

ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

с 344.1
А-39

Ю.К. Акимов

P-679

МЕТОДЫ ВРЕМЕННОГО И АМПЛИТУДНОГО
ОТБОРА ИМПУЛЬСОВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ
В ОПЫТАХ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук

Л.М. Сороко

Дубна 1961 год

Ю.К. Акимов

P-679

СЗ44.1

A-39

466 рр.

МЕТОДЫ ВРЕМЕННОГО И АМПЛИТУДНОГО
ОТБОРА ИМПУЛЬСОВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ
В ОПЫТАХ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук

Л.М. Сороко

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

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 сцинтилляционных счетчиков.

Типичными задачами в опытах на ускорителях с использованием сцинтилляционной техники являются:

1. Выделение вторичных частиц исследуемого ядерного процесса, идущих в нужном направлении.
2. Разделение частиц по времени пролета между двумя сцинтилляционными счетчиками.
3. Разделение частиц по величине ионизации в веществе сцинтиллятора и, как более сложная задача, измерение спектра ионизации.

Данная диссертация представляет собой попытку обобщения опыта применения различных методов временного и амплитудного отбора импульсов сцинтилляционных счетчиков в экспериментах на пучках протонов и дейтронов от синхротрона. В диссертации описаны новые методические разработки^{/1-8/}, предложенные и осуществленные автором за время с 1953 по 1960 г.г. в Лаборатории ядерных проблем. Некоторые из этих разработок проводились совместно с В.И. Комаровым, О.В. Савченко, Л.М. Сороко^{/8/}, А.С. Кузнецовым^{/2,9/} и Г.А. Лексиним^{/2/}.

Приборы и новые схемы, созданные на основе этих разработок, позволили выполнить эксперименты^{/11/} по исследованию поляризационных эффектов в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$ на поляризованном пучке протонов (Акимов Ю.К., Савченко О.В., Сороко Л.М.) и измерить^{/12/} поляризацию дейтронов в указанной реакции (Акимов Ю.К., Марш К.С., Савченко О.В., Сороко Л.М.).

Разработки последних лет создали возможность проведения экспериментов^{/13-15/} (Акимов Ю.К., Савченко О.В., Сороко Л.М.) по наблюдению весьма редких процессов образования мезонов нуклонами с испусканием тяжелых вторичных частиц, как, например, $p+d \rightarrow \pi^+ + H^3$, $p+He^3 \rightarrow \pi^+ + He^4$, а также подойти к решению вопроса об установлении соотношения между сечениями процессов $d+d \rightarrow \gamma + He^4$ и $d+d \rightarrow \pi^0 + He^4$, имеющих ничтожно малые эффективные сечения ($10^{-33} + 10^{-32} \text{ см}^2$).

Наряду с этим ряд разработанных автором приборов и схем использовался в опытах на ускорителе другими физиками-экспериментаторами /16-20/.

Диссертация состоит из трех глав. В первой главе рассматриваются амплитудные и временные характеристики импульсов спонтанноизлучающих счетчиков; вторая глава посвящается методам временного отбора, а третья - амплитудно-временного отбора импульсов спонтанноизлучающих счетчиков. При описании характеристик импульсов основное внимание было уделено лишь тем вопросам, по которым имеются данные, полученные самим автором или с участием автора. Более подробно указанные характеристики изложены в отдельном обзоре /10/.

Первый параграф второй главы представляет собой обзор основных характеристик схем совпадений и антисовпадений с точки зрения их применения в опытах на ускорителе. Многие вопросы, освещенные в данном параграфе, являются известными для большинства физиков-экспериментаторов, работающих на ускорителях. Однако эти вопросы ранее нигде не были обобщены и поэтому включение такого обзора в диссертацию является необходимым введением к дальнейшим ее параграфам, в которых описываются схемы совпадений и антисовпадений и их конкретное использование в эксперименте.

В третьей главе описаны: пропускающая схема, амплитудный дискриминатор и анализатор, устройство для разделения частиц по величине ионизации в нескольких спонтанноизлучающих счетчиках, а также описывается опыт применения метода разделения частиц по времени пролета.

В диссертации описаны следующие новые методические разработки:

1. Схема многократных совпадений с высоким (отрицательным) коэффициентом отбора /3/ /рис. 1/. Нелинейным элементом в анодной цепи ламп совпадений, обеспечивающим отрицательный коэффициент отбора, является лампа (L_k), управляющая сетка которой соединена через емкость с катодным сопротивлением (R_k). Для повышения чувствительности схемы параллельно катодному сопротивлению подключен диод (D). Схема действует от импульсов отрицательной полярности. В случае совпадения все лампы забираются и на выходе возникает импульс положительной полярности, а в отсутствие совпадения выходной импульс компенсируется импульсом отрицательной полярности, поступающим с катодного сопротивления.

Наличие отрицательного коэффициента отбора обеспечило весьма высокую стабильность работы и простоту настройки данной схемы совпадений. Схема использовалась в экспериментах по изучению поляризационных явлений при неупругих столкновениях. Кроме того, с помощью данной схемы был выполнен ряд других опытов /17,18/.

2. Схема двойных совпадений для импульсов малой амплитуды /7/ (до сотых долей вольта). В этой схеме (рис. 2) анод (A^1) и диод (D^1) одного из фотоумножителей соединены между собой с помощью диода (D). Диод другого фотоумножителя (D^2) подключен к аноду A^1 . В отсутствие совпадений импульс с диода D^1 , являющийся выходным, компенсируется анодным импульсом, а импульс с D^2 не пропускается диодом. В случае совпадения компенсация полностью или частично снимается в результате действия импульса, поступающего с диода D^2 .

В другом варианте схемы, по принципу действия аналогичном вышерассмотренному, диод D^1 и анод A^1 принадлежали лампе со вторичной эмиссией, подключенной через ограничительный каскад к аноду первого фотоумножителя. Импульсы с обоих фотоумножителей формировались по длительности. Такая схема использовалась в ряде опытов на синхротроне при разделении частиц по времени пролета. Схема не требовала особой настройки; разрешающее время схемы составляло около 4 нсек.

3. Быстродействующая пропускающая схема /4/ с разрешающим временем $\tau_p \leq 0,1$ мксек, не имеющая "пьедесталов" от управляющих сигналов. Эта схема составлена из двух схем антисовпадений (рис. 3). В отсутствие управляющих сигналов импульсы от спектрометрического счетчика сами себя подавляют во второй схеме антисовпадений. Управляющий сигнал, подаваемый на первую схему антисовпадений, подавляет там импульс от спектрометрического счетчика, являющийся сигналом запрета для второй схемы антисовпадений. При этом импульс, поступивший от спектрометрического счетчика на вторую схему антисовпадений непосредственно, проходит через нее к анализирующему устройству.

Известные ранее варианты пропускающих схем, как правило, не были достаточно быстродействующими, а те, которые являлись быстродействующими, обладали относительно большими "пьедесталами", вносящими искажения в амплитуды анализируемых импульсов.

Рассмотренная схема применялась в опытах по изучению поляризации дейтрона в реакции $p+p \rightarrow d+\pi^+$.

4. Метод разделения частиц по величине ионизации в нескольких сцинтилляционных счетчиках путем отбора случаев, когда во всех счетчиках величина ионизации превосходит некоторое значение^{/18/}. Этот метод позволяет существенно снизить фон, вызванный процессами образования "звезд" и наложением импульсов, а также уменьшить вклад частиц малой ионизации, обусловленный "хвостом" в спектре ионизации^{/21/}. В качестве примера на рис. 4 приведена серия счетных характеристик, измеренных в опытах по разделению дейтронов и протонов с импульсов 900 Мэв/с при использовании тонких (0,5 мм) пластических сцинтилляторов в телескопе, состоящем из пяти счетчиков. Кривая "1" относится к интегральному спектру амплитуд импульсов первого счетчика, кривая "2" — к интегральному спектру амплитуд импульсов первого и четвертого счетчиков, кривая "3" — то же для первого, третьего и четвертого счетчика и, наконец, кривая "4" — для отбора во всех пяти счетчиках. Из рис. 4 видно как с переходом к большему числу каналов отбора по амплитуде улучшается счетная характеристика регистрирующей аппаратуры. Например, если для пятиканального отбора имеется участок плато по дейтронам, то при одноканальном отборе в том же участке имеется примесь протонов в количестве 40% от числа дейтронов.

Следует заметить, что принцип отбора импульсов по наименьшей амплитуде предложенный Л.Д. Ландау, использовался^{/22,23/} ранее при регистрации космических частиц для улучшения амплитудного разрешения спектрометрической аппаратуры.

На основе методических разработок, перечисленных в пунктах 1-4, изготовлена регистрирующая аппаратура, оказавшаяся способной отбирать d -частицы, число которых при исследовании реакции $d+d \rightarrow \gamma + He^4$ и $d+d \rightarrow \pi^0 + He^4$ было в 10^8 раз меньше числа других заряженных частиц, проходивших через телескоп. В результате этих исследований было установлено, что сечение процесса $d+d \rightarrow \gamma + He^4$ $\sigma_{\gamma} = (1,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$, а $\sigma_{\pi}(d+d \rightarrow \pi^0 + He^4) < 1,1 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ с вероятностью 90%.

5. Вариант быстродействующей дифференциальной схемы совпадений с разрешающим временем децианосекундного диапазона^{/15/} (впервые принцип дифференциальной схемы совпадений был предложен Бэем^{/24/}). Входными элементами устройства являются две схемы совпадений на диодах. Каждая из них соединена с двумя сцинтилляционными счетчиками, причем с одним непосредственно, а с другим — через кабель задержки (50 см РК-50). В результате такого соединения выходные импульсы обеих схем равны по амплитуде при совпадении и различны при несовпадении. Эта разница выделяется дифференциальной ламповой ячейкой и используется далее как сигнал антисовпадений для подавления импульса, передаваемого с одной из схем совпадений к пересчетному блоку.

Данный вариант дифференциальной схемы совпадений применялся^{/19/} (после некоторой модификации) в опытах на синхротроне Физического института имени П.Н. Лебедева АН СССР для разделения частиц по времени пролета.

6. Детектор быстрых нейтронов, имеющий большую эффективность (~30%)^{/21/}. В этом детекторе слои сцинтиллятора чередуются со слоями плотного вещества-конвертора. Детектор использовался^{/16/} для изучения квазиупругого ($p-n$)-рассеяния.

7. Быстродействующий двадцатиканальный амплитудный анализатор коротких импульсов^{/9/}. Импульсы предварительно разделяются на две группы, соответствующие первому и второму десятку каналов. Каждый импульс обеих групп превращается в серию из десяти равноотстоящих импульсов с убывающей амплитудой, анализируемых затем амплитудным дискриминатором, единственным на все каналы. Импульс этой серии, прошедший через дискриминатор последним, выделяется с помощью схемы антисовпадений и регистрируется одной из двадцати схем совпадений. "Мертвое" время анализатора составляет около 7 мксек.

О предварительной разработке такого анализатора было доложено нами в начале 1957 года на III Всесоюзной конференции по ядерной электронике, а позднее, в 1958-1959 г.г. появились публикации аналогичных разработок за рубежом^{/25,26/}.

Для анализатора выполнен сцинтилляционный счетчик с улучшенной оптической однородностью. В этом счетчике пластическому сцинтиллятору придана форма усеченного клина, сужающегося по направлению к фотоумножителю.

Благодаря такой форме потери света, связанные с удалением от фотокаатода области возникновения сцинтилляции, компенсируются разницей между величинами световых вспышек в верхней и нижней частях сцинтиллятора. Чтобы заметно не ухудшать при этом условий светопередачи, сцинтиллятор дополняется до формы параллелепипеда соответствующим клином из прозрачного несцинтиллирующего вещества (плексигласа);

8. Метод регистрации просчетов, возникающих в пересчетном блоке ^{/8/}. Просчеты регистрируются с помощью схемы двойных совпадений, на одно плечо которой поступают входные короткие импульсы, а на другое - те же входные импульсы, но только сформированные по длительности до значения, равного разрешающему времени пересчетного блока, и задержанные настолько, чтобы не было совпадений. Импульсы со схемы совпадений сосчитываются вторым пересчетным блоком. Если количество просчетов не превышает $\sim 20\%$, то точность определения числа статистически распределенных импульсов в результате применения этого метода повышается на порядок при заданной разрешающей способности пересчетного блока.

Идея аналогичного метода независимо изложена также в работе ^{/27/}.

9. Метод отбора частиц, идущих в нужном направлении, с помощью слоистого сцинтиллятора ^{/11/}. Сущность метода заключается в том, что соседние слои сцинтиллятора оптически связаны порознь с двумя фотоумножителями, включенными на антисовпадения, в результате чего выделяются частицы, проходящие лишь вдоль слоев, и исключаются из счета все остальные частицы, пересекающие границу этих слоев. В настоящее время такой метод используется при регистрации нейтронов с энергией в несколько Мэв на фоне постороннего γ -излучения ^{/20,28/}.

В диссертации приведены результаты исследований:

а) относительных световых выходов пластических сцинтилляторов в зависимости от величины ионизационных потерь в области $10+50$ Мэв г/см²;

б) оптической неоднородности сцинтилляторов, имеющих отражательную систему в виде "домика" из алюминиевой фольги, закрывающей сцинтиллятор.

В диссертации также рассмотрены:

а) основные характеристики схем совпадений и антисовпадений с точки зрения их применения в опытах на синхротронном циклотроне;

б) расчетные зависимости длительности фронтов импульсов и их относительной амплитуды при различных значениях постоянной времени анодной цепи фотоумножителя;

в) различные факторы, создающие амплитудный разброс импульсов сцинтилляционных счетчиков при регистрации заряженных частиц высокой энергии.

Основной материал диссертации опубликован в работах ^{/2-8,12/}, а также в препринтах Объединенного института ^{/9,10,13/}.

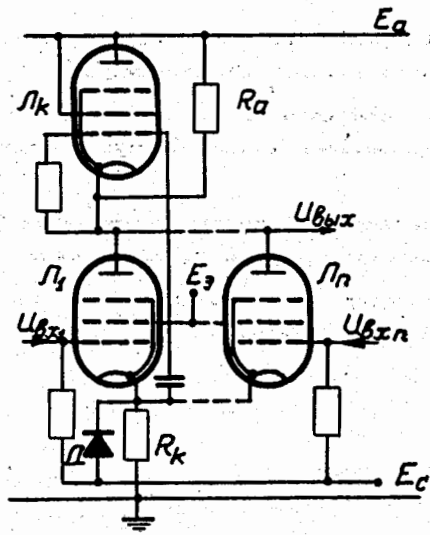


Рис.1

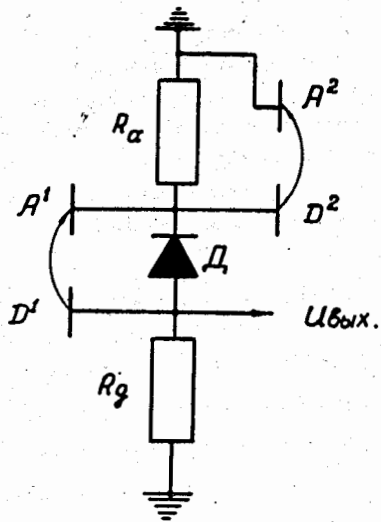


Рис.2



Рис.3

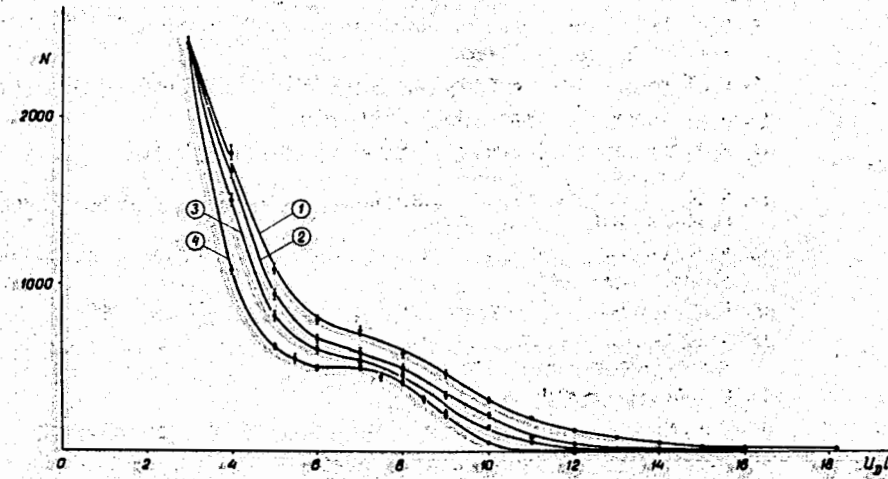


Рис.4

Л и т е р а т у р а

1. Ю.К. Акимов. 1954.
2. Ю.К. Акимов, А.С. Кузнецов, Г.А. Лексин, ПТЭ, № 2, 70, 1956.
3. Ю.К. Акимов. ПТЭ, № 1, 95, 1957.
4. Ю.К. Акимов. ПТЭ, № 2, 110, 1957.
5. Ю.К. Акимов. ПТЭ, № 4, 98, 1957.
6. Ю.К. Акимов. ПТЭ, № 2, 113, 1959.
7. Ю.К. Акимов. ПТЭ, № 3, 134, 1959.
8. Ю.К. Акимов, В.И. Комаров, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. ПТЭ, № 4, 71, 1960.
Nucl. Instr. and Meth., 7, 37, 1960.
9. Ю.К. Акимов, А.С. Кузнецов. Препринт ОИЯИ, Р-436, 1959, ПТЭ (в печати).
10. Ю.К. Акимов. Препринт ОИЯИ, Р-404, 1959.
11. Ю.К. Акимов, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. ЖЭТФ, 35, 1958;
Nucl. Phys., 8, 637, 1959.
12. Ю.К. Акимов, К.С. Мариш, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. ЖЭТФ, 37, 46, 1959.
Препринт ОИЯИ, Р-300, 1959.
13. Ю.К. Акимов, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. ЖЭТФ, 38, 304, 1960. Препринт
ОИЯИ, Р-422, 1959.
14. Ю.К. Акимов, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. ЖЭТФ, 38, 643, 1960.
15. Ю.К. Акимов, О.В. Савченко, Л.М. Сороко. Материалы X конференции в Рочестере по физике частиц высокой энергии.
16. Г.А. Лексин. ЖЭТФ, 32, 445, 1957.
17. М.Г. Мещеряков, С.Б. Нурушев, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ, 31, 361, 1956.
18. Б.С. Неганов. Диссертация, ОИЯИ, 1958.
19. А.С. Белоусов, С.В. Русаков, Е.И. Тамм, П.А. Черенков. ЖЭТФ, 37, 1617, 1959.
20. В.С. Евсеев, В.И. Комаров, В.З. Куш, В.С. Роганов, В.А. Черногорова,
М.М. Шимчак. Препринт ОИЯИ, Р-470, 1960.
21. Л.Д. Ландау. Journ. of Phys. USSR, 8, 201, 1944.
22. С.Я. Рикитин. ЖЭТФ, 18, 577, 1948.
23. А.Г. Мещковский, Л.И. Соколов. ЖЭТФ, 30, 840, 1956.
24. Z. Bay. Phys. Rev., 83, 242, 1951.
25. A. Alberigi, C. Bernardini, I.F. Quercia. Nucl. Instr. and Methods, 3, 201, 1958.
26. A. Alberigi-Quaranta, C. Bernardini, C. Infante, I.F. Quercia. Nucl. Instr. and Methods, 5, 120, 1959.
27. В.И. Гольданский, А.В. Купенко, М.И. Подгорецкий, "Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц", 203 (ГИФМЛ), 1959.
28. W.E. Baker, C. Rubbia. Phys. Rev. Lett., 3, 179, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 февраля 1961 года.