

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

В.Г. Бондаренко, М.А. Кирсанов, В.В. Кушин,
Н.А. Миханчук, С.Г. Покачалов

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ

Лабораторная работа

МОСКВА 2009

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ

Лабораторная работа

Содержание

Введение	4
Контрольное задание	11
Лабораторная установка	11
Рабочее задание	14
1. Исследование зависимости коэффициента газового усиления от напряжения на электродах	15
2. Исследование аппаратурной формы линии детекторов, работающих в режиме газового усиления и в режиме ионизационной камеры.....	18
Обработка результатов	19
Контрольные вопросы и задания.....	20
Список литературы.....	20

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ

Цель работы: изучение принципа действия и основных характеристик пропорционального газонаполненного детектора, используемого для регистрации тепловых нейтронов.

ВВЕДЕНИЕ

Газонаполненный пропорциональный детектор относится к ионизационным детекторам, работающим в режиме газового усиления.

Принцип работы газового пропорционального детектора вначале рассмотрим на примере регистрации заряженных частиц.

При прохождении через газ заряженная частица, теряя энергию E_{π} , образует на своем треке в среднем N_0 электронно-ионных пар (первичная ионизация), определяемых соотношением $N_0 = E_{\pi}/\omega$, где ω – средняя энергия, затраченная на образование одной пары. Электроны и ионы под действием внешнего электрического поля дрейфуют в газе. Если напряженность электрического поля в детекторе достаточно велика, то электроны, созданные частицей в рабочем объеме, на длине свободного пробега набирают энергию, достаточную для ионизации молекул или атомов газа при соударении с ними (ударная ионизация).

Если на пути в 1 см по направлению электрического поля электроны испытывают α соударений, приводящих к ионизации, то количество пар ионов, образованных N электронами в слое dx , определяется выражением:

$$dN = N\alpha(x)dx,$$

где α - коэффициент ударной ионизации.

Тогда количество пар ионов во всей лавине составляет:

$$N = N_0 \exp \left(\int_{x_1}^{x_2} \alpha(x) dx \right), \quad (1)$$

где x_1 – координата места первичной ионизации; x_2 – координата конца лавины.

Увеличение числа пар ионов за счет ударной ионизации характеризуется коэффициентом газового усиления m , равным отношению полного числа пар ионов N в лавине к числу пар ионов N_0 , первоначально созданных регистрируемой частицей: $m = N/N_0$.

Из формулы (1) видно, что количество пар ионов, образованных в лавине, определяется не только значениями N_0 и α , но и местом первичной ионизации. Следовательно, величина заряда Q , индуцированного во внешней цепи ионизационного детектора с газовым усилением, которая пропорциональна числу дрейфующих зарядов $Q \sim mN_0 \sim N$, будет также зависеть от координаты трека частицы.

Очевидно, что в детекторе с газовым усилением заряд Q , индуцированный во внешней цепи, будет пропорционален энергии потерянной заряженной частицей $E_{\text{п}}$, только в случае, если каждый первичный электрон независимо от места его образования создает в процессе усиления в среднем одно и то же количество пар ионов. Такое условие выполняется, в частности, в детекторах цилиндрической формы, в которых диаметр катода – цилиндра много больше диаметра анода – металлической нити, натянутой по оси цилиндра (рис.1).

Действительно, электрическое поле E резко неоднородно вдоль направления r , т.к. $E = U_0/(r \ln(r_{\text{к}}/r_{\text{а}}))$, где U_0 – разность потенциалов на электродах, $r_{\text{к}}$ и $r_{\text{а}}$ – радиусы катода и анода соответственно. Поэтому коэффициент ударной ионизации α оказывается отличным от нуля лишь в очень малом объеме, прилегающем к нити. Следовательно, для всех первичных электронов условия образования лавин одинаковы и не зависят от места прохождения частицы.

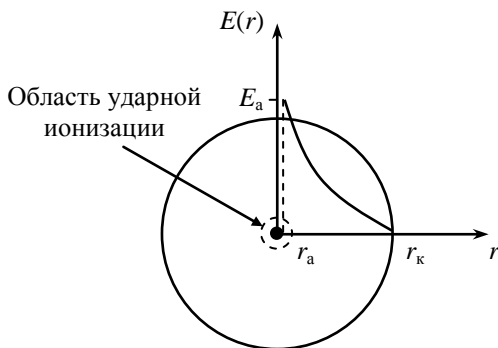


Рис.1. Зависимость напряженности электрического поля от радиуса в цилиндрическом детекторе

В этом случае для достаточно больших коэффициентов газового усиления m индуцированным зарядом от движения электронов первичной ионизации до места ударной ионизации можно пренебречь. Заряд Q во внешней цепи будет определяться числом электронов и ионов, образованных в области ударной ионизации, и, следовательно, только энергией частиц: $Q \sim mN_0 = mE_{\text{и}}/\omega$. Поэтому детекторы с газовым усилением, имеющие цилиндрическую форму, являются пропорциональными детекторами.

Величина заряда Q , а также его изменение во времени, определяющее временные характеристики цилиндрического детектора с газовым усилением, зависят от сопротивления нагрузки R во внешней цепи и эквивалентной емкости C (суммарная емкость детектора и цепей, подключенных к нему).

Так как развитие лавин идет у анода на расстояниях, равных нескольким диаметрам нити, путь дрейфа электронов до анода оказывается малым. Поэтому основной вклад в величину заряда Q дает ток, возникающий во внешней цепи от дрейфа ионов к катоду.

Если выбрать $RC \gg T^+$ (T^+ - время дрейфа ионов из области ударной ионизации до катода), то заряд во внешней цепи будет максимальным: $Q_{\max} = emN_0$, где e – заряд электрона. Однако необходимости выбирать $RC \gg T^+$ нет, так как основной вклад в амплитуду индуцированного заряда Q дает движение ионов в сильном поле вблизи анода. Оказывается, что уже при значениях $RC \sim 10^{-2} T^+$ (то есть, порядка нескольких микросекунд), величина заряда составляет около 50% от максимального значения. При этом, естественно, сохраняются пропорциональные свойства детектора, а его временное разрешение существенно улучшается.

С другой стороны, значение RC должно быть, по крайней мере на порядок больше T^- - времени дрейфа электронов первичной ионизации от катода к аноду. Действительно, если $RC \leq T^-$, то в том случае, когда первичная ионизация производится частицами, пробеги которых сравнимы с размерами детектора, величина заряда Q будет зависеть от длины пробега ионизирующей частицы и ее направления, и пропорциональные свойства детектора нарушаются. Следует отметить, что на практике формирование импульсов с детектора достигается не изменением RC , а подбором полосы пропускания усилителя.

Эффект ударной ионизации является основным, но не единственным, определяющим развитие лавин в детекторе.

При дрейфе электронов в сильных электрических полях наряду с процессом ударной ионизации имеет место и возбуждение молекул или атомов газа. Возвращаясь в основное состояние, молекулы испускают фотоны, которые могут вызвать фотоэффект на катоде детектора. Фотоэлектрон, вышедший с поверхности катода, создает в области анода дополнительную ионизацию. Кроме того, если положительный ион, подходя к катоду из области ударной ионизации, имеет потенциальную энергию, которая превышает удвоенную работу выхода с поверхности катода, то может появиться еще один свободный электрон. Этот электрон на пути к аноду в

свою очередь образует электронно-ионную лавину. Вероятность вторичных процессов на катоде в пропорциональном детекторе характеризуется коэффициентом γ , который существенно зависит от материала катода и свойств газа, наполняющего детектор ($\gamma \sim 10^{-4}$). Коэффициент газового усиления с учетом вторичных процессов M определяется как

$$M = m/(1 - \gamma m)$$

Коэффициент газового усиления M зависит от напряжения U_0 , приложенного к электродам пропорционального детектора, причем так, что незначительная нестабильность (дрейф) источника питания может привести к существенным изменениям коэффициента M .

Коэффициент газового усиления M определяют экспериментально методом сравнения величин заряда на выходе газонаполненного пропорционального детектора $Q_{\text{пд}}$ и того же детектора, работающего в режиме ионизационной камеры в отсутствие газового усиления $Q_{\text{ик}}$:

$$M = Q_{\text{пд}}/Q_{\text{ик}} \quad (2)$$

Соотношение (2) справедливо при условии полного собирания индуцированного заряда во внешней цепи детектора, то есть при $RC \gg T^+$. На практике для формирования сигнала величину RC обычно выбирают в границах $T^- \ll RC \ll T^+$. Это приводит к неполному собиранию индуцированного заряда. Однако такой режим позволяет, во-первых, собрать значительную часть заряда от максимально возможного, во-вторых, уменьшить длительность импульса напряжения на выходе детектора по сравнению с режимом полного собирания, в-третьих, сохранить независимость амплитуды импульса от ориентации трека в объеме детектора, то есть сохранить режим пропорциональности. Очевидно, что при неполном собирании, соотношение (2) перестает быть корректным, так как доли собранного заряда в режиме ионизационной камеры и в режиме пропорционального детектора отличаются друг от

друга. В этом случае можно ввести понятие экспериментального коэффициента внутреннего усиления детектора $M_{\text{эксп}}$, который является характеристикой не только процесса газового усиления в детекторе, но и способа формирования сигнала на его выходе.

$$M_{\text{эксп}} = Q_{\text{пд}}^{\text{эксп}} / Q_{\text{ик}}^{\text{эксп}},$$

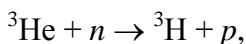
где $Q_{\text{пд}}^{\text{эксп}}$ и $Q_{\text{ик}}^{\text{эксп}}$ - полученные в реальном эксперименте значения зарядов на выходе детектора, работающего в режиме пропорционального усиления и в режиме ионизационной камеры.

Газонаполненные пропорциональные детекторы нашли широкое применение в технике ядерно-физического эксперимента и, в частности, для регистрации медленных и тепловых нейтронов по (n, α) и (n, p) экзоэнергетическим реакциям. Заряженные частицы, образующиеся в результате таких реакций, теряют свою энергию и производят ионизацию рабочего вещества детектора. Таким образом, в отличие от процесса регистрации заряженных частиц регистрация медленных нейтронов идет в два этапа. На первом этапе происходит ядерная реакция с образованием заряженных частиц. Для этого в объеме детектора необходимо ввести вещество, обладающее достаточно большим сечением (n, p) или (n, α) реакции.

На втором этапе происходит регистрация вторичных заряженных частиц – продуктов реакции. При этом выделившаяся энергия заряженных частиц преобразуется в электрический сигнал за счет ионизации вещества.

В газовых пропорциональных детекторах оба этапа регистрации удается реализовать при наполнении их газом ^3He или газом BF_3 .

При захвате медленных нейтронов ядром ^3He идет реакция:

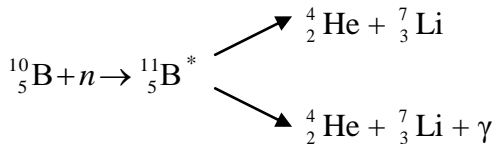


$W = 0,765 \text{ МэВ}$, где W – энергия реакции.

Сечение $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ реакции для тепловых нейтронов со-

ставляет величину $\sigma_1 = 5327 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$.

При захвате медленного нейтрона ядром $^{10}\text{В}$ образуется ядро изотопа $^{11}\text{В}$ в возбужденном состоянии, которое практически мгновенно (10^{-12}с) распадается на альфа-частицу и ядро лития:



Сечение реакции для тепловых нейтронов (при комнатной температуре $E_n = 0,025 \text{ эВ}$) на изотопе $^{10}\text{В}$ составляет величину $\sigma_2 = 3840 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$, $W = 2,78 \text{ МэВ}$. Для естественной смеси изотопов, в которой содержится 19,8% $^{10}\text{В}$ и 80,2% $^{11}\text{В}$, $\sigma_3(^{10}\text{В} + ^{11}\text{В}) = 758 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$.

Если образовавшееся ядро лития находится в основном состоянии, то в результате этой реакции выделяющаяся энергия $W = 2,78 \text{ МэВ}$ делится между ядром ^7_3Li и альфа-частицей обратно пропорционально их массам. Однако при распаде ядра $^{11}_5\text{В}$ ядро ^7_3Li в 94% случаев оказывается в возбужденном состоянии. При переходе его в основное состояние испускается гамма-квант с энергией 0,48 МэВ (вероятность регистрации которого мала), и в виде кинетической энергии продуктов реакции выделяется энергия, равная 2,3 МэВ.

Заряженные частицы, образующиеся в (n,p) , (n,α) реакциях, производят ионизацию в рабочем объеме газовых пропорциональных детекторов, и на их выходе индуцируется заряд $Q_{\text{пд}}$, величина которого пропорциональна числу пар ионов $Q_{\text{пд}} \sim MN_0$, созданных ионизирующими частицами.

Поскольку в каждой из рассматриваемых ядерных реакций образуется одновременно две заряженные частицы ($^3\text{H} + p$ или $^4\text{He} + ^7\text{Li}$), то сигнал на выходе вызван их суммарной ионизацией. Другими словами, величина $Q_{\text{пд}}$ пропорциональна суммарной кинетической энергии W всех заряженных про-

дуктов реакции и по отношению к этой энергии описанные выше "борный" и "гелиевый" детекторы обладают свойством пропорциональности. С другой стороны, сигнал на выходе рассматриваемых детекторов никакой информации об энергии регистрируемых медленных и тепловых нейтронов не несет, так как энергия нейтрона E_n в этом случае значительно меньше энергии реакции W . Следовательно, $E_n + W \approx W$, т.е. величина заряда на выходе таких детекторов определяется только суммарной кинетической энергией всех заряженных продуктов реакции.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к лабораторной работе выполнить следующие задания.

1. Нарисовать ожидаемую зависимость амплитуды сигнала от напряжения на электродах газонаполненного пропорционального детектора в диапазоне напряжений 0,1–1,4 кВ. Предполагается, что детектор при малых напряжениях работает в режиме ионизационной камеры, а при больших напряжениях переходит в режим пропорционального газового усиления.

2. Нарисовать ожидаемое распределение импульсов по амплитудам для "борного" детектора, работающего в режиме пропорционального газового усиления и регистрирующего тепловые нейтроны. Учесть два канала реакции.

3. Как изменится рассмотренное в задании 2 распределение импульсов по амплитудам при увеличении энергии нейтронов в два раза?

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Функциональная схема установки приведена на рис.2.

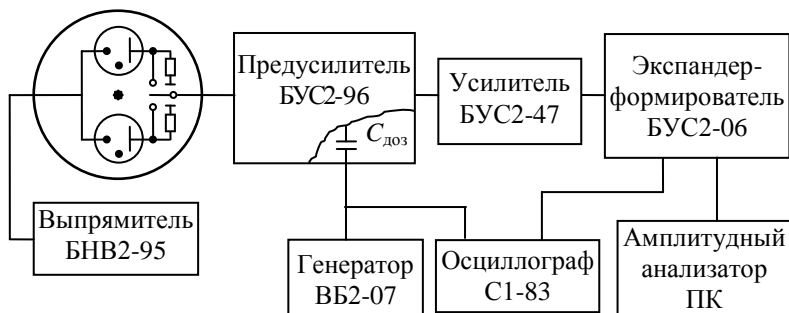


Рис.2. Функциональная схема установки

Исследуются характеристики двух газонаполненных цилиндрических детекторов, используемых для регистрации нейтронов. Первый детектор – счетчик СНМ-5 заполнен газом BF_3 (давление BF_3 – 0,027 МПа) с естественным содержанием изотопов ^{10}B и ^{11}B и имеет диаметр катода $d_{k1} = 35$ мм, длину рабочей части $h_1 \simeq (250 \pm 5)$ мм. Второй счетчик СНМ-16 заполнен смесью двух газов ^3He и аргон до давления 0,7 МПа (97% ^3He и 3% Ar), имеет диаметр катода $d_{k2} = 18,5$ мм и длину рабочей части $h_2 \simeq (100 \pm 5)$ мм. Счетчик СНМ-16 может работать как в пропорциональном режиме, так и в режиме коронного разряда. В данной работе изучается только пропорциональный режим работы СНМ-16.

Оба детектора размещены в каналах парафинового блока (диаметр блока 35 см, высота – 50 см). В центральном канале парафинового блока помещен радиоактивный препарат Pu-Be, испускающий быстрые нейтроны (активность $1,6 \cdot 10^5$ Бк), которые, проходя через слой парафина, теряют свою энергию и превращаются практически в тепловые нейтроны. Парафиновый блок окружен со всех сторон листовым

кадмием, эффективно поглощающим тепловые нейтроны.

Счетчик СНМ-5 находится от источника нейтронов на расстоянии $R_1=(50\pm5)$ мм, СНМ-16 на расстоянии $R_2=(120\pm5)$ мм. В нерабочем положении источник нейтронов находится в нижней половине парафинового блока, отделенной от верхней половины прокладкой из кадмия. Во время измерений источник с помощью подвижного стержня, расположенного в центре крышки парафинового блока, следует поднять в верхнюю половину блока.

С помощью переключателя, размещенного в коробке на крышке парафинового блока, аноды детекторов поочередно подключаются к входу зарядочувствительного предусилителя БУС2-96. Коэффициент преобразования заряда в напряжение предусилителя БУС2-96 равен $\sim 1,2 \cdot 10^{12}$ В/Кл.

Высокое напряжение отрицательной полярности одновременно подается на катоды детекторов от выпрямителя БНВ2-95 со стабилизацией напряжения $\pm 0,01\%$. Выходное напряжение блока регулируется в пределах от 0,1 до 2,5 кВ.

Полярность импульсов, поступающих от детекторов на предусилитель – отрицательная. С выхода предусилителя импульсы поступают на разъем «вход Б» основного усилителя БУС2-47, коэффициент усиления которого изменяется в пределах от 4 до 2048 с помощью ступенчатого переключателя коэффициента усиления «грубо» и регулятора плавного изменения коэффициента усиления «плавно» от 0,5 до 1 в пределах каждой ступени.

В схеме усилителя предусмотрен блок формирования импульсов, состоящий из интегрирующей $\tau_{\text{и}}$ ($\tau_{\text{и}} \geq 0,05$ мкс) и дифференцирующей $\tau_{\text{д}}$ ($\tau_{\text{д}} \leq 12,8$ мкс) цепочек. Параметры формирующих цепей устанавливаются с помощью переключателей «Дифф. мкс» и «Интегр. мкс». С выхода усилителя БУС2-47 импульсы положительной полярности подаются на вход формирователя БУС2-06, который выполняет функции дискриминатора нижнего уровня, формирователя и усилителя сигналов. Коэффициент усиления тумблером «Усиление» в

начале работы следует установить равным 1. «Выход экспанд.» блока БУС2-06 подключен к входу канала I осциллографа С1-83. С выхода «Выход формиру.» блока БУС2-06 сформированные и усиленные в 2,5 раза сигналы подаются на вход многоканального амплитудного анализатора импульсов, который используется для измерения амплитуд импульсов, хранения и обработки информации. Анализатор выполнен на базе персонального компьютера, в системный блок которого встроена плата, содержащая амплитудно-цифровой преобразователь импульсов (АЦП) и память для хранения данных.

Максимальная амплитуда импульсов на входе анализатора не должна превышать 10 В.

Измерение индуцированного заряда во внешней цепи детектора, возникающего при регистрации нейтронов, основано на его сравнении с зарядом, поступающим в эту же цепь от генератора ВБ2-07, выход «ослабленный» которого через дозирующую емкость $C_{\text{доз}}=1\text{пФ}$ (размещенную в предусилителе) соединен со входом предусилителя БУС2-96. Полярность импульсов генератора – отрицательная. Для измерения амплитуды импульсов от генератора используется канал II осциллографа С1-83.

Полученные экспериментальные амплитудные распределения студенты сохраняют в виде файлов на жестком диске персонального компьютера внутри папки «Student» в своей персональной папке.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Показать преподавателю результаты, полученные при выполнении контрольного задания, и, ответив на дополнительные вопросы, приступить к измерениям.

Перед началом работы проверить подключение блоков электронной аппаратуры в соответствии с функциональной схемой установки.

На передней панели блока БНВ2-95 установить переключатель высокого напряжения в положение 0,1 кВ.

ВНИМАНИЕ! В процессе работы не подавать на счетчики напряжение более 1400 В.

Включить тумблер «Сеть» на блоке низковольтного питания БНН2-22. Включить тумблер «Сеть» на всех остальных приборах. Дать приборам прогреться в течение 10-15 мин.

Порядок работы с амплитудным анализатором, программой обработки спектров, осциллографом С1-83 приводятся в отдельных инструкциях.

1. Исследование зависимости коэффициента газового усиления от напряжения на электродах

Прежде чем исследовать характеристики детекторов в режиме газового усиления необходимо оптимальным образом выбрать параметры формирующих цепей усилителя, обеспечивающих формирование импульсов с детектора (см. введение к работе). С этой целью рекомендуется выполнить следующие операции.

1) Поднять источник нейтронов в верхнюю половину парафинового блока. Установить переключатель на крышке парафинового блока в положение II. При этом к входу предусилителя подключается счетчик СНМ-5. Подать на детектор 0,1 кВ (т.е. убедиться, что переключатель «кВ» на блоке БНВ2-95 стоит в положении 0,1 кВ, а переключатель «V» - в положении 0 В).

2) Установить переключатели «Дифф. мкс» и «Интегр. мкс» на блоке БУС2-47 в положение 12,8 мкс и 0,2 мкс соответственно. Тумблер «Дифф. мкс» должен стоять в положении I. Многооборотный потенциометр «Уровень экспандирования» на блоке БУС2-06 установить в крайнее левое положение, что соответствует нулевому порогу дискриминатора нижнего уровня. При выборе оптимальных параметров формирующих цепей усилителя используется только канал I ос-

циллографа С1-83, а на канал II импульсы не поступают (генератор ВБ2-07 выключен).

Измеряя по осциллографу амплитуды импульсов с выхода «Выход экспанд.» блока БУС2-06, подобрать коэффициент усиления усилителя таким, чтобы максимальные амплитуды импульсов не превышали 2 В.

Варьируя напряжение на детекторе, и измеряя амплитуды импульсов по осциллографу, определить диапазон напряжений, при котором амплитуды импульсов практически не зависят от напряжения (ионизационный режим работы пропорционального детектора). Для фиксированной величины напряжения в этом диапазоне измерить длительность фронта импульсов.

Исходя из полученной величины длительности фронта импульсов, которая определяется временем дрейфа электронов T^- и анализа соотношения RC и T^- , рассмотренного во введении, выбрать значение τ_d дифференцирующей цепочки.

Выбрать значение интегрирующей цепочки $\tau_i = \tau_d$. При таком выборе τ_d отношение амплитуды полезного сигнала к входным шумам предусилителя будет оптимальным. Установив выбранные значения параметров, записать их в рабочий журнал.

При нахождении экспериментального коэффициента внутреннего усиления $M_{\text{эксп}} = Q_{\text{пд}}^{\text{эксп}}/Q_{\text{ик}}^{\text{эксп}}$ каналы I и II осциллографа С1-83 используются одновременно: канал I используется для сравнения амплитуд импульсов на выходе усилителя от детектора и генератора, а канал II для измерения амплитуд генераторных импульсов, поступающих на вход $C_{\text{доз}}$.

Для нахождения $Q_{\text{ик}}^{\text{эксп}}$ и $Q_{\text{пд}}^{\text{эксп}}$ рекомендуется следующий порядок работы.

а) Подать на детектор 0,1 кВ. Подобрать коэффициент усиления таким образом, чтобы максимальные амплитуды импульсов на выходе «Выход экспанд.» блока БУС2-06 не превышали 2 В. Многооборотный потенциометр «Амплиту-

да» на генераторе ВБ2-07 установить в крайнее левое положение. Убедиться, что предусилитель соединен с выходом «ослабленный» генератора ВБ2-07. Переключатель «Частота» генератора ВБ2-07 установить в положение 140 Hz.

б) Варьируя плавную регулировку «Амплитуда» на ВБ2-07, подобрать амплитуду генераторных импульсов на выходе усилительного тракта равной максимальным амплитудам импульсов от детектора в области их наибольшей интенсивности (для измерения используется канал I осциллографа).

Если амплитуды импульсов от генератора и детектора на выходе усилительного тракта совпадают, можно утверждать, что заряды на входе зарядочувствительного предусилителя от генератора Q_{Γ} и детектора Q также будут равны: $Q_{\Gamma} = Q$. Таким образом, процедура измерения Q на выходе детектора нейтронов сводится к измерению Q_{Γ} , которую можно вычислить по формуле: $Q_{\Gamma} = \Delta V_{\Gamma} \cdot C_{\text{доз}}$, где ΔV_{Γ} — амплитуда импульса напряжения, поступающая с генератора на вход предусилителя через дозирующую емкость $C_{\text{доз}} = 1 \text{ пФ}$. Для измерения ΔV_{Γ} используется канал II осциллографа С1-83 (переключатель осциллографа «V/дел» по каналу II в положении 10 мВ/дел). Записать полученный результат в рабочий журнал.

в) Повторить аналогичные измерения для других значений напряжений на детекторе (рекомендуемые значения: 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3 кВ). Следить за тем, чтобы максимальные амплитуды импульсов на выходе «Выход экспанд.» блока БУС2-06 не превышали 2 В. Если, начиная с каких-то значений напряжения на детекторе, максимальная амплитуда импульсов генератора с выхода «ослабленный» окажется меньше, чем с детектора, вывести потенциометр «Амплитуда» в крайнее левое положение. Затем переключить предусилитель к входу «прямой» генератора и продолжить измерения.

г) Подключить к предусилителю счетчик СНМ-16, установив переключатель на крышке парафинового блока в положение I.

Повторить аналогичные измерения для счетчика СНМ-16 для тех же значений напряжений. По окончании выключить генератор ВБ2-07, поставив переключатель «Частота» в положение «Выкл.»

2. Исследование аппаратурной формы линии детекторов, работающих в режиме газового усиления и в режиме ионизационной камеры

Провести анализ полученных зависимостей выходного заряда Q от напряжения U_0 на счетчиках СНМ-5 и СНМ-16. Определить область работы детекторов в режиме ионизационной камеры и в режиме газового усиления. Выбрать два значения U_0 для каждого детектора, одно из которых соответствует режиму ионизационной камеры и другое – середине области пропорционального усиления.

1) Подключить к предусилителю счетчик СНМ-5.

а) Установить на счетчике СНМ-5 первое из выбранных значений U_0 . Подобрать коэффициент усиления БУС2-47 таким, чтобы максимальная амплитуда импульсов с выхода «Выход экспанд.» блока БУС2-06 не превышала 2 В. При необходимости дополнительного усиления сигналов использовать усилитель блока БУС2-06 (тумблер «Усиление»). При выборе коэффициента усиления усилителя используется только канал I осциллографа С1-83, а на канал II импульсы не поступают (генератор ВБ2-07 выключен). Изменяя коэффициент усиления БУС2-47 (переключатель «плавно»), добиться, чтобы правый край амплитудного распределения располагался в 400 - 500 каналах анализатора.

Снять для выбранного значения U_0 распределение импульсов по амплитудам с помощью амплитудного анализатора. Время измерения выбрать таким, чтобы статистическая ошибка в максимуме амплитудного распределения не превышала 4 %. Полученное амплитудное распределение сохранить в виде файла в своей персональной папке на компьютере.

б) Установить на счетчике СНМ-5 второе из выбранных значений U_0 . Подбрав нужным образом коэффициент усиления БУС2-47, снять амплитудное распределение и сохранить файл в своей папке.

2) Подключить к предусилителю счетчик СНМ-16 и аналогичным образом для выбранных значений U_0 снять два амплитудных распределения и сохранить файлы со спектрами в своей папке.

По окончании измерений выключить все приборы.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. По результатам пункта 1 рабочего задания:

а) Построить зависимость заряда $Q^{\text{эксп}}_{\text{ик}}$ на выходе детектора от напряжения на его электродах для счетчиков СНМ-5 и СНМ-16. Отложить на графике ошибки.

б) Определить область работы детекторов в режиме ионизационной камеры и пропорционального усиления.

в) Рассчитать величину заряда $Q^{\text{расч}}_{\text{ик}}$, образующуюся на выходе детекторов, работающих в режиме ионизационной камеры, по формуле:

$$Q^{\text{расч}}_{\text{ик}} = eW/\omega,$$

где e - заряд электрона; $\omega(\text{BF}_3) = 35,3$ эВ; $\omega(^3\text{He}) = 30$ эВ – средняя энергия ионообразования в газах BF_3 и ^3He ; W – энергия продуктов соответствующих реакции.

Сравнить расчет с величиной $Q^{\text{эксп}}_{\text{ик}}$, полученной экспериментально.

г) Рассчитать и построить зависимость экспериментального коэффициента внутреннего усиления $M_{\text{эксп}}$ от напряжения U_0 для обоих детекторов. Вычислить ошибки полученных величин $M_{\text{эксп}}$.

2. По результатам пункта 2 рабочего задания:

а) Построить распределения импульсов по амплитудам для выбранных в процессе работы значений напряжений для детекторов СНМ-5 и СНМ-16.

б) Объяснить зависимость формы линии детекторов от режимов их работы.

в) Для счетчика СНМ-5, анализируя распределение, соответствующее пропорциональному режиму работы, установить связь между величиной энергии, выделенной в рабочем объеме детектора, и положениями максимумов в распределении.

г) Используя это же распределение, вычислить площади под максимумами, оценить их соотношение и сравнить с теоретическим значением, приведенным во введении.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему в детекторах с газовым усилением используется цилиндрическая геометрия?

2. Обосновать выбор параметров формирующих цепей усилительного тракта, подключенного к газовому пропорциональному детектору.

3. Как осуществляется регистрация тепловых нейтронов газовыми детекторами?

4. Коротко изложить механизм газового усиления в пропорциональных детекторах.

5. Перечислить ядерные реакции, используемые для регистрации тепловых нейтронов.

Список литературы

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. Ляпидевский В.К. Методы детектирования излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987.

3. Ободовский И.М. Сборник задач по экспериментальным методам ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1987.