

С 344.9
П-166

В.С. Пантуев

2100

РАЗРАБОТКА И НАЛАДКА
АППАРАТУРЫ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЧЕРЕНКОВСКИМИ СЧЕТЧИКАМИ
ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук

И.В.Чувило

Дубна 1965

В.С. Пантуев

2100

С 344.1
П-166

РАЗРАБОТКА И НАЛАДКА
АППАРАТУРЫ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ
ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
ЧЕРЕНКОВСКИМИ СЧЕТЧИКАМИ
ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук

И.В. Чувило



Быстрое развитие физики элементарных частиц неразрывно связано с успехами в разработке методов и приборов, применяемых в эксперименте. К числу наиболее эффективных экспериментальных методов, получивших в настоящее время широкое распространение, относится метод регистрации излучений с помощью черенковских счетчиков.

Среди счетчиков, использующих черенковское излучение, значительное место занимают "толстые" счетчики, массивный радиатор которых предназначен поглощать большую часть энергии регистрируемой частицы. Такими счетчиками могут решаться различные задачи. Наиболее типичными из них являются:

1. регистрация гамма-квантов с высокой эффективностью,
2. спектрометрия, основанная на полном поглощении,
3. пороговая дискриминация, позволяющая выделять среди однородных частиц с широким энергетическим спектром частицы, имеющие максимальные энергии.

Органической частью черенковского спектрометра является электронная аппаратура, необходимая для решения этих задач, как-то: амплитудные анализаторы, линейные ускорители, схемы пропускания, схемы совпадения и т.д.

Данная диссертация представляет собой попытку обобщения опыта построения черенковских спектрометров и применения их в некоторых экспериментах на ускорителях частиц высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. В диссертации описаны новые методические разработки ^{/7-15/}, предложенные и осуществленные с участием автора за время с 1954 по 1964 г.г. в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Приборы и схемы, созданные на основе этих разработок, позволили выполнить эксперименты ^{/2-6/} по измерению полных сечений взаимодействия нейтронов с протонами, нейтронами и ядрами в интервале энергий от 2,6 до 8,3 Гэв, а также по измерению сечения перезарядки π^- -мезонов на протонах при 4 Гэв ^{/1/} и отношения Панофского ^{/16/}, произведенные с участием автора. Разработки последнего времени ^{/14/} создают возможность построения аппаратуры для исследования радиационных распадов резонансных частиц.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе рассмотрены принципы работы и устройства черенковских спектрометров полного поглощения из тяжелого стекла.

Приводится методика расчета радиатора спектрометра на основе ливневой теории. Кроме того, в этой главе обсуждаются особенности конструкций пяти различных спектрометров, построенных при участии автора, и приводятся их характеристики. Основные данные спектрометров приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1а

Обозначение спектрометра	Типы стекла	Размеры в см	Размеры в рад.ед.	Форма радиатора	Число блоков	Тип ФЭУ	Число ФЭУ
А	ТФ-5	d =35 ℓ =30	20x17	цилиндр	3	ФЭУ-44	3
Б	ТФ-1	50x50x50	21x21x21	куб	3	ФЭУ-45	4
В	ТФ-1	50x50x18	21x21x7,5	параллелепипед	1	ФЭУ-44	7
Г	ТФ-1	50x50x18	21x21x7,5	параллелепипед	1	ФЭУ-44	8
Д	ТФ-1	18x18x30	7,5x7,5x12,8	параллелепипед	1	ФЭУ-24	4

Т а б л и ц а 1б

Обозначение спектрометра	Высшая калибр. энергия E_0	Разрешение при E_0	Работы, в которых применялся счетчик
А	0,2	80	
Б	3,0	40	Сечение нейтронов
В	-	-	Отношение Пановского
Г	4,0	13	Измерение гамма-спектров в π -р-взаимодействиях
Д	4,0	10	Сечение перезар. в π -р взаимодействии

В последних параграфах главы приведены основные требования к электронно-ламповым схемам, входящим в состав спектрометров: амплитудным анализаторам, линейным сумматорам и усилителям, схемам линейного пропуска и др.

Наиболее ответственным и сложным моментом при подготовке гамма-спектрометра к эксперименту является энергетическая калибровка. Методам калибровки и наладки посвящена вторая глава. Калибровка состоит в получении в графическом виде двух функций энергии регистрируемых частиц (электронов или гамма-квантов) - амплитуды импульсов и разрешающей способности спектрометра.

Получение моноэнергетических пучков гамма-квантов в области сотен Мэв весьма затруднительно, поэтому для калибровки пользуются пучками электронов, так как они по ливневым свойствам аналогичны гамма-квантам.

Формирование хорошо коллимированного с малым разбросом по импульсам пучка электронов высокой интенсивности представляет известные трудности.

В связи с этим была найдена возможность выделения и использования для калибровки черенковского спектрометра электронов, присутствующих в качестве примеси в π -мезонном пучке. Пучок π -мезонов выделялся с помощью сцинтилляционного телескопа и направлялся в центр черенковского счетчика Д (табл. 1). Импульсы от ФЭУ-24 после суммирования и усиления проходили через схему пропуска, управляемую сцинтилляционным телескопом, на амплитудный анализатор.

Электроны выделялись разностным методом. Амплитудные спектры снимались при помещении на пучке свинцового фильтра толщиной 5 см (рис. 2, кривая 2) и без фильтра (кривая 1). Фильтр помещался перед первым счетчиком телескопа. Кривая 3 на рис. 2 получена в результате вычитания кривой 2 из кривой 1 и представляет собой амплитудный спектр электронов с энергией 4 Гэв. Как видно из рис. 2, электронный пик выделялся достаточно четко и без вычитания спектров на кривой 1. Аналогичные кривые наблюдались также на пучке π -мезонов с энергией 2 Гэв.

Калибровка спектрометра производилась последовательно на пучках электронов, выделенных после конверсии гамма-квантов в области до 1 Гэв, а затем на электронах, присутствующих в π -мезонных пучках 2 и 4 Гэв. Калибровочная кривая указывает на линейность счетчика по меньшей мере до 4 Гэв при энергетическом разрешении 10% для максимальной энергии.

Параграф 6 главы 2 посвящен методам использования искровых вспышек для наладки систем с несколькими ФЭУ, подбора задержек с наносекундной точностью, усиления ФЭУ, изучения амплитудного разрешения и временных свойств ФЭУ. Исследована длительность фронта световой вспышки искрового разряда в промежутке 0,5-1,5 мм в водороде (3 нсек) и воздухе (4 нсек). Рассмотрена возможность синхронного запуска нескольких искровых разрядников, соединенных коаксиальным кабелем^{/9/}. С использованием искровых вспышек подбирался режим питания ФЭУ с большими фотокатодами^{/10/}: ФЭУ-44 (φ 15 см) и ФЭУ-45 (φ 20 см). Установлено, что подбором

режима питания и отбором отдельных образцов можно получить времена нарастания импульса в аноде 12-14 нсек для ФЭУ-44 и 10-15 нсек для ФЭУ-45 (при справочных данных 20-50 нсек), что позволяет применять эти ФЭУ в счетчиках, работающих с быстрыми схемами совпадений.

В § 7 главы 2 описан источник наносекундных импульсов света на коронной лампе /15/. Поджиг коронной лампы осуществляется коротким импульсом с напряжением от 400 в и выше. Длительность и амплитуда светового импульса определяются электрическим поджигающим импульсом, параметры же самой лампы весьма стабильны. Разработан генератор запуска коронных ламп, имеющий 12 выходов на РК-50. На каждом выходе импульсы характеризуются следующими параметрами: амплитуды до 3 кв, фронт нарастания 2 нсек, длительность 4-5 нсек, частота повторения 50 гд. Импульсы возникают при разряде заряженного отрезка коаксиального кабеля через искровой промежуток в ртутном реле.

В главе 3 рассматривается постановка некоторых экспериментов на ускорителях частиц высоких энергий, проведенных при участии автора, с применением черенковских спектрометров полного поглощения.

Наиболее эффективно используются черенковские счетчики полного поглощения при регистрации нейтральных частиц - гамма-квантов и нейтронов. При энергиях свыше нескольких десятков Мэв становится возможным энергетический анализ регистрируемых счетчиком частиц. Это свойство применено в эксперименте по измерению сечения реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$ (перезарядка) для π^- -мезонов с импульсом 4 Гэв/с /11/. Процесс перезарядки приводит к образованию характерного максимума в энергетическом спектре гамма-квантов, образующихся при взаимодействии π^- -мезонов с водородом.

Задача черенковского спектрометра заключается в выделении этого максимума, ширина которого определяется, главным образом, энергетическим разрешением спектрометра.

В этом эксперименте, а также в ряде других, связанных с изучением радиационных распадов элементарных частиц, желательно одновременное измерение угловых и энергетических соотношений продуктов распада. В связи с этим исследовалась возможность использования черенковских спектрометров полного поглощения для измерения энергии гамма-квантов совместно с управляемыми искровыми камерами, позволяющими с достаточной точностью производить измерение угловых корреляций между распадными гамма-квантами.

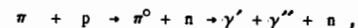
В измерениях применялся счетчик Д (табл.1) из свинцового стекла размером 18x18x30 см. Искровая камера моделировалась латунными или свинцовыми пластинами.

В опыте исследовались амплитудные спектры от электронов 4 Гэв в зависимости от толщины пластин и расстояния между пластинами и спектрометром. Измерения показали, что при указанных условиях энергетическое разрешение спектрометра существенно не изменилось с увеличением толщины материала перед счетчиком до 2 рад. ед., что позволяет применить искровую камеру со сравнительно толстыми пластинами.

Кроме того, выяснено, что энергетическое разрешение и амплитуда импульса счетчика слабо зависят от расстояния между счетчиком и искровой камерой. Это позволяет применять камеры с увеличенной протяженностью, чтобы повысить точность измерения угловых соотношений частиц.

В опытах по измерению сечения нейтронов задача счетчика состояла в регистрации нейтронов, имеющих энергии выше некоторой пороговой; интервал выделенных энергий составлял 10% от среднего значения /8/. Энергия нейтрона измерялась по поглощению продуктов взаимодействия нейтрона с веществом конвертора в черенковском счетчике из ТФ-1 размером 50x50x50 см³ (30 рад.ед. или 2 ядерных пробега). Электронной аппаратурой регистрировались лишь импульсы от таких нейтронов, энергетическое выделение от которых превышало некоторую пороговую энергию. Относительно высокая эффективность регистрации нейтронов высоких энергий (несколько процентов) позволила с помощью счетчика провести измерение сечения взаимодействий нейтронов с ядрами, протонами и нейтронами при различных энергиях нейтронов в диапазоне от 2,8 до 8,3 Гэв.

Кроме того, с помощью одного из спектрометров, описанных в диссертации, было измерено отношение вероятностей двух процессов, возникающих при остановке π^- -мезонов в водороде:



$\pi^- + p \rightarrow \gamma + p$, так называемое отношение Панофского.

Массивный радиатор спектрометра позволил применить его в качестве регистратора гамма-квантов с эффективностью почти 100% при энергиях в диапазоне десятков Мэв /17/.

Последняя глава посвящена двум методам амплитудного анализа электрических импульсов, поступающих от спектрометрических счетчиков. В § 1 описан 12-канальный анализатор, в котором применен метод предварительной дискретизации импульсов с последующим распределением по каналам электронным переключателем ЛП-1. Дискретизатор преобразует входные анализируемые импульсы в стандартные, с плоской вершиной. Амплитуды выходных импульсов при этом могут принимать лишь определенные дискретные значения, соответствующие амплитудам входных импульсов. Благодаря такому преобразованию существенно снижаются требования к равномерности ширины каналов и стабильности порогов распределителя, которым может быть любой простейший анализатор.

тор. Стабильность порогов (0,2%) и равномерность ширины каналов (1%) определяются параметрами дискретизатора.

Для получения дискретных амплитуд поочередно применяются принципы амплитудно-временной и время-амплитудной трансформации импульсов. Дискретизация амплитуд достигается промежуточной дискретизацией временных интервалов, в которые преобразованы амплитуды входных импульсов.

Для настройки анализатора разработан генератор импульсов с равномерным спектром^{/12/}. Амплитуды положительных импульсов на выходе могут с равной вероятностью принимать все значения от нулевого до максимального (80в). Изготовленный вариант генератора позволяет получать импульсы длительностью 1,5 мксек, следующие через $T = \frac{1}{f} = 200$ мксек. Амплитуда импульсов нарастает от 0 до 80 вольт в течение 5 миллисекунд. Циклы нарастания повторяются с частотой $F = 50$ гц. При подборе частот f и F надо избегать кратности. Тогда амплитуда первого импульса в группе будет немного отличаться от цикла к циклу, так же как и всех последующих импульсов. В течение большого количества циклов амплитуды будут приобретать всевозможные значения - от 0 до 80 в. Дифференциальный спектр импульсов представляет прямую линию, параллельную оси абсцисс.

В § 3 главы 4 описан способ амплитудного анализа импульсов методом фотографирования осциллограмм на движущуюся фотопленку^{/13/}.

Основной частью амплитудного спектрометра служит несколько измененный двухлучевой осциллограф ОК-17 М. Скорость развертки увеличена до 50 нсек/см. В качестве усилителя вертикального отклонения применяется УР-4 или специально построенный усилитель с амплитудами ± 200 в на симметричных выходах.

На движущуюся фотопленку фотографировались импульсы длительностью 0,1 мксек. Амплитудный спектр импульсов определялся с помощью измерения амплитуды каждого импульса при проекции проявленной пленки через увеличитель. Ждушая развертка запускалась либо самим анализируемым импульсом, либо внешним импульсом от схемы совпадений сцинтилляционного телескопа. Из-за отсутствия таких элементов, как схема пропускания, удлинитель импульсов, экспандер, в тракте от фотоумножителя до пластин осциллографа улучшается стабильность характеристик и надежность прибора.

Чтобы устранить ошибки при определении амплитуд импульсов, возникающие вследствие недостатков быстрого усилителя, применялся калибратор. С его помощью регулярно производится автоматическая калибровка прибора в промежутках между циклами синхрофазотрона.

На вход усилителя вертикального отклонения посредством коммутатора, синхронизованного с циклами ускорителя, попеременно подаются то измеряемые импульсы, то сигналы калибратора.

По фотографиям калибровочных импульсов строится измерительная шкала. Проектируя исследуемые импульсы на шкалу, легко измерить их амплитуду даже при значительной нелинейности усилителя, а следовательно, и шкалы. Этим способом легко учесть возможные изменения коэффициента усиления и амплитудной характеристики усилителя.

Основные итоги представленной работы.

1. Разработана и построена серия гамма-спектрометров полного поглощения для диапазона энергий 1-10 Гэв. Проведена работа по улучшению энергетической разрешающей способности спектрометров. Измерены характеристики спектрометров в широком диапазоне энергий.

2. Предложен метод обнаружения моноэнергетических электронов, присутствующих в качестве примеси в π -мезонном пучке, и найдено процентное содержание электронов.

3. Изучена возможность совместной работы черенковского гамма-спектрометра и искровой камеры. Предложена методика управления искровой камерой сигналом черенковского спектрометра, позволяющая проводить одновременно исследование угловых и энергетических соотношений процессов, сопровождающихся распадом на гамма-кванты.

4. Разработан и построен многоканальный анализатор импульсов на основе предложенного автором метода с применением предварительной амплитудной дискретизации импульсов.

5. Разработан генератор импульсов с равномерным спектром амплитуд, предназначенный для наладки и проверки многоканальных амплитудных анализаторов.

6. Разработано устройство для амплитудного анализа импульсов методом фотографирования осциллограмм на движущуюся пленку. Точность измерения повышена применением автоматического калибратора амплитуд.

7. Разработаны и построены генераторы наносекундных световых вспышек двух типов: на основе искрового и на основе коронного разряда в газах (водороде и воздухе).

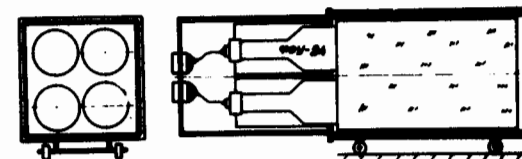
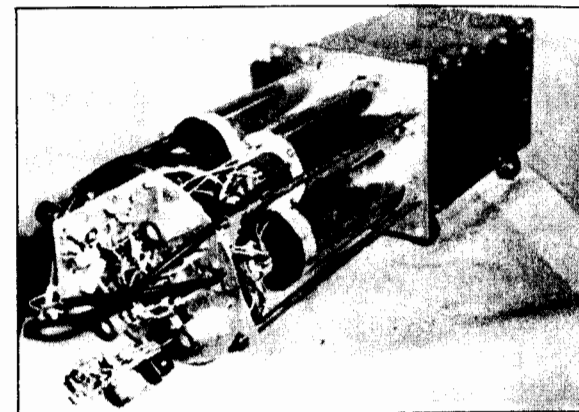
Основной материал диссертации опубликован в работах (1, 7-15).

Л и т е р а т у р а

1. М.Азимов, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, Л.В.Сильвестров, И.В.Чувило. Преприят ОИЯИ Р-1782. Ядерная физика, т.1, вып. 1, 1965.
2. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ЖЭТФ, т.42, вып.3, 909, 1962.
3. Л.Оджиян, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувило. Преприят ОИЯИ Д-788, 1961.
4. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ЖЭТФ, т. 44, № 4, 1411, 1963.

5. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ЖЭТФ, т.45, 6(12), 1808, 1963.
6. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувילו. Препринт ОИЯИ Р-1725, 1964.
7. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувילו. ПТЭ, № 1, 19, 1960.
8. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, № 6, 29, 1963.
9. Л.Ожяни, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, № 5, 80, 1962.
10. Л.Ожяни, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, № 6, 119, 1962.
11. Б.Малы, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ПТЭ, № 2, 73, 1963.
12. Б.Малы, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. Препринт ОИЯИ № 1166, 1963.
13. В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. Атомная энергия, т.16, вып. 5, 444, 1964.
14. М.А.Азимов, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувילו. Препринт ОИЯИ 1730, 1964; Ядерная физика, т. 1, вып. 1, 134, 1965.
15. К.А.Газарян, В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян. ПТЭ № 1, 161, 1965.
16. A.F.Dunaitsev, V.S.Pantuev, Yu.D.Prokoshkin, Tang Syao-wej, M.N.Khachaturjan. Int. Conf. on High Energy Physics, App. to sess. S 1, Rochester, 1960, p.181.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1965 г.



Черенковский счетчик
защиты стекла ТФ-1: 60*100*300

Рис. 1.

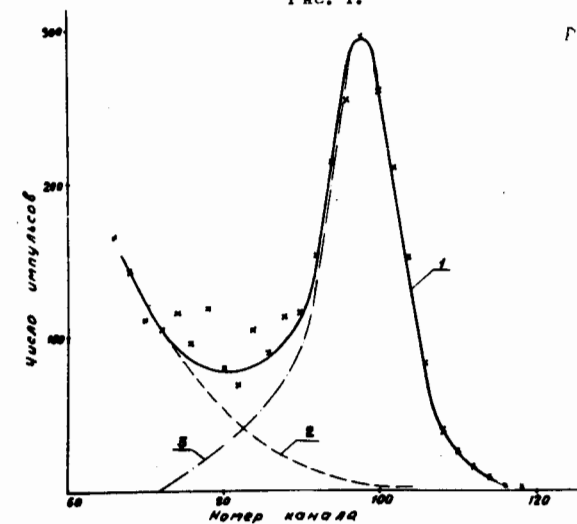


Рис. 2.