г-соли с последующим тщательным перемешиванием раствора. Полученная зависимость наиболее вероятной амплитуды импульса от концентрации приведена на рис. 3. В качестве рабочего было принято значение 10 мг/литр, поскольку дальнейшее увеличение концентрации не приводит к существенному возрастанию амплитуды. Все характеристики спектрометра получены далее при этом значении концентрации.

На рис. 4 показана зависимость амплитудного разрешения водяного спектрометра от энергии электронов. Разрешение определялось как отношение ширины распределения на полувысоте к наиболее вероятной амплитуде. Для сравнения на том же рисунке сплошной кривой нанесена соответствующая зависимость, взятая из работы /6/, для спектрометра с радиатором из свинцового стекла. Стекланный радиатор имел такие же, как и водяной,

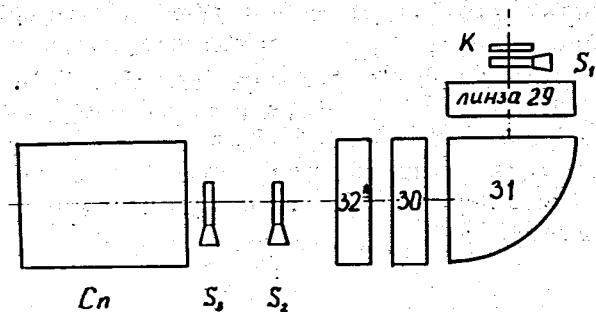


Рис. 2. Схема установки. C_n - спектрометр, S_1, S_2, S_3 - сцинтилляционные счетчики, K - свинцовый конвертор, 29, 30, 32-а - магнитные линзы, 31 - анализирующий магнит. При работе на смешанном пучке конвертор отсутствовал.

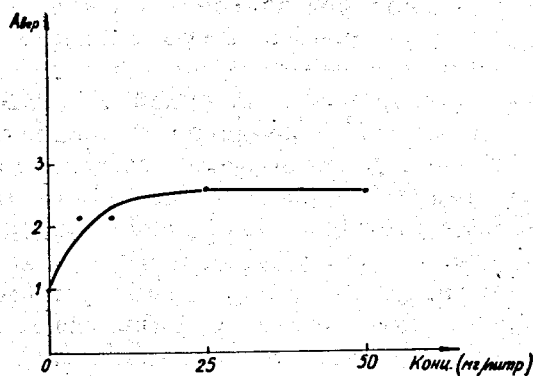


Рис. 3. Зависимость наиболее вероятной амплитуды $A_{вер}$ от концентрации аминок-Г-соли.

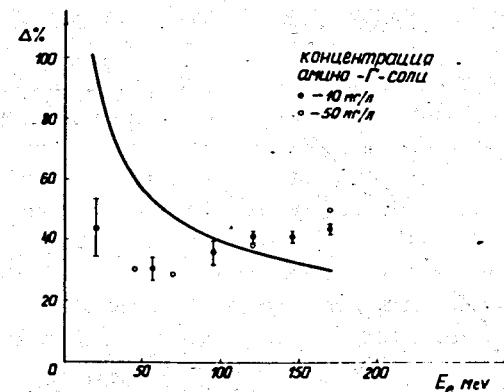


Рис. 4. Зависимость амплитудного разрешения водного спектрометра от энергии электронов. Сплошная кривая - то же для спектрометра со стеклянным радиатором.

поперечные размеры и так же просматривался девятью фотоумножителями ФЭУ-49. Из рис. 4 видно, что при энергиях ниже 100 МэВ разрешение водного спектрометра значительно лучше.

Наиболее вероятная амплитуда линейно растет при увеличении энергии электронов до 120 МэВ /рис. 5/. При дальнейшем увеличении энергии линейность нарушается и кривая быстро выходит на плато, так как пробег электронов уже не укладывается в толщине радиатора.

На рис. 6 показана форма спектров для электронов разных энергий. Около каждой кривой приведены соответствующие значения импульса электронов и разрешение спектрометра. При больших энергиях спектры не показаны, чтобы не загромождать рисунок. Отметим лишь, что наиболее вероятная амплитуда далее не увеличивается, а спад распределения в сторону больших амплитуд становится более пологим. Последнее связано, по-видимому, с увеличением средней энергии тормозных гамма-квантов, что приводит, во-первых, к росту сечения рождения электрон-позитронных пар, и, во-вторых, к увеличению пробегов частиц пары в воде.

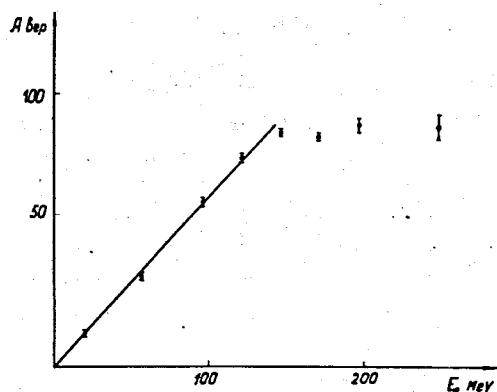


Рис. 5. Зависимость наиболее вероятной амплитуды $A_{\text{вер}}$ от энергии электронов.

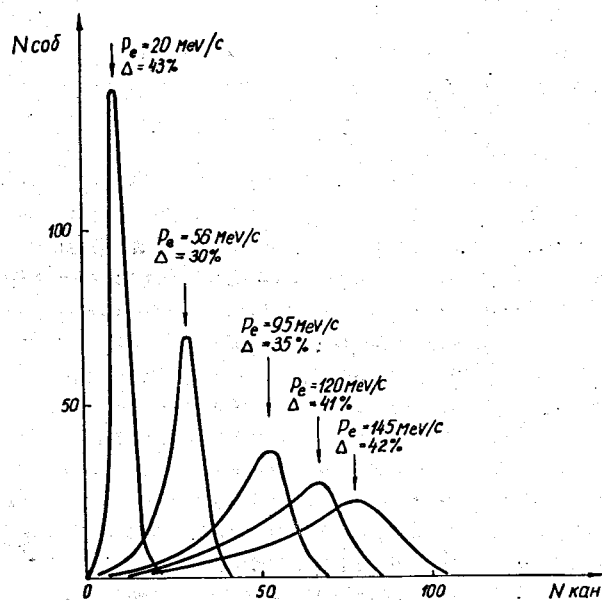


Рис. 6. Амплитудные спектры для пучков электронов разных энергий.

4. ИЗМЕРЕНИЯ НА СМЕШАННОМ ПУЧКЕ

Проведены измерения амплитудных спектров на смешанных пучках пи-, мю-мезонов и электронов при импульсах от 146 до 278 МэВ/с. Возможность использовать спектрометр для анализа процентного состава смешанного пучка зависит от того, насколько хорошо спектрометр разделяет различные компоненты пучка. В измерениях хорошее разделение π - и μ -пиков получено при импульсах пучка от 218 до 278 МэВ/с. На рис. 7 показан спектр при импульсе 278 МэВ/с. Как видно, пики от π - и μ -мезонов хорошо разделяются.

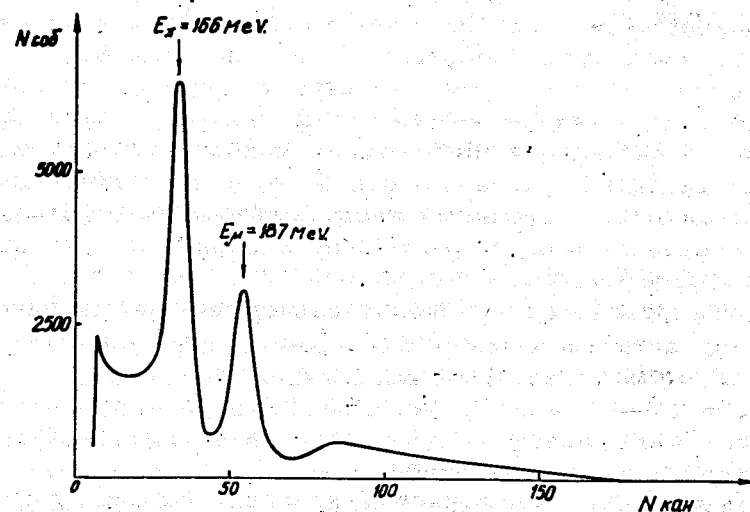


Рис. 7. Спектр, полученный на смешанном π -пучке с импульсом 278 МэВ/с. Пьедестал схемы пропускания - в районе 8-го канала.

Часть спектра, лежащая левее пи-мезонного пика, объясняется, во-первых, тем, что часть пионов испытывает сильные взаимодействия в передней стенке и радиаторе спектрометра, и, во-вторых, случайными совпадениями в схеме, открывающей линейные ворота /спектро-

метр в эту схему не включался; случайные совпадения составляли 7% от скорости счета частиц в пучке/. Пик от электронов выражен слабо и, как отмечалось выше, имеет пологий спад в сторону больших амплитуд, так как импульс электронов лежит далеко от области линейности спектрометра. При больших импульсах измерения не проводились, однако расчет показывает, что водяной спектрометр позволяет разрешать π^- и μ^- пики при увеличении импульса пучка до 340 МэВ/с. Заметим, что часть π^- -мезонов испытывает перезарядку в радиаторе, и электроны, возникающие при конверсии гамма-квантов от распада π^0 -мезонов, дают вклад по всему амплитудному спектру. Это приводит к завышению доли электронов и μ^- -мезонов в пучке.

Важной характеристикой черенковских спектрометров является величина коэффициента светосбора. В данной работе определялся не непосредственно коэффициент светосбора, а его произведение η на квантовую чувствительность фотокатода. Величина η находилась как отношение среднего числа фотоэлектронов N , вылетевших из фотокатода, к среднему числу черенковских фотонов N_0 , образовавшихся в радиаторе в диапазоне чувствительности фотокатода.

Для определения N использовались спектры пи- и мю-мезонов, а также электронные спектры при малых энергиях. В этом случае радиационные потери малы и, так же как и для π^- и μ^- -мезонов, можно считать, что ширина пика обусловлена только статистическими флуктуациями числа фотоэлектронов.

Значения N_0 вычислялись по известным формулам следующим образом. Среднее число фотонов, образовавшихся на длине l в радиаторе с показателем преломления n при движении частицы со скоростью β в диапазоне чувствительности сурьмяно-цезиевого фотокатода, равно /1/ :

$$N'_0 = 400 l \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2}\right). \quad /1/$$

Действие сместителя спектра приводит к увеличению числа фотонов в области чувствительности фотокатода в нашем случае, как видно из рис. 3, в 2,5 раза:

$$N'_0 = 1000 l \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2}\right). \quad /2/$$

Интегрируя формулу /2/ по l для учета зависимости β от l , можно получить значение N_0 .

Вычисления N и N_0 были проведены при разных импульсах пучка отдельно для пионных, мюонных и электронных пиков и дали следующие значения η :

Тип частиц	Энергия, МэВ	$\eta, \times 10^{-2}$
π^- -мезоны	136	$1,3 \pm 0,2$
π^0 -мезоны	166	$0,8 \pm 0,1$
μ^- -мезоны	155	$0,8 \pm 0,2$
μ^+ -мезоны	187	$1,1 \pm 0,1$
электроны	20	$0,8 \pm 0,4$
электроны	56	$0,7 \pm 0,2$

Ошибки, приведенные в таблице, учитывают погрешности измерений и не включают неточности коэффициента в формуле /2/.

Средневзвешенное значение равно:

$$\eta = 1,0 \pm 0,1 / \cdot 10^{-2}.$$

Полученное значение произведения коэффициента светосбора на квантовую чувствительность фотокатода было использовано для оценки эффективности регистрации π^- и μ^- -мезонов различных энергий. Произведение величины η на полное число черенковских фотонов N_0 , вычислявшееся указанным выше способом, равно среднему количеству фотоэлектронов N , возникающих на фотокатоде. Эффективность вычислялась как вероятность образования ненулевого числа фотоэлектронов при среднем их количестве, равном N . Заметим, что в этих вычислениях знание численного значения коэффициента в формуле /2/ не обязательно, так как в произведении ηN_0 он сокращается. График зависимости эффективности регистрации π^- и μ^- -мезонов от их кинетической энергии при нулевом пороге в спектрометре представлен на рис. 8. На рис. 9 показана аналогичная расчетная зависимость для электронов. По оси абсцисс отложена энергия электронов непосредственно при входе в воду. Ошибки, нанесенные

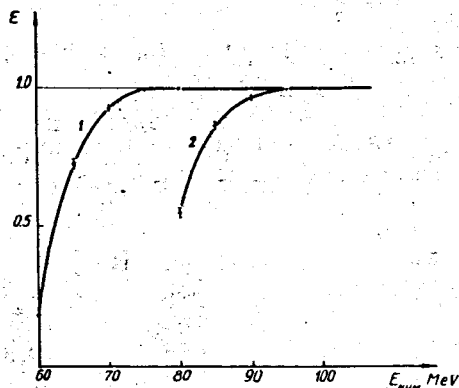


Рис. 8. Зависимость эффективности регистрации от кинетической энергии при нулевом пороге в спектрометре: 1 - для μ -мезонов, 2 - для π -мезонов.

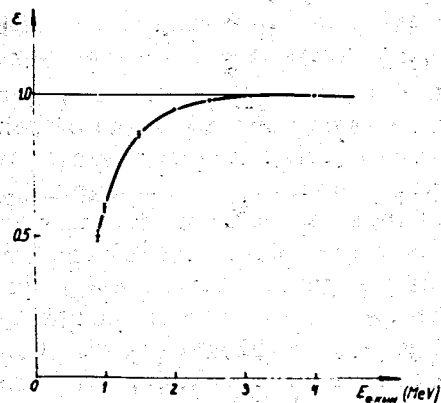


Рис. 9. Зависимость эффективности регистрации электронов от их кинетической энергии при входе в воду при нулевом пороге в спектрометре.

на этих рисунках, связаны только с относительной неопределенностью величины η .

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минимальная энергия электронов, при которой калибровался водяной спектрометр, равна, как указывалось, 20 МэВ. Однако эта величина не является предельной. Как видно из рис. 9, спектрометр может эффективно регистрировать электроны с энергиями менее 10 МэВ. Отсутствие измерений в этой области объясняется тем, что в нашем распоряжении не было электронного пучка малой энергии с достаточной интенсивностью.

В заключение авторы выражают благодарность В.С.Роганову за помощь в получении пучков при измерениях, а также В.Б.Швецову за участие в изготовлении спектрометра.

Литература

1. D.N.Edwards, G.F.Frank, J.R.Holt. Proc.Phys.Soc., 73, 856 (1959).
2. E.Heiberg and J.Marshall. Rev.Sci.Instr., 27, 618 (1956).
3. K.Saito and K.Suga. Nuovo Cim., II, 60 (1959).
4. А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Ю.М.Чиркин. ПТЭ, 4, 70 /1971/.
5. В.С.Роганов. Сообщение ОИЯИ, Б1-9-4707, Дубна, 1969.
6. С.Ф.Бережнев и др. Сообщение ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1972.
7. High Energy and Nuclear Physics Data Handbook, Rutherford High Energy Laboratory, Chilton, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 марта 1974 года.