

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ЭЛЕМЕНТЫ ГАММА СПЕКТРОМЕТРИИ. ГАММА-СПЕКТРОМЕТР НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА И ОДНОКАНАЛЬНОГО АМПЛИТУДНОГО АНАЛИЗАТОРА

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1. Цели и задачи работы.

Ознакомиться с физическими основами сцинтилляционной гамма-спектрометрии методом амплитудного анализа импульсов детектора гамма-излучения, экспериментально измерить амплитудные спектры предложенных преподавателем радиоактивных изотопов и по известным схемам распада радиоактивных изотопов лабораторного практикума идентифицировать измеренные радионуклиды, определить энергию и физическую природу квантов, соответствующих особенностям измеренных спектров.

Сцинтилляционная гамма-спектрометрия – весьма распространенный в научных исследованиях, в практике медицины и радиационной экологии, в производстве и т.п. применениях метод измерения энергии гамма-квантов с энергией от нескольких сотен кэВ до нескольких МэВ.

В настоящее время этот метод гамма-спектрометрии существенно модифицирован (по сравнению с данной лабораторной работой) использованием полупроводниковых детекторов гамма-излучения, имеющих значительно лучшее энергетическое разрешение, чем сцинтилляционные детекторы, а также автоматизацией процесса измерения и обработки спектра по типу многоканального амплитудного анализатора, путем встраивания в обычный компьютер платы амплитудно-цифрового преобразовательного устройства (АЦПУ) с соответствующей программой.

Перед выполнением работы рекомендуется еще раз прочитать «Введение в физпрактикум по ядерной физике», уделив дополнительное внимание пунктам: 1, 2, 3.1.1, 3.2, 3.4, 4.2, 4.3, 5.4, а также ознакомиться (лучше проделать) с лаб. раб. №2 – «Сцинтилляционный детектор».

2. Вступление. Сцинтилляционный детектор (элементы устройства и действия).

Регистрация ядерных излучений сцинтилляционными детекторами основана на **радиолюминесценции**. Явление радиолюминесценции заключается в появлении световых вспышек при возбуждении некоторых веществ частицами и квантами ионизирующих излучений. Световая вспышка радиолюминесценции называется **сцинтилляцией**, а детекторы ионизирующих излучений, основанные на регистрации сцинтилляцией, называются сцинтилляционными детекторами. Вещества – люминофоры, испускающие свет под действием ионизирующих излучений, называют **сцинтилляторами**.

Сцинтилляционный метод регистрации ионизирующих излучений – один из наиболее старых методов детектирования, который использовался еще Резерфордом при регистрации α -частиц визуально, по вспышкам света в кристалликах сернистого цинка. Широкое применение этот метод нашел после изобретения **фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)**, позволяющего регистрировать весьма малые по длительности и очень слабые по интенсивности вспышки света. Таким образом, современный сцинтилляционный детектор состоит из сцинтиллятора и ФЭУ, в котором энергия световых вспышек сцинтиллятора через посредство фотоэффекта преобразуется в импульсы электрического тока. Эти импульсы обрабатываются измерительной аппаратурой для получения информации о регистрируемом излучении.

В данной работе применяется наиболее распространенный сцинтилляционный датчик с твердым сцинтиллятором **NaJ(Tl)** – кристалл йодистого натрия, активированный небольшой добавкой таллия.

При регистрации попавших на кристалл сцинтиллятора частицы или кванта ионизирующего излучения, в результате взаимодействия с веществом сцинтиллятора (см. раздел «Механизм сцинтилляционного процесса» в лаб. раб. №2) из кристалла вылетает кратковременная вспышка

света, т.е. некоторое определенное количество фотонов, пропорциональное энергии зарегистрированной частицы (кванта) излучения.

Фотоны сцинтилляции, попадая на фотокатод ФЭУ, за счет фотоэффекта вырывают из его светочувствительного слоя некоторое количество электронов, пропорциональное в среднем числу фотонов вспышки. Под действием приложенного электрического поля соответствующей полярности, электроны, ускоряясь, направляются последовательно на соответственно расположенные электроды ФЭУ (электровакуумный прибор, соединяющий в себе свойства фотоэлемента и усилителя тока), которые, в результате бомбардировки, за счет вторичной электронной эмиссии испускают электроны в количестве, значительно превышающем число пришедших на них, однако, пропорциональное этому количеству (см. раздел «Фотоэлектронный умножитель, устройство и принцип действия» в лаб. раб. №2).

Таким образом, на аноде ФЭУ собирается достаточно большое количество электронов, пропорциональное, в среднем, числу первичных фотоэлектронов, т.е. числу фотонов или энергии сцинтилляционной вспышки, т.е. энергии регистрируемой частицы. Эти электроны создают на аноде ФЭУ импульс тока с амплитудой A , пропорциональной (с коэффициентом пропорциональности K) энергии частицы (кванта) E , зарегистрированной детектором, который в дальнейшем исследуется комплексом измерительной аппаратуры (в данной лаб. раб. – это измерение амплитудного спектра, соответствующего энергетическому спектру исследуемого регистрируемого излучения).

Энергетический спектр излучения – это распределение частиц (квантов) излучения по величине энергии. Амплитудный спектр – это распределение импульсов сцинтилляционного (пропорционального) детектора излучения по величине амплитуды.

Величина коэффициента пропорциональности K определяется свойствами самого детектора и питающими его напряжениями (с ростом высокого напряжения на ФЭУ растет вторичная электронная эмиссия и, соответственно, амплитуда выходного сигнала). *Величина K (при оптимальном рабочем напряжении питания ФЭУ) может быть легко установлена из соотношения $A_{\text{измер.}} = K \cdot E_{\text{известн.}}$ сопоставлением амплитуды сигнала от излучения известной энергии. При известной величине K данного сцинтилляционного детектора при его рабочем напряжении и измеряемой (например, по осциллографу, как в лаб. раб. №2, или с помощью амплитудного анализатора, как в данной лаб. раб.) величине амплитуды сигнала детектора легко установить энергию частиц (квантов) регистрируемого излучения $E_{\text{неизвестн.}} = (1/K) \cdot A_{\text{измер.неизвестн.}}$, либо просто пропорцией.*

Указанная пропорциональность или спектрометрические свойства детектора ограничены и для сцинтилляционного датчика и, вообще, для любого спектрометрического детектора, так называемым **энергетическим разрешением**, вследствие того, что процессы преобразования энергии частицы в выходной сигнал имеют вероятностный характер. Основной вклад в статистический характер коэффициента преобразования сцинтилляционного детектора K вносят флуктуации в образовании фотонов сцинтилляции и флуктуации числа фотоэлектронов, эмитируемых фотокатодом ФЭУ. Кроме того, заметный вклад в разброс амплитуд выходных сигналов детектора дают чисто практические причины типа неоднородностей состава и структуры сцинтиллятора и фотокатода, краевой эффект сцинтиллятора, в результате которого регистрируемые частицы (кванты) при рассеянии, или вторичные электроны выходят за пределы сцинтиллятора, потеряв в нем только часть энергии, а также изменения коэффициента усиления ФЭУ при колебаниях питающего напряжения и т.п. Таким образом, **даже при регистрации моноэнергетического излучения, амплитуды импульсов на выходе детектора дают определенное (примерно гауссовское) распределение вокруг среднего значения, соответствующего энергии частиц излучения** (см. рис. в п. 5.4 «Введения в физпрактикум» и раздел «Особенности сцинтилляционного детектора.» в лаб. раб. №2). Положение пика по амплитуде A в амплитудном спектре определяет энергию частиц (квантов) регистрируемого излучения, а разброс импульсов по амплитуде ΔA , обычно определяемый на половине высоты пика распределения (**полуширина распределения**), связан с энергетическим разрешением. Соответственно, неопределенность, т.е. точность или погрешность измеряемой энергии излучения

$\Delta E = (1/K) \cdot \Delta A$. Отличить два пика и соответственно энергии излучения, различающиеся менее чем на ΔE , с данным детектором невозможно, так как оба отдельных пика сольются в один более широкий пик. Энергетическое разрешение – существенная характеристика пропорционального детектора.

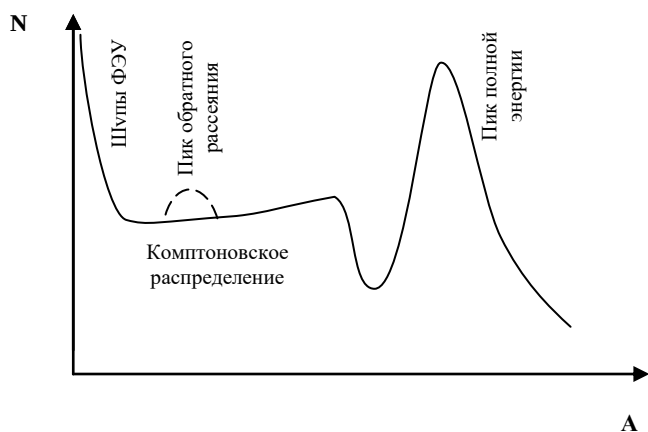
Таким образом, соотношение $E = (1/K) \cdot A$ для пропорциональных детекторов справедливо в среднем, с относительной погрешностью $\delta = \Delta A/A = \Delta E/E$, **называемой величиной энергетического разрешения данного детектора (измеряется в относительных единицах или в процентах)**

Отметим, что энергетическое разрешение зависит от многих факторов: от энергии излучения (оно улучшается, т.е. уменьшается, с ростом энергии, соответствуя общеизвестной истине о более точном измерении больших величин), от однородности вещества детектора, в котором происходит ионизационный эффект, от места попадания частицы (кванта) в детектор (краевой эффект, при котором частица излучения может не полностью потерять свою энергию в детекторе), от степени стабилизации напряжения питания детектора и др. Большинство этих факторов, очевидно, дополнительно к флуктуациям ионизации и возбуждения атомов вещества детектора, ухудшают энергетическое разрешение.

Необходимо отметить, что сцинтилляционные детекторы вследствие большого усиления фототока фотоумножителем дают выходные сигналы не очень малой амплитуды (примерно от десятых долей вольт до единиц вольт), что упрощает их обработку измерительной аппаратурой, но все-таки требуют определенного усиления.

Большое значение, особенно при регистрации излучений малой энергии, имеют **шумы ФЭУ**, возникающие независимо от внешнего облучения за счет внутренних эффектов в сцинтилляционном детекторе, главным образом, за счет **термоэлектронной эмиссии фотокатода** (см. раздел «Особенности сцинтилляционного детектора.» в лаб. раб. №2).

Для фотокатодов обычно применяемых фотоумножителей, даже при комнатной температуре, термоэмиссия приводит к непрерывному испусканию небольшого количества термоэлектронов, приводящих к появлению на аноде ФЭУ распределения шумовых импульсов по амплитуде, спадающего с ростом амплитуды (очевидно, что вероятность практически одновременного испускания фотокатодом ФЭУ меньшего количества термоэлектронов выше, чем большего количества). Примерной верхней границе этого распределения в единицах энергии соответствует **энергетический эквивалент шумов ФЭУ – $E_{шум} \cdot \gamma$ -кванты** с энергией порядка $E_{шум}$. и меньше таким детектором не имеет смысла регистрировать, так как импульс от такого γ -кванта неотличим от импульса шума (отношение сигнал/шум в электронике).



На рис. показан возможный примерный вид амплитудного спектра моноэнергетического гамма-излучения с энергией порядка нескольких сотен кэВ. Фактически, **амплитудный спектр – это зависимость $N(A)$ количества импульсов N сцинтилляционного детектора, зарегистрированных пересчеткой за некоторое определенное время экспозиции, от их амплитуды A , т.е. номера канала амплитудного анализатора** (см. ниже описание блок-схемы лабораторной установки).

Взаимодействие гамма-излучения с веществом кратко описано в п. 3 «Введения в физпрактикум» и в п. 5 лаб. раб. №7.

Пик полной энергии (или фотопик) обусловлен взаимодействием кванта гамма (рентгеновского) излучения с веществом сцинтиллятора за счет **фотоэффекта** или за счет **комpton-эффекта** с последующим фотопоглощением кристаллом рассеянного кванта. **При этом вся энергия зарегистрированного кванта излучения передается кристаллу.**

Комптоновское распределение в амплитудном спектре обусловлено взаимодействием гамма-квантов с веществом кристалла за счет эффекта Комптона, при котором рассеянный квант уходит из кристалла без взаимодействия, т.е. кристаллу при этом передается меньшая энергия, фактически только энергия комптоновского электрона. Отметим, что фотоэлектроны и комптоновские электроны, как и любые другие заряженные частицы, с большой вероятностью всю свою энергию передают кристаллу, если его размеры не слишком малы. Различные возможные параметры комптоновского рассеяния приводят к широкому спектру энергий комптоновских электронов от практически нулевой до максимальной при «лобовом столкновении» регистрируемого гамма-кванта с электроном кристалла сцинтиллятора (рассеяние электрона вперед).

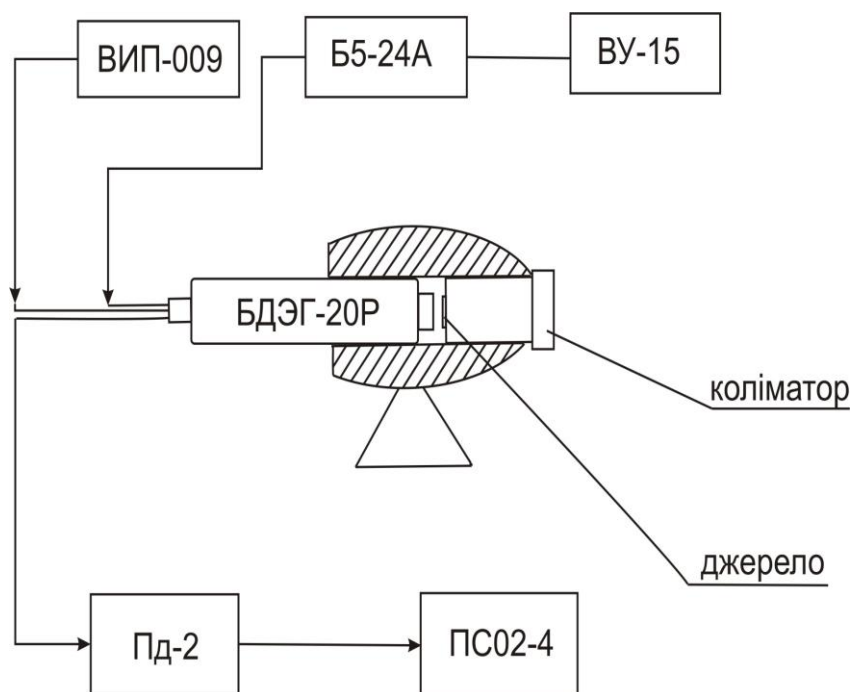
Распределение шумовых импульсов ФЭУ описано выше.

Заметный по величине **пик обратного рассеяния** (на рис. обозначен пунктиром) может наблюдаться в амплитудном спектре в том случае, если радиоактивный источник гамма-излучения закрыт с противоположной (что существенно) стороны от детектора многоэлектронным веществом с большим атомным номером (например, защитным свинцовым кожухом, как в данной лаб. раб.). Гамма-кванты источника, излучение которого практически изотропно, рассеянные при комптон-эффекте в этом веществе на углы, близкие к 180° (в зависимости от геометрии эксперимента, размеров кристалла сцинтиллятора и т.п.), попадают в детектор и при фотопоглощении дают пик обратного рассеяния, энергию которого легко рассчитать на основе законов сохранения энергии и импульса в комптон-эффекте: $E_{\text{расс.}} = E_0 / (1 + (1 - \cos\varphi) \cdot E_0 / (m_0 \cdot c^2))$, где $E_{\text{расс.}}$ – энергия рассеянного на угол φ от первоначального направления гамма-кванта, летевшего с энергией E_0 , а величина $(m_0 \cdot c^2)$ – энергия покоя электрона. В отсутствие защитного контейнера пик обратного рассеяния в амплитудном спектре практически исчезает.

Возможные дополнительные особенности амплитудного спектра сцинтилляционного детектора при регистрации им гамма-излучения, такие, как пик вылета, пики характеристического рентгеновского излучения атомов самого кристалла и вещества окружения источника излучения и т.п. в данной лаб. раб. не рассматриваются.

Глава 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для получения амплитудного спектра, соответствующего энергетическому спектру регистрируемого сцинтилляционным детектором гамма-излучения исследуемого радиоактивного источника, используется установка, блок-схема которой представлена на рис.



Лабораторная установка состоит из следующих приборов и приспособлений:

1. **Спектрометрический сцинтилляционный детектор типа БДЭГ-20Р**, размещенный в свинцовом защитном контейнере с **коллиматором**.
2. **Одноканальный дифференциальный амплитудный анализатор ПД-2**.
3. **Высоковольтный блок электропитания Б5-24А** для питания ФЭУ сцинтилляционного детектора.
4. **Универсальный вольтметр ВУ-15**, предназначенный для контроля напряжения высоковольтного блока питания.

5. **Низковольтный блок ВПП-009 электропитания** предварительного усилителя сигналов сцинтилляционного детектора.
6. **Пересчетный прибор ПС02-4** (пересчетка) для подсчета количества импульсов, выдаваемых анализатором.
7. **Стабилизатор феррорезонансный С-0,5**, для стабилизации сетевого напряжения 220В питания установки (на рис. не изображен).

Радиоактивный источник (выдается преподавателем) крепится скотчем примерно по центру внутреннего торца вывинчивающегося коллиматора защитного контейнера. Работа с радиоактивным источником (даже минимально значимой активности) в защитном свинцовом контейнере – это дополнительный фактор обеспечения радиационной безопасности, особенно при длительных измерениях; помещение самого детектора в защитный контейнер – это уменьшение влияния на измерения естественного радиационного фона. Расположение источника вблизи детектора (если это допускается условиями эксперимента) уменьшает время набора статистики при заданной точности измерений в исследованиях случайных явлений (радиоактивный распад), т.е. время выполнения данной лабораторной работы. Абсолютная ошибка (погрешность) Δ измерения любой дискретной случайной величины, (например N – число импульсов, отсчитанных пересчеткой за определенное время, выбранное экспериментатором), распределение которой есть распределение Пуассона, соответствует дисперсии распределения и равно в данном случае $\Delta = N^{1/2}$ (см. лаб. раб. №4). Относительная ошибка этого измерения $\delta = N^{1/2}/N = N^{-1/2}$. Для уменьшения этой ошибки при однократном измерении нужно увеличивать N , т.е. время отдельного измерения, или приближать, при возможности, радиоактивный источник к детектору.

Действие установки заключается в следующем. Регистрация гамма-квантов источника сцинтилляционным детектором сопровождается импульсами электрического напряжения на выходе предусилителя детектора с амплитудами пропорциональными энергиям квантов. Эти импульсы с выхода детектора поступают на вход амплитудного анализатора ПД-2, в котором реализуется процесс получения амплитудного спектра методом **одноканального дифференциального дискриминатора** (латин. Discrimino – различаю). Пересчетным прибором ПС02-4 производится подсчет импульсов определенной амплитуды, установленной на дискриминаторе анализатора соответствующими переключателями, за некоторый промежуток времени (выбранное время экспозиции). Изменяя уровень дискриминации, получают амплитудный спектр регистрируемого излучения $N(A)$.

Основной прибор установки, отражающий учебную цель данной лабораторной работы, –



одноканальный дифференциальный амплитудный анализатор ПД-2, блок-схема которого представлена на рис. Прибор пред-

назначен для неавтоматического (ручного) измерения спектрального распределения амплитуд (по величине амплитуды) сигналов сцинтилляционных спектрометрических детекторов.

Прибор рассчитан на регистрацию амплитудного распределения положительных импульсов длительностью около 1,5 мксек амплитудой 0,04 – 10 В, что соответствует параметрам применяемого сцинтилляционного детектора БДЭГ-20Р.

Выходной сигнал анализатора ПД-2 соответствует по своим параметрам необходимым уровням входного сигнала пересчетки ПС02-4.

Электронные схемы анализатора ПД-2 собраны, в основном, на радиолампах. В состав прибора входят следующие блоки: блок входного линейного усилителя импульсов БУ-2, собственно блок дискриминации амплитуд входных импульсов БД-2, блок контроля режимов работы анализатора БК и два блока питания электронных схем анализатора БН-7 и БН-13.

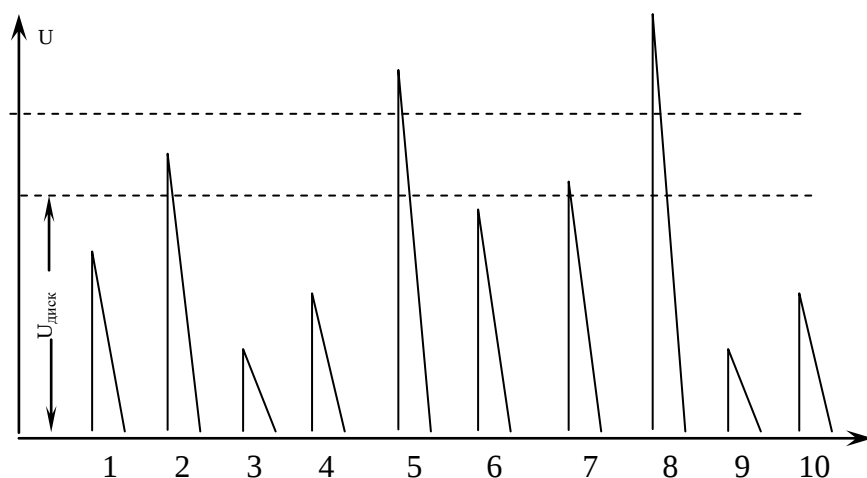
Линейный усилитель импульсов БУ-2 с регулируемым коэффициентом усиления, переключателем «ВХОДНОЙ СИГНАЛ, вольты» поднимает, при необходимости, пропорционально амплитуду максимальных в исследуемом спектре амплитуд входных сигналов до уровня 100В.

В блоке дискриминатора БД-2 уровень дискриминации анализатора может переключателем «УРОВЕНЬ ДИСКРИМИНАЦИИ, вольты» изменяться оператором скачками в общих пределах от 0В до 100В на выбранную переключателем «ШИРИНА КАНАЛА, вольты» величину ширины канала 1В, 2В, 5В и 10В, в зависимости от желаемого уровня детализации исследуемого энергетического спектра излучения.

Контрольный блок БК позволяет оператору контролировать необходимые напряжения питания электронных схем анализатора и, например, общую интенсивность входных импульсов в положении переключателя «ИНТЕГР. ИНТЕНСИВНОСТЬ, имп/сек».

Блоки питания БН-7 и БН-13 обеспечивают питание электронных схем анализатора стабилизированными постоянными напряжениями: +300В, +150В, -150В, -12В и переменным стабилизированным напряжением питания накала радиоламп ~6,3В.

Передача сигналов и напряжений между блоками анализатора обеспечивается соединительными кабелями и проводами между задними разъемами прибора, в которые вставляются блоки.



Работа блока дифференциальной дискриминации анализатора амплитуд входных импульсов БД-2 основана на совместном действии двух интегральных дискриминаторов и схемы антисовпадений, которые отбирают на выход блока БД-2, т.е. на пересчетный прибор только те импульсы, амплитуды которых лежат между граничными нижним (один интегральный дискриминатор) и верхним (другой

интегральный дискриминатор) порогами канала (окна) дифференциального дискриминатора (на рис. уровень этих напряжений U показан двумя пунктирными линиями). В соответствии с приведенным рисунком это будут только 2-й и 7-й импульсы. Разность напряжений этих пунктирных линий и есть ШИРИНА КАНАЛА дифференциального дискриминатора.

Интегральный дискриминатор – это электронное устройство с регулируемым (например, переключением по делителю из резисторов) уровнем напряжения порога для входных импульсов (уровень напряжения пунктирных линий рисунка, нижней для одного и верхней для другого интегральных дискриминаторов). На выходе интегрального дискриминатора возникает стандартный импульс только в том случае, если амплитуда входного импульса превышает пороговый уровень. Схема антисовпадений – это электронное устройство с двумя входами и одним выходом, на котором появляется стандартный импульс только в том случае, если только на один (любой) вход этой схемы поступает импульс (антисовпадение). При отсутствии на обоих ее входах импульсов или практически одновременном поступлении на оба входа импульсов (совпадение), на выходе схемы антисовпадений сигнал (импульс) не возникает. В соответствии с приведенным рисунком это реализуется только для 1-го, 3-го, 4-го, 6-го, 9-го и 10-го импульсов, а также для 5-го и 8-го импульсов. Таким образом, на пересчетке будет отсчитан (добавлена

единица к уже отсчитанному числу N) только тот импульс, поступивший на вход анализатора, амплитуда которого попадает в установленную ширину канала. Изменяя уровень дискриминации на величину ширины канала во всем диапазоне амплитуд анализатора, получают, по отсчетам пересчетки при заданном времени экспозиции, амплитудный спектр исследуемого излучения радиоактивного источника, по которому узнают его энергетический спектр, используя амплитудный спектр известного источника.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Идентифицировать все приборы и блоки установки и разобраться с их соединением между собой согласно блок-схеме. Действуя в соответствии с указаниями пунктов «Порядка выполнения работы» реализовать выполнение следующих экспериментальных заданий.

1. Измерить амплитудный спектр **«известного»** радиоактивного источника. Представить преподавателю таблицу измерений и примерный качественный график спектра.
2. Измерить амплитудный спектр **«неизвестного»** радиоактивного источника. Представить преподавателю таблицу измерений и примерный качественный график спектра.
3. Построить на миллиметровке (или, при наличии возможности, использовать компьютер) измеренные амплитудные спектры обоих радиоактивных источников. По известному от преподавателя (или из имеющихся в лаборатории схем распада, используемых в физпрактикуме радиоактивных изотопов) значению энергии гамма-квантов распада **«известного»** радиоактивного источника, вычислить значения энергии квантов для всех особенностей (максимумов и т.п.) обоих амплитудных спектров, предполагая линейную зависимость амплитуды импульса сцинтилляционного детектора от энергии зарегистрированного кванта (частицы) во всем диапазоне энергий (амплитуд). Интерпретировать все особенности полученных гамма-спектров с точки зрения возможных физических явлений взаимодействия частиц и гамма-квантов исследуемого радиоактивного изотопа с веществом сцинтиллятора и веществом его окружения. При расчетах учесть возможные погрешности определения энергии особенностей амплитудных спектров, связанные с нелинейностью для гамма-спектрометра лаборатории в соотношении амплитуда-энергия порядка 20% в области малых энергий, и до 10% в области больших энергий. Указанная нелинейность вызвана нелинейностью самого кристалла сцинтиллятора в преобразовании энергии кванта – количество испущенных фотонов, возможной нелинейностью блока усилителя импульсов дискриминатора ПД-2, а также возможной нестабильностью работы источника высокого напряжения питания ФЭУ сцинтилляционного детектора Б5-24А.

Глава 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

С целью выполнения правил техники безопасности, предотвращения выхода из строя приборов установки и нормального функционирования установки при выполнении лабораторной работы, строго следовать описанному далее порядку включения приборов.

- 1). Проверить включение, а при необходимости, подключить к сети 220 В лаборатории кабель питания феррорезонансного стабилизатора С-0,5, питающего стабилизированным переменным напряжением 220В основные приборы данной лабораторной работы (феррорезонансный стабилизатор при работе «гудит» - вибрация пластин трансформатора). Дополнительная стабилизация сетевого напряжения, которое может слегка изменяться в течение рабочего дня, применяется с целью поддержания неизменными параметров работы основных приборов установки при сравнительно длительных измерениях гамма-спектров.
- 2). Проверить включение, а при необходимости, подключить к питаемому стабилизатором С-0,5 набору розеток (3 штуки), сетевые кабели приборов установки: Б5-24А, ПД-2, ВИП-009.
- 3). Проверить включение, а при необходимости, подключить к обычной сети 220В лаборатории кабели питания приборов ПС02-4, ВУ-15, и вентилятора (должен сразу начать работать), применяемого для обдува прибора Б5-24А (при значительном нагреве в процессе работы, выходное напряжение прибора может слегка «уходить» от установленного значения).

4). Проверить нахождение тумблера «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖ.» и переключателя «НАПРЯЖ. ВЫХОДА» прибора Б5-24А в положении «ВЫКЛ.».

5). Включить тумблеры «СЕТЬ» приборов Б5-24А, ПД-2, ВИП-009, нажать кнопку «U – » прибора ВУ-15. На всех приборах должны загореться сигнальные индикаторы (лампочки) включения питания. На приборе Б5-24А должна включиться сигнальная лампочка «СОЕДИНЕН С КОРПУСОМ, и +», а на приборе ПС02-4 линейка световой индикации чисел. На приборе ВИП-009 должны отклониться стрелки вольтметров. **При несоответствии реальной ситуации, описанной выше, здесь и в дальнейшем, – обращаться к преподавателю.**

6). Выждать не менее 5 минут, необходимых для прогрева радиоламп применяемых приборов установки, в течении которых проверить соответствие переключателей и ручек приборов необходимым, оптимальным для проведения лабораторной работы положениям (при необходимости переключить):

а) Б5-24А – переключатели «УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ»: «КИЛОВОЛЬТЫ» в положение «0,4» (между «0,2» и «0,6»), «ВОЛЬТЫ» - в положение «100», следующая круглая ручка плавной регулировки - в произвольном положении.

б) ПД-2 - переключатели «ВХОДНОЙ СИГНАЛ, вольты» - в положение «1,0». «ШИРИНА КАНАЛА, вольты» - в положение «1», «УРОВЕНЬ ДИСКРИМИНАЦИИ, вольты» - в положение «0» и «0». «ИНТЕГР. ИНТЕНСИВНОСТЬ, имп/сек» - в положение «100т», «ИЗМЕРЕНИЕ» - в положение «ИНТЕГР. ИНТЕНС.»

в) ВИП-009 – кнопка «РОД РАБОТЫ» - в положение «ОДИНОЧН.» (отжата), переключатели «КАНАЛ I, грубо» и «КАНАЛ II, грубо» - в положение «15». Ручками «ПЛАВНО» при необходимости подрегулировать показания вольтметров «КАНАЛ I» и «КАНАЛ II» на отметку 12 В по шкале приборов.

г) ВУ-15 - проверить подключение вольтметра ВУ-15 кабелем к разъему «ВЫХОД», «ВН» (высокое напряжение) блока Б5-24А: оранжевый провод должен быть подключен к клемме «⊥» (корпус, заземление), а красный провод, к клемме «30 – 1000 V, + -». Ручка переключателя прибора должна быть установлена в положении «1000» крайнее правое положение (по часовой стрелке).

7). Поставить тумблер «ВЫСОКОЕ НАПРЯЖ.» - в положение «ВКЛ.». Должна включиться соответствующая лампочка световой индикации. После выдержки в течение не менее 3 минут переключатель «НАПРЯЖ. ВЫХОДА» поставить - в положение «ВКЛ.». При этом на блок сцинтилляционного детектора БДЭГ-20Р должно подаваться высокое напряжение отрицательной полярности 660 В, контролируемое вольтметром ВУ-15. Проверить показания вольтметра ВУ-15 на соответствие величине 660 В по верхней шкале прибора (при необходимости тщательно подрегулировать установку стрелки вольтметра на отметку 660 В ручкой плавной регулировки «0 – 20» высокого напряжения блока Б5-24А. **В дальнейшем, в процессе измерений, периодически контролировать положение стрелки на отметке 660 В и, при необходимости, производить корректировку положения стрелки).**

Оформление лабораторной работы должно соответствовать требованиям пункта 1 «Введения в физпрактикум».

8). Порядок работы с пересчетным прибором ПС02-4 (упрощенное название: пересчетка). Прибор способен подсчитывать электрические импульсы любой полярности с амплитудой, превышающей порог срабатывания прибора. Время набора импульсов (время экспозиции) задается по выбору экспериментатора в самом приборе.

Включить прибор нажатием на красную кнопку «Сеть» (прибор выключается при отжатой кнопке, что достигается повторным нажатием на нее). Должна загореться линейка световой индикации. Система индикаторов арабских цифр осуществляет десятичную запись числа зарегистрированных импульсов (справа налево: единицы, десятки, сотни и т.д.). Прибор практически сразу же после включения готов к работе. Установить все кнопки верхнего ряда, кроме левой кнопки, в отжатое состояние. **(При отжатой кнопке прибор работает в соответствии с подписью над кнопкой, при нажатой кнопке – в соответствии с подписью под ней).** В указанном варианте прибор будет работать с импульсами положительной полярности, соответственно

положительной полярности выходного сигнала дискриминатора ПД-2, т.е. полярности сигналов на входе пересчетки, в автоматическом непрерывном режиме, при котором команды «Стоп», «Сброс» и «Пуск» будут вырабатываться автоматически внутри прибора под действием соответствующего генератора, а не нажатием клавиш. Методика эксперимента в данной лабораторной работе не позволяет использовать такой наименее трудоемкий для оператора порядок измерений, удобный при выполнении других лабораторных работ. Так как перед каждым измерением на пересчетке необходимо переключать уровень дискриминации прибора ПД-2, то в данной работе необходимо еще нажать кнопку «Однократный вывод». При нажатой кнопке «Однократный вывод», оператор управляет работой пересчетки вручную, нажатием клавиш «Сброс» и «Пуск», если время экспозиции установлено нажатием какой-то из кнопок времени экспозиции (сигнал «Стоп» при этом вырабатывается автоматически). При всех отжатых кнопках времени экспозиции оператор управляет работой пересчетки нажатием клавиш «Сброс», «Пуск», «Стоп», пользуясь внешним секундомером.

Нажать кнопку «N» прибора. В режиме нажатой кнопки «N» пересчетный прибор регистрирует число N импульсов, поступивших на вход пересчетки от внешнего источника сигналов за определенное время, установленное нажатием соответствующей кнопки времени экспозиции (от 0,1 до 1000 сек.). В режиме «T» (в данной работе этот режим не используется) прибор определяет время набора заданного количества импульсов.

Проверка правильности работы пересчетного прибора осуществляется при нажатой кнопке «Проверка». В этом случае на вход пересчетки поступают сигналы от внутреннего генератора с частотой 10 кГц. В режиме «Проверка» реальное время экспозиции меньше указанного над соответствующей кнопкой в 100 раз. При подсчете внешних сигналов (в данной работе импульсов сцинтилляционного датчика, обработанных дискриминатором ПД-2), когда кнопка «Проверка» отжата, время экспозиции соответствует гравировке – можно сравнить с секундомером наручных часов. Нажмите кнопку экспозиции, например, «100», а затем нажмите кнопку «Проверка». Пересчетка будет периодически или однократно (в зависимости от того, отжата или нажата кнопка «Однократный вывод») производить набор импульсов генератора проверки в течение 1 сек. (при правильной работе пересчетки должно набираться ровно 10000 импульсов). Во время набора импульсов горит лампочка «Счет» в левом нижнем углу панели прибора. Время, в течение которого на индикаторе «горит» число набранных при очередной экспозиции импульсов при отжатой кнопке «Однократный вывод», регулируется колесиком «Время индикации», и должно позволять оператору зарегистрировать (записать) результат измерений при сравнительно малом времени ожидания начала следующего измерения. **Произвести проверку пересчетного прибора при нескольких различных временах экспозиции, а затем отжать кнопку «Проверка», вернувшись в режим счёта внешних сигналов детектора (дискриминатора ПД-2).**

9). Убедиться в работоспособности установки, наблюдением регистрации гамма-излучения естественного радиационного фона и импульсов шумов сцинтилляционного детектора и усилителя дискриминатора ПД-2.

Если необходимые, оговоренные выше, напряжения питания поданы и сигнал сцинтилляционного детектора через дискриминатор ПД-2 поступает на пересчетный прибор, который включен на подсчет внешних импульсов положительной полярности, то пересчетка может производить регистрацию импульсов детектора, создаваемых γ -излучением естественного (природного) радиационного фона Земли, а также небольших по амплитуде шумовых импульсов (если уровень дискриминации ПД-2 установлен вблизи нулевого порога). «Фон» обусловлен регистрацией сцинтилляционным детектором частиц (квантов) излучения радиоактивных изотопов земной коры и космического излучения, а «шум» - электронной эмиссией за счет тепловых флуктуаций в электронных блоках установки. Убедиться в том, что при более высоком уровне дискриминации ПД-2 (например, 10В), интенсивность регистрации заметно падает (т. к. из счета исключаются небольшие по амплитуде шумовые сигналы). Увеличение ширины канала ПД-2 (например, до 10В), при данном уровне дискриминации приводит, очевидно, к росту интенсивности регистрации, в чем также легко убедиться. Определение интенсивности

регистрируемых импульсов производится по формуле $I = N/t$, где N – число сигналов (импульсов), зарегистрированных пресчеткой за некоторое, выбранное экспериментатором, время экспозиции t . Отметим, что регистрируемая величина «фона» зависит от степени экранировки свинцовым кожухом (тип УСД-1) сцинтилляционного детектора, точнее экранировки его кристалла сцинтиллятора. При удаленном свинцовом коллиматоре (с центральным отверстием) из кожуха УСД-1 (ввинчен в кожух справа в его торец – необходима осторожность, т.к. коллиматор сравнительно тяжелый), интенсивность регистрации «фона» возрастает, а при выдвигании всего сцинтилляционного детектора из кожуха УСД-1 (только под руководством преподавателя), возрастает весьма существенно.

10). Получить у преподавателя два радиоактивных источника для данной лабораторной работы: в одном варианте работы – это изотопы Cs^{137} и Am^{241} , а в другом варианте – это изотопы Co^{60} и Na^{22} . Источники получать по одному, после измерений с первым источником, обменять его на второй (это необходимо, в первую очередь, для предотвращения хотя и незначительного, но излишнего, облучения операторов лаб. раб., а также не предусмотренного облучения своего и соседних детекторов лабораторных работ, искажающего результаты измерений). Энергию основных γ -квантов одного из источников, по которой производится расчет энергий гамма-квантов всех особенностей измеренных в работе спектров, преподаватель должен сообщить). Поднести источник к сцинтилляционному кристаллу датчика справа (при удаленном коллиматоре) и убедиться в том, что пересчетка начала считать импульсы регистрации детектором квантов радиоактивного излучения препарата («переключение» световой индикации декад пересчетки происходит значительно быстрее), т.е. работа установки осуществляется нормально.

11). Прикрепить источник скотчем (получить у преподавателя) к внутреннему торцу коллиматора (желательно по центру для максимального облучения кристалла детектора) и ввинтить коллиматор с источником в кожух УСД-1 (при затруднениях обратиться к преподавателю). Восстановить положение переключателя ПД-2 «ШИРИНА КАНАЛА, вольты» - в положение «1». При измерениях амплитудных спектров изотопов Cs^{137} и Am^{241} переключатель «ВХОДНОЙ СИГНАЛ, вольты» дискриминатора ПД-2 – должен находиться в положении «1,0», а для изотопов Co^{60} и Na^{22} – в положении «2,0». Установить клавишей на пересчетке время экспозиции 30 с.

Приступить к измерению амплитудных спектров первого, а затем, заменив источник на коллиматоре, и второго радиоактивного источника лабораторной работы, фиксируя набор импульсов пересчеткой за время экспозиции 30с в зависимости от величины «УРОВЕНЬ ДИСКРИМИНАЦИИ, вольты» дискриминатора ПД-2, изменяемого скачками через 1 вольт. При этом обеспечить следующие области изменений «УРОВНЯ ДИСКРИМИНАЦИИ, вольты» при измерении амплитудных спектров:

Для изотопа Cs^{137} – от 0-го канала до 90-го канала.

Для изотопа Am^{241} – от 0-го канала до 10-го канала.

Для изотопа Co^{60} – от 0-го канала до 80-го канала.

Для изотопа Na^{22} – от 0-го канала до 80-го канала.

Указанные выше параметры установки блоков питания Б5-24А, ВИП-009, дискриминатора ПД-2 и пресчетки ПС02-4 подобраны при отработке оптимальной методики данной лабораторной работы, при ее постановке, с целью получения необходимых, полезных для физпрактикума, результатов измерений за время, отведенное по расписанию на выполнение работы.

Порядок действий оператора при измерениях амплитудных спектров с целью минимизации времени выполнения лабораторной работы: после остановки счета по окончании очередного времени экспозиции сначала переключить уровень дискриминации на 1 канал, затем записать показание пересчетки предыдущего канала, затем нажать кнопку “Сброс”, а затем “Пуск” пересчетки.

За время, необходимое для записи очередного показания пересчетки, в дискриминаторе ПД-2 гарантированно успеют пройти процессы установления напряжений электронной схемы нового уровня дискриминации.

12). Построить на миллиметровке (или, при наличии возможности, использовать компьютер) измеренные амплитудные спектры обоих радиоактивных источников. По известному от преподавателя (или из имеющихся в лаборатории схем распада, используемых в физпрактикуме радиоактивных изотопов) значению энергии гамма-квантов распада одного из источников, вычислить значения энергии квантов для всех особенностей (максимумов и т.п.) обоих амплитудных спектров, предполагая линейную зависимость амплитуды импульса сцинтилляционного детектора от энергии зарегистрированного кванта (частицы) во всем диапазоне энергий (амплитуд). Интерпретировать все особенности полученных гамма-спектров с точки зрения возможных физических явлений взаимодействия частиц и гамма-квантов исследуемого радиоактивного изотопа с веществом сцинтиллятора и веществом его окружения (см. главу 1 Теоретическое введение). При расчетах учесть возможные погрешности определения энергии особенностей амплитудных спектров, связанные с нелинейностью для гамма-спектрометра лаборатории в соотношении амплитуда-энергия порядка 20% в области малых энергий, и до 10% в области больших энергий. Указанная нелинейность вызвана нелинейностью самого кристалла сцинтиллятора в преобразовании энергия кванта – количество испущенных фотонов, возможной нелинейностью блока усилителя импульсов дискриминатора ПД-2, а также возможной нестабильностью работы источника высокого напряжения питания ФЭУ сцинтилляционного детектора Б5-24А.

13). Выключить все приборы лабораторной установки (выключение источника высокого напряжения Б5-24А провести обязательно в порядке обратном включению, но без выдержки по времени). Привести в порядок рабочее место. Сдать радиоактивные источники преподавателю.

14). Оформить лабораторную работу и отчитаться по ней перед преподавателем.

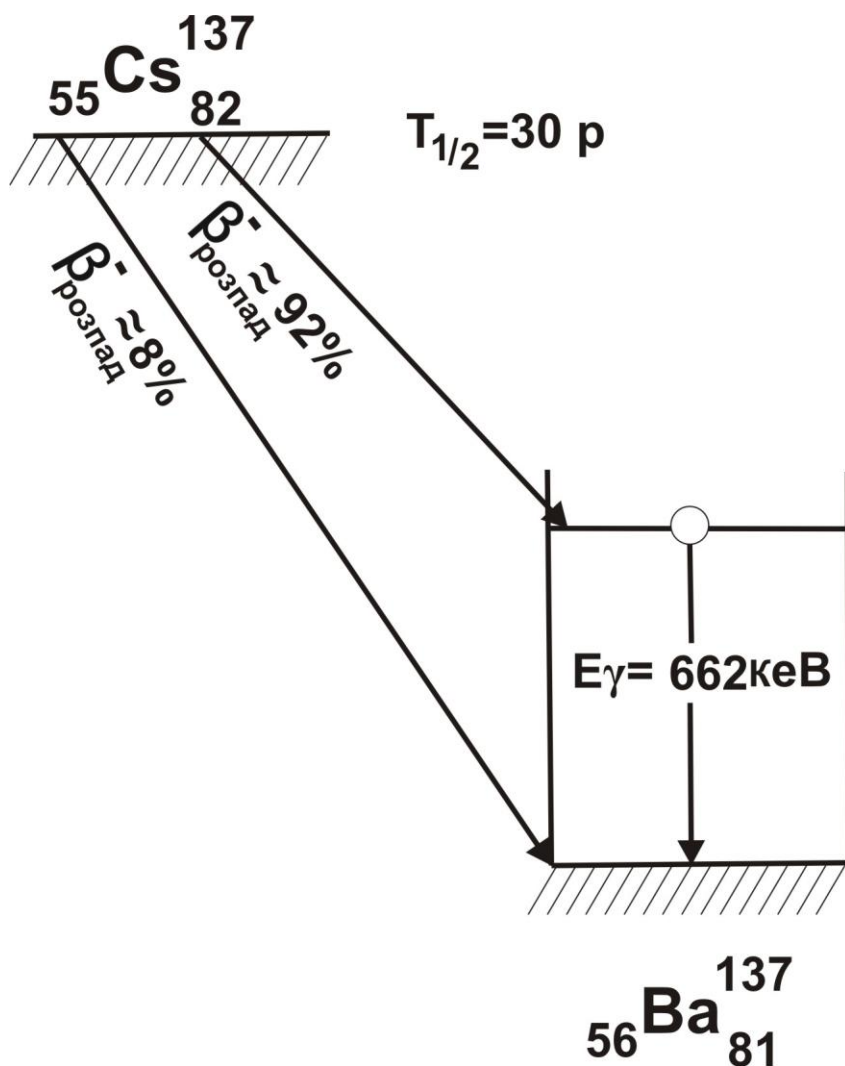


Схема розпаду нукліда ${}_{55}\text{Cs}^{137}_{82}$

На схемі зображений два основні канали розпаду, з сумарною ймовірністю майже 100%. Приведено період напіврозпаду $T_{1/2}=30\text{p}$. Максимальна енергія електронів β^- - розпаду дорівнює 0,512 MeV та 1,174 MeV відповідно. E_γ - енергія гамма – квантів переходу збудженого рівня нукліда ${}_{56}\text{Ba}^{137}_{81}$ до основного стану. Приведені на схемі значення величин наближені.

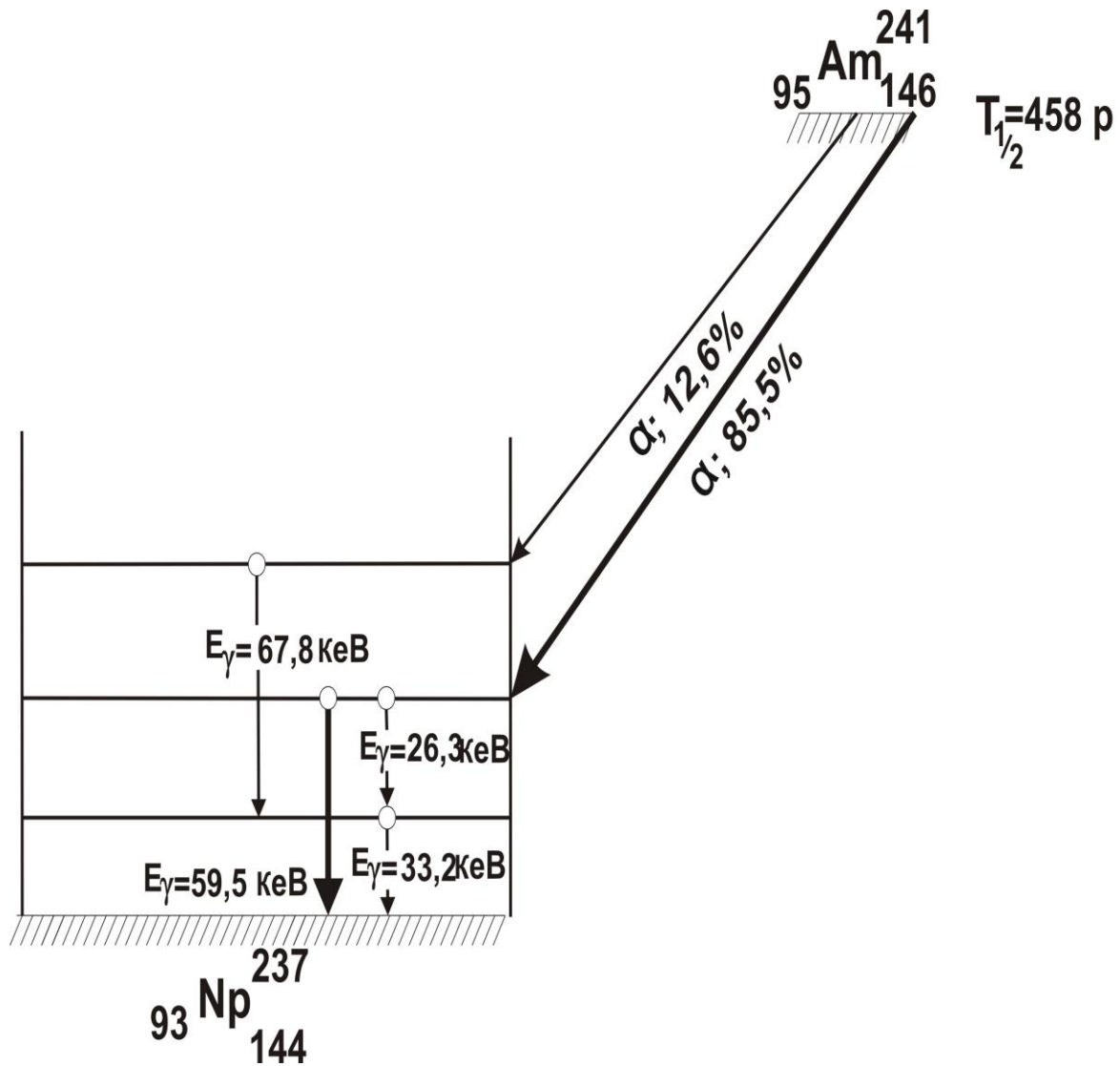


Схема розпаду нукліда ${}_{95}\text{Am}^{241}_{146}$

На схемі зображений два основних канали розпаду з сумарною ймовірністю 98,1% (більш ймовірні канали переходів виділені жирнішою лінією). Приведено період напіврозпаду $T_{1/2}=458$ р. Максимальна енергія частинок α - розпаду дорівнює 5,44 MeV та 5,49 MeV відповідно. E_{γ} - енергія гамма – квантів переходів збуджених рівнів нукліда ${}_{93}\text{Np}^{237}_{144}$ до основного стану. Приведені на схемі значення величин наближені.

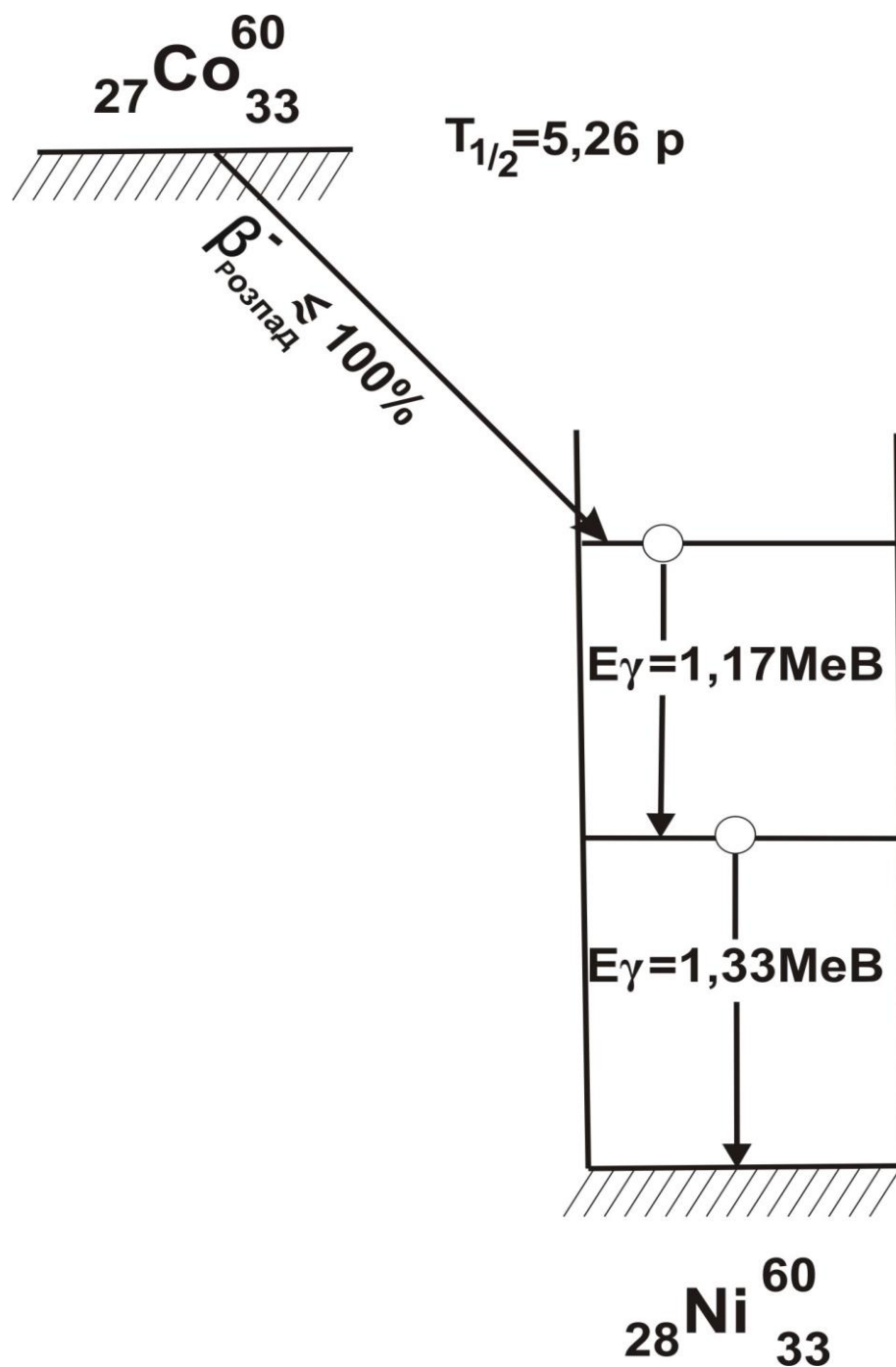


Схема розпаду нукліда $^{60}_{27}\text{Co}$

На схемі зображений тільки основний канал розпаду з ймовірністю майже 100%. Приведено період напіврозпаду $T_{1/2} = 5,26 \text{ p}$. Максимальна енергія електронів β^- розпаду дорівнює $0,318 \text{ MeV}$. E_γ - енергія гамма – квантів переходів збуджених рівнів нукліда $^{60}_{28}\text{Ni}$ до основного стану. Приведені на схемі значення величин наближені.

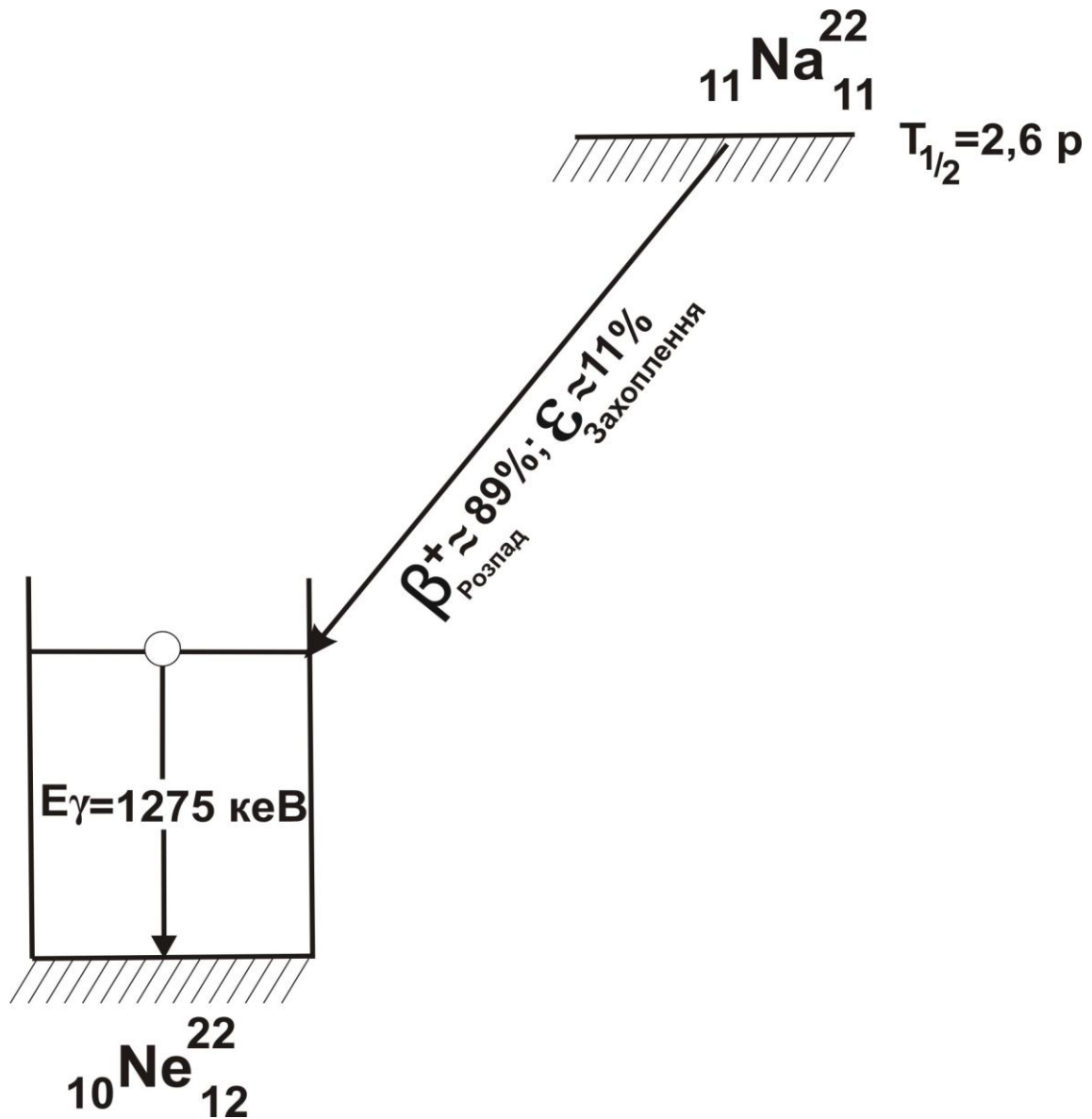


Схема розпаду нукліда ${}_{11}\text{Na}^{22}$

На схемі зображений основний канал розпаду, який може відбуватися двома шляхами: β^+ - розпад та ε - захоплення з сумарною ймовірністю майже 100%. Приведено період напіврозпаду $T_{1/2}=2,6\text{р}$. Максимальна енергія позитронів β^+ - розпаду дорівнює 0,546 MeV. E_γ - енергія гамма – квантів переходу збудженого рівня нукліда ${}_{11}\text{Ne}^{22}$ до основного стану. В зв'язку зі значною різницею сумарного моменту основного та збудженого стану ядра ${}_{11}\text{Ne}^{22}$ ймовірність гамма – переходу в основний стан незначна. Приведені на схемі значення величин наближені.