

С 344.3

Д-832

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.Ф. Дунайцев

2268

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ РАСПАДА  
И ЗАХВАТА ПИОНОВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук

Ю.Д. Прокошкин

Дубна 1965

А.Ф. Дунайцев

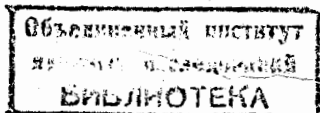
2288

2882 вр.  
АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РЕДКИХ ПРОЦЕССОВ РАСПАДА  
И ЗАХВАТА ПИОНОВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук

Ю.Д. Прокошкин



Дубна 1965

В современной экспериментальной ядерной физике возникают все более сложные задачи, которые, естественно, выдвигают все более высокие требования к регистрирующей аппаратуре. Так, исследования в области мезонной физики привели в последние годы к необходимости экспериментального изучения крайне редких процессов распада и захвата пионов. Регистрация этих процессов затрудняется сложностью выделения редких событий на фоне значительно более вероятных процессов, а также наличием фона постороннего излучения ускорителя.

Аппаратура, способная регистрировать редкие процессы, должна обладать такими характеристиками, которые позволяют идентифицировать эти процессы по возможно большему числу характерных признаков (временное и энергетическое распределение, угловая корреляция частиц и т.п.). Естественно, что такие установки должны содержать большое число детекторов, обладающих высокой эффективностью регистрации частиц. Исследования, связанные с разработкой аппаратуры указанного типа, положены в основу диссертации. В диссертации использованы материалы работ /1-11/, выполненных в 1958-1964 гг.

Диссертация состоит из четырех глав.

В первой главе описываются три многоканальные схемы совпадений и антисовпадений, которые были разработаны для проведения ряда экспериментальных исследований на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Отличительной особенностью этих исследований являлась необходимость регистрации редких процессов и вытекающие отсюда повышенные требования к разрешающему времени, многократности схем совпадений и стабильности работы их во времени.

В первой схеме многократных совпадений и антисовпадений мостового типа /1/ выделяющим элементом является мост из импульсных полупроводниковых диодов и сопротивлений. Формирующие каскады, дифференциальный и выходной усилители выполнены на лампах. Подробно описан принцип работы узлов схемы совпадений. Особое внимание уделяется методике наладки и испытанию схем в условиях эксперимента на ускорителе. Приводятся подробные характеристики схем совпадений различной кратности, получен-

ные при наладке от генератора и испытаниях от спинтиллиационных счетчиков, облучавшихся  $\alpha$ -частицами от плутониевого источника и заряженными  $\pi^-$ -мезонами с энергией 70 Мэв.

Разрешающее время схем совпадений мало зависит от кратности схем и при 100%-ной эффективности составляет 1-2 нсек. Крутизна спадов кривых временного разрешения составляет 1-2 порядка/нсек. Разрешающее время по каналу антисовпадений - около 10 нсек. С включением счетчика в канал антисовпадений скорость счета совпадений уменьшается в 500 раз.

Для модифицированной схемы тройных совпадений, один из каналов которой выполняет роль "ворот", разрешающее время по одному каналу имеет величину в несколько десятков нсек, а по двум остальным - около 2 нсек. Характерным для этой схемы совпадений является то, что, несмотря на большую ширину "ворот", кривая разрешения сохраняет крутые спады.

С появлением высокочастотных транзисторов была разработана полупроводниковая многократная схема совпадений<sup>/2/</sup>, принцип действия которой аналогичен использованному в ламповой схеме. Использование транзисторов в каскадах, ранее содержавших лампы, обеспечило увеличение надежности и срока службы схемы. Основные параметры этой схемы совпадений такие же, как и у ламповой схемы.

При разработке быстрых схем совпадений и антисовпадений, предназначенных для экспериментов в ядерной физике, основной проблемой является создание формирующих устройств, позволяющих преобразовывать входные сигналы в короткие импульсы стандартной амплитуды и длительности.

В третьей схеме многократных совпадений и антисовпадений<sup>/3/</sup> для формирования импульсов было применено предварительное амплитудное ограничение сигналов при помощи полупроводникового диода и окончательное ограничение по амплитуде и формирование по длительности при помощи туннельного диода с малым временем переключения, включенного по одностабильной схеме. Амплитуда входных импульсов для такого формирующего каскада может меняться в широкой области от 1 до 60 вольт. Длительность сформированного импульса равна нескольким нсек.

Выделяющий элемент схемы совпадений и антисовпадений выполнен на туннельном диоде, а выходной усилитель - на транзисторах. Разрешающее время схемы совпадений - около 2 нсек. Спады кривой временного разрешения - около 1 порядка/нсек. Разрешающее время по каналу антисовпадений равно 4 нсек. С включением счетчика в канал антисовпадений скорость счета заряженных  $\pi^-$ -мезонов уменьшается в 3000 раз.

Схема проста в наладке и удобна в эксплуатации.

Вторая глава посвящена описанию детектора<sup>/4-6/</sup>, обладающего селективной

чувствительностью к звездам, образующимся при остановке  $\pi^-$ -мезонов, а также к остановкам  $\pi^+$ ,  $\mu^+$  и  $\mu^-$ -мезонов. Необходимость в таком детекторе при исследовании редких процессов распада и захвата пионов очевидна, поскольку во всех этих исследованиях изучаются остановившиеся пионы. Принцип действия детектора основан на использовании различия в величине ионизационных потерь, которые возрастают с уменьшением энергии частиц и особенно велики для случая остановок  $\pi^-$ -мезонов, большая часть которых сопровождается звездами-расщеплениями ядер с выделением значительной энергии, близкой по величине к массе  $\pi^-$ -мезона (140 Мэв).

Используя сцинтиллятор сцинтилляционного счетчика в качестве вещества, в котором останавливаются частицы, и регистрируя этим счетчиком только импульсы, соответствующие большому выделению энергии в сцинтилляторе, можно осуществить детектор, обладающий селективной чувствительностью к  $\pi^-$ -мезонам.

Экспериментальное сопоставление спектров импульсов, образующихся при остановке  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезонов в сцинтилляторе, было проведено на пучках  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезонов с одинаковыми средними энергиями (70 Мэв) и разбросами пробегов. Сопоставление показало, что примерно третья часть останавливающихся  $\pi^-$ -мезонов дает импульсы, превышающие максимальный импульс в спектре остановок  $\pi^+$ -мезонов.

Проведенное исследование характеристик детектора показывает, что область его рабочих напряжений разделяется на три существенно различающиеся части. При малых напряжениях телескоп работает в режиме звездного детектора, хорошо отличая останавливающиеся в сцинтилляторе отрицательные  $\pi^-$ -мезоны от других останавливающихся и проходящих частиц. Более высокие напряжения соответствуют режиму детектора остановок. В этом случае детектор одинаково хорошо регистрирует остановки  $\pi^-$  и  $\mu^-$ -мезонов обоих знаков. Наконец, в области еще более высоких напряжений детектор работает как обычный телескоп, не обладающий никакими селективными свойствами.

Коэффициент отбора при работе со спектрометрическим фотоумножителем оказался равным для  $\pi^-$ -мезонов  $K \approx 50$ , для  $\pi^+$ -мезонов  $K \approx 8$ . При замене спектрометрического фотоумножителя временным коэффициент отбора для  $\pi^-$ -мезонов падает до 10-20. Однако звездный детектор в таком упрощенном виде обладает тем практическим преимуществом, что мало отличается от "обычных" сцинтилляционных телескопов.

В дальнейшем был разработан усовершенствованный детектор остановок, отличающийся тем, что амплитудная дискриминация импульсов была применена в обоих счетчиках и для регистрации частиц использовалась более быстродействующая схема совпадений. Исследованная зависимость коэффициента отбора  $K$  от задержки  $t$  между импульсами обоих счетчиков показала сильную зависимость  $K$  от задержки  $t$  для проходящих и останавливающихся  $\pi^+$ -мезонов. Путем выбора соответствующей задержки был получен высокий отбор для временных ф.э.у. ( $K \approx 50$ ) при эффективности регистрации остано-

вож, практически не отличающейся от единицы. Указанный режим работы не является критичным, что позволило использовать детектор остановок в длительных экспериментах.

В третьей главе описывается скоростной пятилучевой осциллограф<sup>/7/</sup>, который был разработан для проведения экспериментов по исследованию бета-распада пиона, а в дальнейшем использовался во многих экспериментах на синхротронном циклотроне. При помощи этого осциллографа можно осуществить амплитудный и временной анализ наносекундных импульсов, поступающих одновременно от большого количества сцинтилляционных и черенковских счетчиков (до 20).

Осциллограф создан на базе пятилучевой трубки типа 22ЛО1А с алюминированным экраном. В качестве усилителей вертикального отклонения применены серийные усилители типа УЗ-5 (УР-4) с полосой пропускания 150 Мгц. Развертка выполнена по схеме развертки промышленного скоростного осциллографа С1-11(ИСО-1).

Прибор имеет несколько фиксированных скоростей развертки в диапазоне от 5 до 200 нсек/см. Нелинейность развертки 2 - 6 % для различных лучей. Время нарастания осциллографа при использовании усилителей вертикального отклонения составляет 4 нсек, максимальная чувствительность по вертикальному отклонению лучей - 60 мв/см. Для размещения на каждом луче осциллографа нескольких импульсов производилось смешивание импульсов на входах усилителей вертикального отклонения при помощи согласованных с кабелями делителей на сопротивлениях. Импульсы от различных счетчиков располагались в определенном месте на лучах с помощью подбора длины соответствующих кабелей задержки. Особое внимание было уделено фотографированию однократных пренесов при большой скорости развертки. Для этого использовался предельный режим трубки по яркости, светосильный объектив (1:0,75) и высокочувствительная пленка типа "Изопанхром-13". Выбранная система фотографирования обеспечивает запись однократных импульсов со скоростью развертки до  $10^9$  см/сек (по экрану).

Описанный пятилучевой осциллограф использовался в течение трех лет при проведении ряда длительных экспериментов на синхротронном циклотроне. В ходе эксплуатации осциллографа было получено более 1 млн фотографий. Обработка их показала, что устойчивость параметров развертки и усилителей вертикального отклонения такова, что она позволяет определять временные интервалы между импульсами с точностью 0,2 нсек и производить анализ амплитуд с точностью до 3%.

Четвертая глава посвящена описанию применения разработанной аппаратуры для исследования ряда редких и малоинтенсивных процессов: бета-распада  $\pi^+$ -мезона, перезарядки остановившихся  $\pi^-$ -мезонов на ядрах связанного водорода<sup>/10/</sup>, аномалии в угловой корреляции  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов, образующихся при захвате  $\pi^-$ -мезонов протонами<sup>/11/</sup> (поисковая работа). Для проведения этих экспериментов

были созданы комплексные установки, содержащие быстродействующие черенковские спектрометры полного поглощения, различные сцинтилляционные счетчики и описанная в предыдущих главах электронная аппаратура.

Характеристики бета-распада пиона



с большой точностью предсказываются теорией слабого взаимодействия. Относительная вероятность бета-распада  $\pi^+$ -мезона  $\lambda$  может быть определена с погрешностью в несколько процентов и равна  $1 \cdot 10^{-8}$ . Однако экспериментальное исследование бета-распада пиона сопряжено с очень большими трудностями, связанными с необходимостью выделения крайне редких событий бета-распада  $\pi^+$ -мезона на фоне большого постороннего излучения

Первые исследования<sup>/8/</sup> были выполнены при помощи двух черенковских спектрометров полного поглощения, детектора остановок  $\pi^+$ -мезонов и быстродействующих схем совпадений мостового типа. Наиболее опасным сопутствующим процессом являлась перезарядка  $\pi^+$ -мезонов на лету в веществе сцинтиллятора счетчика-мишени. Использование детектора остановок  $\pi^+$ -мезонов и быстрых схем задержанных совпадений позволило подавить вероятность регистрации перезарядки до очень малой величины. В результате измерений, в течение которых через установку было пропущено  $6 \cdot 10^9$   $\pi^+$ -мезонов, был зарегистрирован эффект, составляющий  $\lambda = (1,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-8}$ .

Дальнейшие исследования, позволившие получить значительно более точные сведения о бета-распаде  $\pi^+$ -мезона<sup>/9/</sup>, были выполнены с использованием скоростного пятилучевого осциллографа. Для регистрации бета-распада пиона использовалась установка, содержащая сцинтилляционные счетчики и четыре черенковских спектрометра полного поглощения, импульсы от которых подавались на схему совпадений мостового типа с задержанными "воротами" длительностью 80 нсек, которая запускала развертку пятилучевого осциллографа. Кроме того, импульсы от всех счетчиков подавались на усилители осциллографа. Случаи бета-распада  $\pi^+$ -мезона отбирались при анализе полученных фотографий.

Основные измерения продолжались около 500 часов. За это время через установку было пропущено  $4 \cdot 10^{10}$  пионов. Число зарегистрированных в этом опыте случаев бета-распада составляет  $N = 43$ . Вероятность бета-распада пиона  $\lambda$  была определена на основании зарегистрированных случаев  $N$  с учетом экспериментально найденной эффективности установки  $\lambda = (1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-8}$ .

При помощи описанной выше аппаратуры была обнаружена резко подавленная перезарядка остановившихся  $\pi^+$ -мезонов в полиэтилене, стироле и других веществах, содержащих связанный водород<sup>/10/</sup>:

$$\pi^- + p \xrightarrow{\text{связ.}} \pi^0 + n. \quad (2)$$

Для регистрации  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов были использованы черенковские спектрометры полного поглощения. Сигналы от спектрометров и сцинтилляционного счетчика поступали на схему тройных совпадений мостового типа. Для наладки и калибровки аппаратуры в качестве мишени, помещаемой между спектрометрами, был использован жидкий водород. При замене водородной мишени мишенью из полиэтилена скорость счета снижалась не до уровня фона, а только на два порядка. С удалением же полиэтиленовой мишени из пучка скорость счета пар  $\gamma$ -квантов падала еще в 300 раз. В работе был проведен ряд контрольных экспериментов, позволявших надежно идентифицировать реакцию (2).

В работах /12,13/ было указано на возможность существования второго нейтрального  $\pi$ -мезона, масса которого близка к массе "обычного"  $\pi^0$ -мезона. Для поиска этого нейтрального  $\pi$ -мезона была создана большая годоскопическая установка из 20 сцинтилляционных и 1500 газоразрядных счетчиков, при помощи которой было проведено исследование угловой корреляции  $\gamma$ -квантов от распада нейтральных  $\pi$ -мезонов, образованных при захвате  $\pi^-$ -мезонов протонами.

Импульсы от сцинтилляционных счетчиков установки поступали на 21-канальную схему совпадений на туннельных диодах, диодах и транзисторах, запускавшей генератор импульсного питания газоразрядных счетчиков, и развертку пятилучевого осциллографа, на входы которого были заведены импульсы всех сцинтилляционных счетчиков. Экран осциллографа фотографировался одновременно с фотографированием индикаторных лампочек газоразрядных счетчиков годоскопа. Угол между двумя  $\gamma$ -квантами определялся по сработавшим газоразрядным и сцинтилляционным счетчикам.

На основании анализа обработанных 30 тыс. событий получено, что кривая угловой корреляции  $\gamma$ -квантов не отличается существенно от кривой, вычисленной в предположении о существовании только "обычного"  $\pi^0$ -мезона. Верхняя граничная оценка вероятности существования более тяжелого нейтрального  $\pi$ -мезона равна  $5 \cdot 10^{-3}$ .

#### Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. Разработана многоканальная ламповая схема совпадений мостового типа с наносекундным разрешающим временем и крутыми спадами кривых временного разрешения. Подробно исследованы характеристики схемы.
2. Разработана многоканальная быстродействующая схема совпадений мостового



типа на транзисторах, обладающая повышенной надежностью и большим сроком службы.

3. Разработан метод последовательного формирования стандартных наносекундных импульсов от сцинтилляционных счетчиков и построена формирующая каскад на полупроводниковом импульсном диоде и туннельном диоде. На базе этих формирующих каскадов разработана наносекундная схема многократных совпадений и антисовпадений.

4. Разработан детектор остановок заряженных мезонов. Исследованы режимы и параметры детектора. Коэффициент отбора остановок частиц доведен до 50.

5. Разработан скоростной пятилучевой осциллограф для анализа амплитуд наносекундных импульсов сцинтилляционных счетчиков и временных интервалов между ними. Рассмотрены вопросы, связанные с размещением на лучах осциллографа большого числа импульсов и их фотографированием.

6. Данный комплекс аппаратуры использовался для проведения исследований по изучению редких процессов распада и захвата пионов. Рассмотрены методические вопросы, связанные с постановкой экспериментов по изучению бета-распада пиона и перезарядки остановившихся  $\pi^-$ -мезонов на ядрах связанного водорода, по поиску аномалии в угловой корреляции  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$ -мезонов, образующихся при захвате  $\pi^-$ -мезонов протонами.

Описанная аппаратура была использована также для выполнения ряда других экспериментов на синхротронной Лаборатории ядерных проблем.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин. ПТЭ, 5, 93 (1961).
2. А.Ф. Дунайцев. ПТЭ, 5, 119 (1964).
3. A.F.Dunaitsev, Nucl. Instr. Meth., 28, 341 (1964); ПТЭ, 8, 77 (1964).
4. A.F.Dunaitsev, Yu.D.Prokoshkin, Tang Syao-wei. Proc. of Intern. Conf., 1959, CERN, Geneva, 592; ПТЭ, 5, 133 (1960).
5. A.F.Dunaitsev, Yu.D.Prokoshkin, Tang Syao-wei. Nucl. Instr. Meth., 8, 11 (1960).
6. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ПТЭ, 1, 159 (1963).
7. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. Препринт ОИЯИ, 1588, Дубна, 1964; ПТЭ, 2, 114 (1965).
8. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 632 (1962); Nuovo Cimento, 24, 405 (1962); ЖЭТФ, 42, 1421 (1962); Phys. Letters, 1, 138 (1962).
9. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 41, 84 (1964); Intern. Conf. on Fundamental Aspects of Weak Interaction, Brookhaven, 1963.
10. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 1680 (1962).

11. И.М. Василевский, В.В. Вишняков, А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин, А.А. Тяпкин. XII международная конференция по физике высоких энергий. Дубна, 1964.
12. A.M. Baldin, P.K. Kabir, Nuovo Cimento, 45, 18 (1960).
13. В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин. Препринт ОИЯИ, 1587, Дубна, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 июля 1965 г.