

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4
ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ГАММА-
ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучение принципа действия и устройства однокристального сцинтилляционного спектрометра гамма-излучения; освоение работы на спектрометре; экспериментальное определение основных параметров гамма-спектров; нахождение энергетического разрешения спектрометра.

Теоретическая часть

*Особенности взаимодействия гамма-излучения
с веществом сцинтиллятора*

Сцинтилляционные спектрометры широко применяются для решения многих задач прикладной ядерной физики. Объясняется это, прежде всего, такими свойствами сцинтилляционных детекторов, как высокая эффективность регистрации многих видов излучений, высокая временная разрешающая способность, способность измерять энергию частиц и фотонов. Аппаратура для сцинтилляционных измерений проста по конструкции и надежна в эксплуатации. Недостатком сцинтилляционного метода исследования излучений является невысокое энергетическое разрешение и сложность обработки результатов измерений.

Так как большинство сцинтилляторов создают световые вспышки по величине пропорциональные поглощенной энергии, то, измеряя величину световой вспышки, т.е. амплитуду импульса на аноде фотоумножителя, можно измерить энергию частицы. Измерение спектрального распределения гамма-излучения сводится к измерению спектра амплитуд импульсов и введению соответствующих аппаратных поправок.

Для получения хороших характеристик сцинтилляционного спектрометра сцинтиллятор должен поглощать гамма-излучение с большой эффективностью. Коэффициент поглощения зависит, в основном, от энергии гамма-излучения и от плотности сцинтиллятора.

Значение коэффициента линейного поглощения μ определяется тремя основными механизмами взаимодействия гамма-излучения с веществом.

При взаимодействии гамма-излучения с энергией $0,5 \leq E \leq 2,5$ МэВ с легкими веществами преобладает явление рассеяния. В результате рассеяния фотон, стал-

квиваясь с электроном, теряет часть своей энергии и изменяет направление движения.

Изменение энергии фотона с частотой ν_0 в случае комптоновского рассеяния может быть выражено следующей формулой:

$$h\nu' = \frac{h\nu_0}{1 + \frac{h\nu_0}{m_0c^2} \cdot (1 - \cos \theta)}, \quad (4.1)$$

где ν' - частота рассеянного фотона; θ — угол между падающим и рассеянным фотонами.

Явление комптоновского рассеяния на электроне характеризуется коэффициентом σ_e .

Величина коэффициента рассеяния, рассчитанная на один атом, пропорциональна концентрации электронов в единице объема поглощающего вещества.

$$\sigma_a = \sigma_e \rho \cdot N_A Z \frac{1}{A}, \quad (4.2)$$

где σ_e - коэффициент рассеяния, отнесенный к одному электрону; ρ - плотность поглощающего вещества; N_A - число Авогадро; Z - порядковый номер элемента, A - атомный вес.

Если известна величина коэффициента σ_a для свинца, которая приводится обычно в таблицах, то для любого элемента

$$\sigma_a = \sigma_{a_{pb}} \frac{\rho}{11,3} \cdot \frac{207,2}{A} \cdot \frac{Z}{82}. \quad (4.3)$$

Для мягкого гамма-излучения преобладающим видом взаимодействия с тяжелыми веществами является фотоэффект, характеризующийся коэффициентом τ . В результате этого явления фотон полностью отдает свою энергию электрону. Энергия фотона E_γ распределяется в соответствии с формулой

$$E_\gamma = I_0 + \frac{m\nu^2}{2}. \quad (4.4)$$

где I_0 - энергия, затрачиваемая на вырывание электрона и электронной оболочки, $\frac{m \cdot \nu^2}{2}$ - кинетическая энергия электрона, если ν меньше скорости света).

Коэффициент поглощения τ выражает долю квантов, поглощаемых на единице пути в веществе. Величина коэффициента поглощения пропорциональна числу

атомов поглощающего вещества в 1 см^3 и, отнесенная к одному атому, выражается следующей формулой:

$$\tau_a = a \cdot \left(\frac{1}{h\nu} \right)^{2,8} \cdot Z^4 \text{ (см}^2\text{)} \quad (4.5)$$

где a - постоянная.

Полный коэффициент поглощения в данном веществе

$$\tau = \tau_a \frac{\rho \cdot N_A}{A} \quad (4.6)$$

Если известна величина коэффициента τ для свинца, то для любого элемента

$$\tau = \tau_{pb} \frac{\rho}{11,3} \frac{207,2}{A} \left(\frac{Z}{82} \right)^4 \quad (4.7)$$

Для фотонов с энергией, большей 1,02 МэВ, при взаимодействии с тяжелыми веществами может происходить образование пар электрон-позитрон. Это явление не имеет существенного значения для естественных радиоактивных элементов.

Численное значение коэффициента χ , характеризующего явление образования пар, отнесенное к одному атому, выражается формулой

$$\chi_a = bZ^2(h\nu - 2m_0c^2), \quad (4.8)$$

где b — постоянный коэффициент.

Величина коэффициента χ , выражающего долю квантов, поглощенных на единице длины пути, равна

$$\chi = \chi_a \cdot \frac{\rho \cdot N_A}{A} \quad (4.9)$$

Если известен коэффициент χ_{pb} свинца, то для получения χ в любом другом веществе можно пользоваться выражением

$$\chi = \chi_{pb} \cdot \frac{\rho}{11,3} \cdot \frac{207,2}{A} \left(\frac{Z}{82} \right)^2 \quad (4.10)$$

Ослабление гамма-излучения в целом характеризуется коэффициентом, учитывающим все три описанные выше явления, и происходит по экспоненциальному закону:

$$N = N_0 \exp(-\mu \cdot d), \quad (4.11)$$

где N — число фотонов после прохождения слоя поглотителя толщиной d ; N_0 — первоначальное число фотонов; μ — коэффициент ослабления гамма-излучения:

$$\mu = \sigma + \tau + \chi. \quad (4.12)$$

Экспоненциальный закон поглощения достаточно хорошо соблюдается для узкого пучка лучей, выделенного с помощью диафрагмы.

Коэффициент μ возрастает с увеличением плотности вещества в большинстве случаев по линейному закону, поэтому имеет место соотношение

$$\frac{\mu}{\rho} \approx const. \quad (4.13)$$

Основные характеристики однокристалльного сцинтилляционного гамма-спектрометра.

Основными характеристиками сцинтилляционного спектрометра является эффективность, светосила и разрешающая способность. Светосилой спектрометра η называется отношение числа фактически регистрируемых им за единицу времени частиц или квантов одной энергетической группы к полному числу частиц или квантов той же энергетической группы, испускаемых источником. Светосила спектрометра определяется двумя факторами: геометрической эффективностью (эффективным телесным углом) ω , определяющей, какая доля излучения, испускаемого источником, попадает в детектор, и эффективностью регистрации $\bar{\eta}$, определяющей, какая часть поступающего в детектор излучения будет фактически зарегистрирована.

Эффективность регистрации гамма-излучения сцинтилляционным спектрометром определяется из выражения

$$\bar{\eta} \cong 1 - e^{-\mu x}, \quad (4.14)$$

где μ — линейный коэффициент поглощения гамма-излучения; x — путь, пройденный фотонами в сцинтилляторе.

Для определения разрешения спектрометра рассмотрим две близкие моноэнергетические группы фотонов с энергиями E_i и E_{i+1} , изображенные в энергетическом распределении, полученном на спектрометре (рис. 4.1).

Пусть $E_{i+1} - E_i = \Delta E$, тогда разрешающая способность спектрометра дается следующим выражением:

$$D = \frac{E_i}{\Delta E}. \quad (4.15)$$

В спектроскопии ядерных излучений, как и в оптике, понятие разрешающей способности условно, так как разделение двух линий существенно зависит от их формы. Форма спектральных линий принимается либо лоренцевой, либо гауссовой. Разрешающая способность спектрометра любого типа оценивается по даваемому им разрешению - величине, обратной разрешающей способности, — и выражается в процентах:

$$d = \frac{1}{D} \cdot 100\% , \quad (4.16)$$

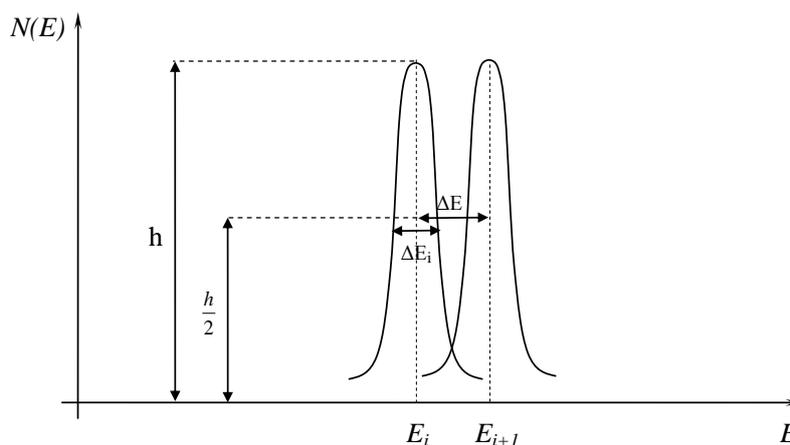


Рис. 4.1. К определению энергетического разрешения сцинтилляционного спектрометра

Принимая условно, что две спектральные линии еще могут наблюдаться раздельно, если они сдвинуты одна относительно другой на половину ширины спектральной линии, т.е. на ширину линии на высоте, равной половине максимальной, ΔE_i (см. рис. 4.1) приходим к определению понятия энергетического разрешения (величину ΔE_i иногда называют полушириной линии E_i)

$$d = \frac{\Delta E_i}{E_i} \cdot 100\% , \quad (4.17)$$

где ΔE_i - полуширина линии с энергией E_i .

Процесс образования квантов света в сцинтилляторе под действием гамма- фотонов или заряженных частиц является процессом статистическим. Статистический характер носят также и последующие процессы: соби́рание фотонов на фотокатод умножителя, эмиссия фотоэлектронов с фотокатода, соби́рание фотоэлектронов на первый динод, процесс умножения электронов на динодах. В соответствии с этим наблюдается статистический разброс амплитуд выходных им-

пульсов около некоторого среднего значения, что приводит к конечному значению разрешения.

Число фотонов, попадающих из сцинтиллятора на фотокатод, в общем случае

$$m_1 = \frac{E \cdot \chi \cdot F \cdot f}{E_\phi} \quad (4.18)$$

(E - энергия частицы; E_ϕ - средняя энергия фотонов; χ - конверсионная эффективность сцинтиллятора; F - коэффициент оптической прозрачности сцинтиллятора; f - коэффициент светосбора).

В результате поглощения света сцинтиллятора в фотокатоде из него выбиваются фотоэлектроны. Число фотоэлектронов G , выбиваемых одним квантом света, зависит от фотоэлектрических свойств фотокатода и от его оптической прозрачности по отношению к падающему световому излучению. Величину G принято называть конверсионной эффективностью фотокатода по отношению к фотонам с оптимальной для данного фотокатода частотой. При попадании в фотокатод образуется n фотоэлектронов, причем

$$n = m_1 \cdot G \cdot p(\nu), \quad (4.19)$$

где множитель $p(\nu) \leq 1$ учитывает отклонение частоты фотонов от оптимальной для данного фотокатода частоты фотонов ν_0 и зависит от материала фотокатода и его подложки. Произведение $Gp(\nu)$ может быть названо средней эффективностью фотокатода.

Число электронов N , достигшее анода ФЭУ в результате попадания на фотокатод m_1 , световых фотонов, равно

$$N = m_1 G p(\nu) c q^k, \quad (4.20)$$

где c - коэффициент, учитывающий эффективность собирания фотоэлектронов на 1-й диноде ФЭУ; q - коэффициент умножения каждого динода, а k - число динодов.

Можно показать, что среднеквадратичное отклонение числа электронов в импульсе на аноде ФЭУ представляется в виде

$$\frac{\overline{\Delta N^2}}{N^2} = \frac{\overline{\Delta n^2}}{n^2} + \frac{1}{n} \left[\frac{\overline{\Delta q_1^2}}{q_1^2} + \frac{\overline{\Delta q^2}}{q_1 q (q - 1)} \right], \quad (4.21)$$

где $\overline{\Delta q_1^2}$ - дисперсия коэффициента умножения первого динода, а $\overline{\Delta q^2}$ - дисперсия коэффициента умножения всех остальных динодов.

Если предположить, что эмиссия одного фотоэлектрона из фотокатода происходит независимо от эмиссии любого другого фотоэлектрона, то этот процесс будет подчиняться закону распределения Пуассона и $\overline{\Delta n^2} = n = m_1 Gp(v)c$. Тогда

$$\frac{\overline{\Delta N^2}}{N^2} = \frac{1}{m_1 \cdot Gp(v) \cdot c} \left[\frac{\overline{\Delta q_1^2}}{q_1^2} + \frac{\overline{\Delta q^2}}{q^2} \right] = \frac{E_\phi}{E \cdot \chi \cdot F \cdot f \cdot Gp(v) \cdot c} \cdot \left[\frac{\overline{\Delta q_1^2}}{q_1^2} + \frac{\overline{\Delta q^2}}{q_1 \cdot q \cdot (q-1)} \right] \quad (4.22)$$

Из формулы можно заключить, что относительный разброс амплитуд импульсов можно существенно уменьшить улучшением условий собирания фотоэлектронов на первый диод, увеличением чувствительности фотокатода, улучшением качества сцинтиллятора и условий собирания света на фотокатод. Особенно желательно иметь высокий коэффициент вторичной эмиссии. Однако здесь следует проявлять осторожность, так как $\overline{\Delta q^2}$ - при больших ускоряющих напряжениях может расти быстрее q .

Экспериментально установлено, что распределение импульсов по амплитудам на выходе ФЭУ следует закону Гаусса:

$$g(E) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(E_\gamma - E)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (4.23)$$

E_γ — энергия, соответствующая максимуму распределения.

Параметр σ^2 (среднеквадратичная флуктуация величины E) легко связать с экспериментально наблюдаемой шириной распределения на половине высоты $\Gamma \equiv \Delta E$.

$$\sigma^2 = \frac{\Gamma}{2 \cdot \ln 2}. \quad (4.24)$$

Следовательно, квадрат относительной среднеквадратичной флуктуации

$$\frac{\overline{\Delta N^2}}{N^2} = \frac{\Gamma^2}{E_\gamma^2} \cdot \frac{1}{2 \ln 2} = d^2 \frac{1}{2 \ln 2}, \quad (4.25)$$

где d - относительная ширина на половине высоты, т.е. квадрат разрешения спектрометра

$$d^2 = \frac{\overline{\Delta N^2}}{N^2} 2 \cdot \ln 2. \quad (4.26)$$

В практике работы со сцинтилляционными детекторами часто необходимо оценить возможное амплитудное разрешение при измерении спектра частиц с энергией E , тогда, как заранее известно амплитудное разрешение для частиц с энергией E_0 . Грубо можно оценить разрешение, учитывая формулы (4.26) и (4.22), т.е. $d \approx \frac{1}{\sqrt{E}}$.

Результаты экспериментов со сцинтилляционными детекторами показали, что с достаточной степенью точности величина амплитудного разрешения определяется выражением

$$d = \left[A + \frac{B}{E} \right]^{1/2}, \quad (4.27)$$

где E — энергия регистрируемой частицы; A и B - постоянные, зависящие от фотомножителя и сцинтиллятора. Коэффициенты A и B постоянны для каждого сцинтилляционного детектора.

К настоящему времени лучшее экспериментально полученное разрешение по энергии гамма-спектрометра с кристаллом $NaI(Tl)$ составляет около 6% для фотонов с энергией 0,661 МэВ.

Для того чтобы с помощью сцинтилляционного спектрометра можно было достаточно точно изучать сложные спектры, необходимо знать интенсивность и вид распределения импульсов на выходе спектрометра для гамма-излучения соответствующей энергии. Тот факт, что фотоны при разных процессах взаимодействия составляют в сцинтилляторе различную долю своей первоначальной энергии, обуславливает появление на выходе гамма-спектрометра импульсов с различными амплитудами, отличающихся от амплитуд импульсов, соответствующих полному поглощению энергии фотонов.

Рассмотрим аппаратную форму линии для фотонов энергии $E_\gamma < 1,02$ МэВ. В качестве примера на рис. 4.2 приведено распределение импульсов от радионуклида ^{54}Mn ($E_\gamma = 0,835$ МэВ), измеренного на сцинтилляционном спектрометре с размерами кристалла $NaI(Tl) \phi 40 \times 40$.

Пик в конце распределения импульсов по каналам, связан с полным поглощением энергии фотонов в сцинтилляторе и называется пиком полного поглощения. Происхождение пика полного поглощения связано с процессом фотоэлектриче-

ского взаимодействия и многократного рассеяния в сцинтилляторе. Небольшая асимметрия в низко энергетической части пика обусловлена Процессами многократного рассеяния, происходящими в детекторе, а также комптоновским рассеянием гамма- фотонов под малыми углами в упаковке кристалла и подложке источника.

Непрерывное распределение импульсов, простирающихся до 50-го канала создается электронами отдачи при комптоновском рассеянии фотонов в сцинтилляторе с последующим вылетом рассеянного кванта из кристалла.

В гамма-спектре ^{54}Mn , в районе 50-го канала на непрерывное комптоновское распределение накладывается широкий пик несимметричной формы, обусловленный рассеянием гамма- излучения от окна фотоумножителя, стенок защитного кожуха и стеклянного торца контейнера, в котором упакован кристалл NaI(Tl) . Этот пик принято называть пиком обратного рассеяния. В его формировании участвуют те рассеянные кванты, которые попадают в кристалл в интервале углов $90 - 180^\circ$. Энергия таких фотонов очень слабо зависит от угла и заключена, поэтому в относительно небольшом энергетическом интервале, что и приводит к образованию пика.

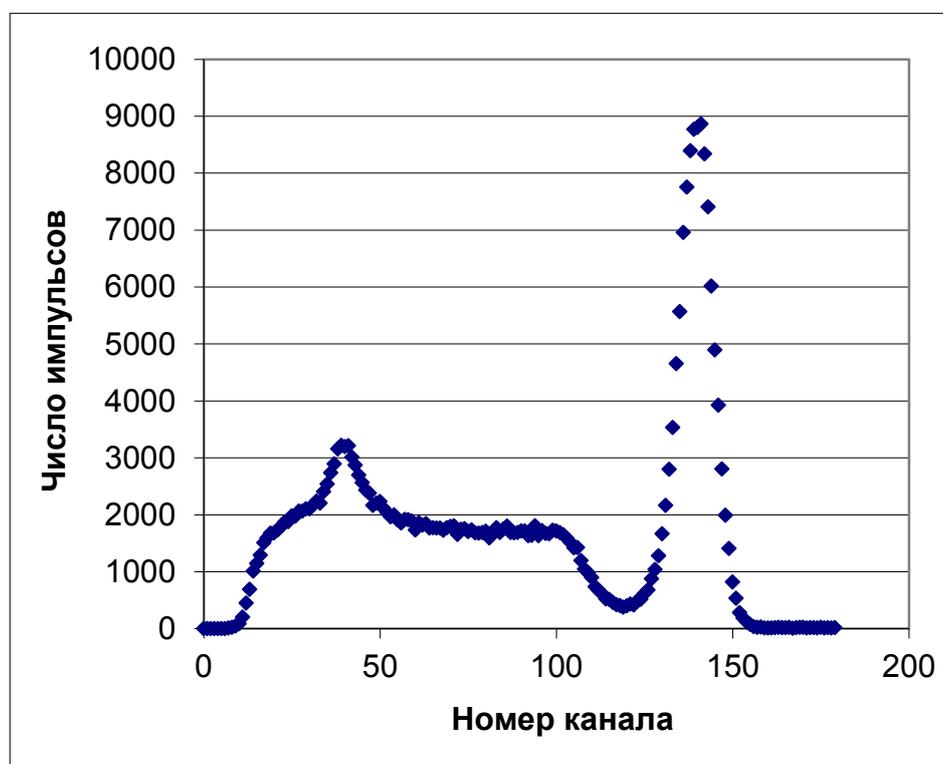


Рис. 4.2. Вид спектра гамма-излучения от источника ^{54}Mn

Источником паразитного излучения, обуславливающего значительные искажения мягкой части спектра, является характеристическое излучение от окружающего материала. Очень часто в качестве защитного материала используется свинец, что приводит к образованию характеристического излучения с энергией 72 кэВ. В спектре ^{54}Mn , пик характеристического излучения от свинца расположен в области 20-го канала.

Соотношение площадей под непрерывным распределением и пиком полного поглощения является важной характеристикой спектрометра и зависит от размеров сцинтиллятора, энергии регистрируемого излучения и геометрии пучка. С увеличением размеров сцинтиллятора площадь под пиком полного поглощения растет за счет многократного рассеяния гамма-излучения, приводящего к полной потере их энергии в детекторе. Этот процесс происходит тем эффективнее, чем меньше энергия первичных квантов и чем больше размеры сцинтиллятора.

Согласно общепринятому определению, отношение числа импульсов в пике полного поглощения к числу импульсов под всем спектром называется фоточастью спектрометра P . Другой важной характеристикой спектрометра является эффективность фоторегистрации (фотоэффективность) η_ϕ , представляющая собой отношение числа импульсов в пике полного поглощения к числу гамма-фотонов, падающих на кристалл. Отношение фотоэффективности к фоточасти дает полную эффективность регистрации фотонов спектрометром $\bar{\eta}$, т. е.

$$\frac{\eta_\phi}{P} = \bar{\eta}. \quad (4.28)$$

4.2. Экспериментальная часть

Внимание! Запрещается приступать к работе, не ознакомившись с правилами безопасности при работе на установке «Однокристалльный сцинтилляционный детектор гамма-излучения».

Описание установки.

Схема однокристалльного сцинтилляционного спектрометра гамма-излучения приведена на рис. 4.3.

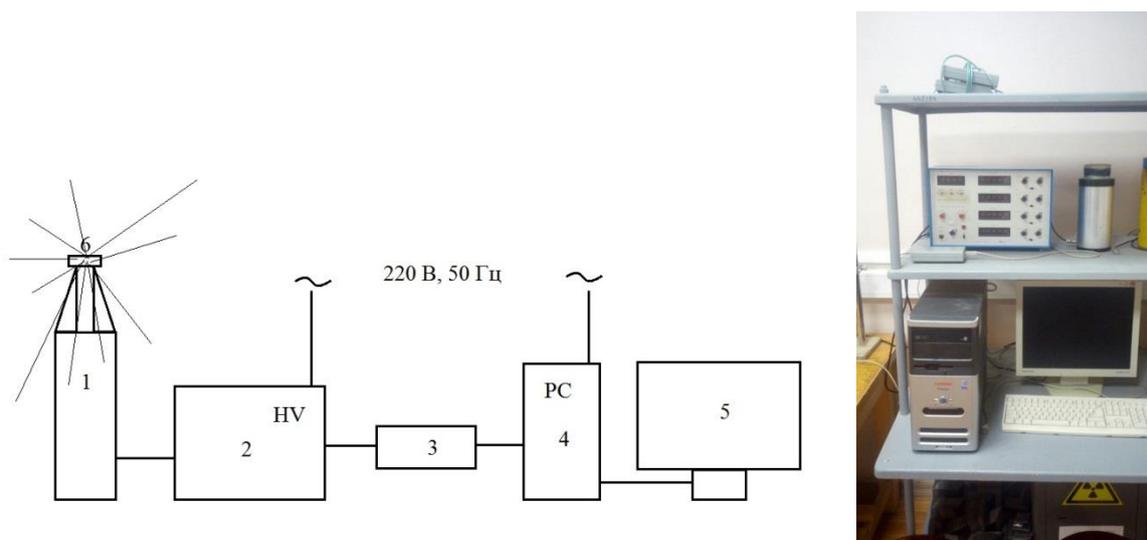


Рис. 4.3. Схема и фотография однокристалльного сцинтилляционного спектрометра: 1 - сцинтилляционный детектор, 2 – высоковольтный источник питания и усилитель; 3 – амплитудный анализатор-преобразователь; 4 - персональный компьютер с программой набора и обработки спектров; 5 – устройство вывода информации (монитор); 6 – источник ионизирующего излучения.

Фотоны от стандартных закрытых источников излучений регистрируются спектрометрическим сцинтилляционным детектором 1 с кристаллом сцинтиллятора $NaI(Tl)$, размером 60x80 мм. Высокое напряжение для питания на сцинтилляционный детектор подается от источника питания 6. В данной работе используется сцинтилляционный детектор с рабочим напряжением питания 650 В.

Линейный усилитель, расположенный в одном корпусе с источником питания, предназначен для усиления импульсов, поступающих с детектора. Питание усилителя осуществляется его подключением к сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Цифровой анализатор-преобразователь 4, предназначен для анализа амплитуды сигнала, поступающего с усилителя, и для дальнейшего преобразования сигналов разной амплитуды в цифровые сигналы. Таким образом осуществляется разделение сигналов с разной амплитудой, что дает возможность рассмотреть особенности регистрации гамма квантов с различной энергией (амплитуда сигнала с детектора практически всегда напрямую связана с энергией, которую теряет регистрируемая частица внутри детектора, а значит, связана и с самой энергией частицы). Результаты анализа и преобразования сигнала выводятся на монитор компьютера и могут быть выведены на любой другой тип вывода информации из компьютера с помощью программы набора и обработки спектров «Раср». Результатом обработки цифровых сигналов становится формирование так называемого аппаратурного спектра излучения – зависимость числа зарегистрированных частиц от их энергии. Аппаратурный спектр отличается от реального тем, что несёт на себе отпечаток средства измерения, в частности, в данном случае, сцинтилляционного детектора, обладающего конечными значениями разрешения и другими определенными характеристиками.

Программа для набора и обработки спектров позволяет выделять определенные промежутки амплитуд импульсов детектора, возникающих при регистрации гамма-квантов (иначе говоря, *позволяет выделять различные участки набранного спектра излучения*). Данная возможность осуществляется передвижением маркеров в рабочей области программы спектрометра. Количество импульсов, поступивших с детектора в усилитель и далее в амплитудный анализатор отображается в окне «Интеграл».

При включении установки необходимо соблюдать следующую последовательность действий.

Убедиться в том, что источник питания детектора отключен от сети переменного тока. Проверить подключение сцинтилляционного детектора к источнику питания. Провод, идущий от детектора, подключается к разъему «Scint probe» на задней панели источника питания. Посмотреть на значение регулятора высокого напряжения на лицевой панели устройства, убедиться, что на источнике питания выставлено значение напряжения меньше рабочего (не более 500 вольт), и тумблер включения высокого напряжения находится в выключенном положении.

Проверить подключение цифрового анализатора-преобразователя. К входу анализатора подключается кабель, идущий от выхода линейного усилителя (разъем «analog output», расположен на задней панели источника питания). Выход цифрового преобразователя-анализатора с помощью кабеля USB-B подключается к разьему USB компьютера.

Включить в сеть источник питания детектора. Включить компьютер, дождаться загрузки рабочего стола. Далее включить источник питания детектора, переключив тумблер на лицевой панели устройства в положение «Power on». Далее переключить тумблер высокого питания, находящийся на лицевой панели устройства под световым индикатором (под красной лампочкой) в положение «On». Загорится расположенный выше световой индикатор высокого напряжения (лампочка красного цвета) и будет слышен непрерывный высокочастотный звуковой сигнал. С помощью ручки регулировки напряжения **плавно** выставить рабочее напряжение детектора. Дать прогреться установке в течение 10-15 минут.

Запустить программу набора и обработки спектров с помощью ярлыка «Раср», находящегося на рабочем столе.

Порядок выполнения работы

ВНИМАНИЕ!!! Включение установки и размещение источника ионизирующего излучения осуществляются только в присутствии преподавателя

В данной работе используются эталонные радиоактивные источники гамма-квантов типа ОСГИ (см. рис.4.4.). Характеристики источников, использующихся в работе, приведены в приложении 1.



Рис.4.4. Внешний вид источника ионизирующего излучения ОСГИ (Cs^{137})

Ознакомьтесь с установкой по описанию, усвоить правила работы на установке. Включить установку в соответствии с инструкциями в описании.

Снятие данных с помощью установки проводится в следующем порядке.

Открыть программу набора и обработки спектров «Раср» с помощью ярлыка на рабочем столе.

Перейти в полноэкранный режим работы. Открыть вкладку «Окна», нажать кнопку «Новое». Откроется окно анализатора, которое тоже следует перевести в полноэкранный режим. Следующим действием, в случае наличия посторонней информации в окне анализатора, нужно очистить память анализатора с помощью команды «Очистить». Далее необходимо установить требуемое время набора информации во вкладке «Время». Для начала набора информации необходимо нажать кнопку «Старт» во вкладке «Старт». На рисунке 4.5. показано окно программы анализатора.

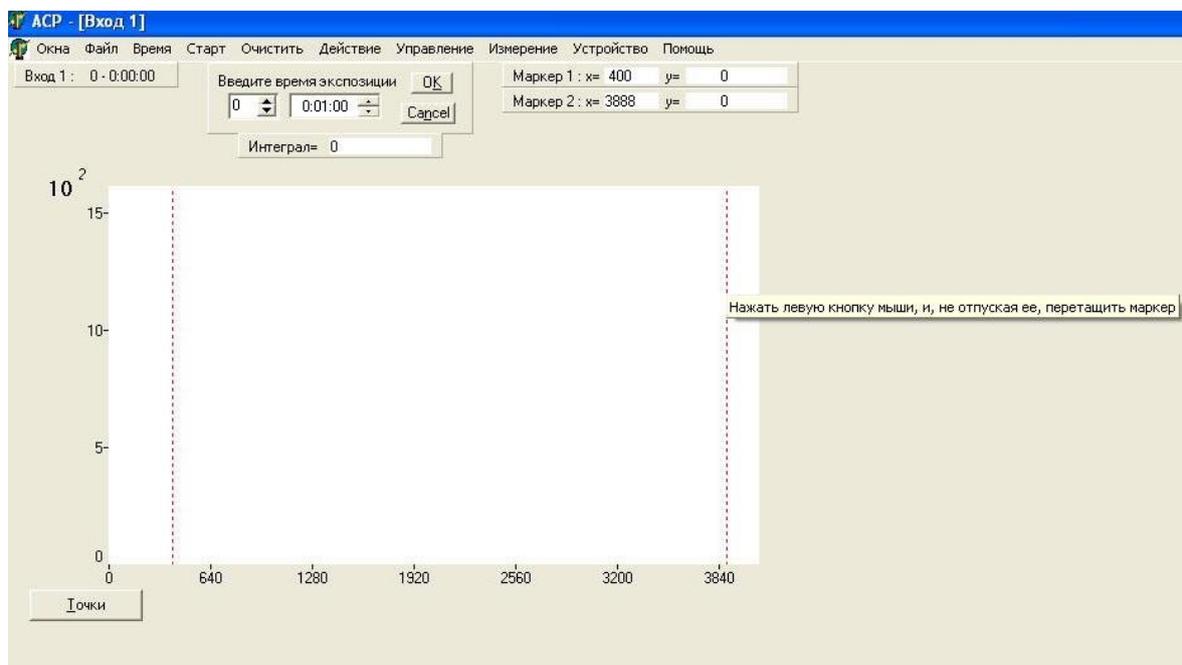


Рис. 4.5. Окно программы анализатора.

Красные полосы маркеров дают представление о диапазоне амплитуд обрабатываемых импульсов. Число зафиксированных импульсов, попавшее в область между данными маркерами (положение которых дается координатами x и y в верхней части окна программы) отображается в окне «Интеграл». Область обработки можно изменять даже в процессе набора информации.

Программа, помимо интегрального числа импульсов, лежащих в области между маркерами, позволяет также производить первичную обработку аппаратурных спектров гамма-излучения, аналогичных приведенному на рис. 4.2.

При выделении области спектра, соответствующей пику полного поглощения гамма-квантов, с помощью средств программы можно произвести математическую обработку данных с поиском среднего значения и сразу же получить значение возможной ошибки. Для этого, после того, как с помощью маркеров будет выделен пик полного поглощения на набранном спектре, необходимо во вкладке «измерение» нажать кнопку «параметры пика». Появится дополнительное окно с краткой информацией о выделенном пике набранного спектра. «Среднее» - номер канала, соответствующий максимуму пика на спектре, «СКО» - среднеквадратичное отклонение, или, иначе говоря, энергетическое разрешение спектрометра в единицах каналов.

Остановка набора данных происходит автоматически по завершении установленного времени. Полученные результаты можно сохранить в виде текстового

файла (вкладка «Файл», команда «Сохранить спектр») или же записать всю необходимую информацию непосредственно в подготовленные таблицы.

Перед началом следующего набора данных необходимо очистить рабочую область программы с помощью команды «Очистить».

Для набора данных с источником гамма излучения необходимо установить выбранный источник на специальную подставку (расстояние между детектором и источником составит значение порядка 6-7 см), и повторить действия, совершенные при измерении фона (установив требуемое время набора).

Напоминание: при работе с источниками ионизирующего излучения запрещается подвергать их разрушающим воздействиям, брать незащищенными руками, подносить к глазам, забирать с собой или как-либо еще использовать не по назначению.

Задание 1. Снять амплитудное распределение импульсов для 4 источников гамма-излучений (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{241}Am). Время измерения каждого спектра 10 мин. Результаты измерения занести в таблицу 1.

Записать количество импульсов в пике, N , которое высветится на экране справа от надписи «интеграл». Записать положение обоих маркеров (номер канала, p_1 , p_2) и число импульсов в этих каналах, N_1 , N_2 . В окне программы p_1 , p_2 и N_1 , N_2 это координаты x_1 , x_2 и y_1 , y_2 соответственно.

Записать номер канала, N_m , соответствующий максимуму пика полного поглощения, и энергетическое разрешение спектрометра, R , в каналах.

Набранные спектры необходимо сохранять в соответствующую папку на рабочем столе в формате файлов программы набора и обработки, а также в виде снимков с экрана для дальнейшего использования в отчете. Файл программы представляет собой набор данных, соответствующий записанному спектру: столбец данных, каждая строчка в котором соответствует числу отсчетов, зарегистрированных в каналах спектрометра. Отсчет каналов ведется от нулевого значения. Файлы спектров в приведенном формате в дальнейшем можно использовать для построения спектров в сторонних программах обработки данных (Excel, Mathcad, Origin и др.)

Таблица 1. Исследование сцинтилляционного спектрометра.

Радионуклид	E_γ , кэВ	k , %	N имп.	n_1 канал	n_2 канал	N_1 имп.	N_2 имп.	N_m канал	R , кан	R , %

Задание 2. Построить градуировочный график энергетической зависимости спектрометра $N_m = f(E_\gamma) = a * E_\gamma + b$.

Задание 4. Исследовать зависимость разрешения спектрометра от энергии гамма-излучения. Разрешение определять по формуле $d = (R * 100\%) / (E_\gamma * a)$. Построить график разрешения в зависимости от энергии.

Задание 5. Определить зависимость абсолютной фотоэффективности, ε , от энергии фотонов. Абсолютную фотоэффективность спектрометра определять по формуле

$$\varepsilon = \frac{(N - N_f)}{A * t * k * e^{-0.693 * \frac{t}{T_{1/2}}}}$$

где $N - N_f = N - (N_1 + N_2) * (n_2 - n_1) / 2$ – число импульсов в пике полного поглощения, A – активность источника по паспорту, $t = 180$ с – время набора спектра, k – квантовый выход фотонов, t – время распада источников ОСГИ, прошедшее с момента паспортизации их активности до момента измерения и $T_{1/2}$ – период полураспада.

Контрольные вопросы

1. Механизмы взаимодействия гамма-излучения со сцинтиллятором.
2. Основные характеристики сцинтилляционного спектрометра.
3. Механизмы люминесценции сцинтилляторов.

4. Причины, вызывающие уширение линий амплитудного спектра.
5. Механизм образования импульса напряжения на выходе ФЭУ.
6. Зависимость разрешения спектрометра от энергии фотонов.
7. Вклады различных процессов взаимодействия гамма-излучения со сцинтиллятором в амплитудный спектр.
8. Форма амплитудного спектра для $E_\gamma < 1$ МэВ и $E_\gamma > 1$ МэВ.

Список рекомендуемой литературы.

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985
2. Волков Н.Г., Христофоров В.А., Ушакова Н.П. Методы ядерной спектрометрии М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Матвеев В.В., Хазанов Б.И. Приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1972.
4. Экспериментальные исследования полей гамма-излучения и нейтронов. Под ред. Ю.А. Егорова, М.: Атомиздат, 1974.
5. Сцинтилляционные методы спектрометрии гамма-излучения и электронов. В.В. Кадилин, В.Т. Самосадный, С.В. Исаков и др. Под общ. ред. В.Т. Самосадного, МИФИ, 2003

Данные по источникам излучения, используемым в работе.

Источник	A ₀ , кБк	E _γ , кэВ	к, %	T _{1/2} , сут.	Дата паспортизации активности
¹³⁷ Cs	113,5	661,660	85,1	11020	31.12.2001 г.
⁶⁰ Co	99,66	1173,238	99,86	1925,5	
		1332,502	99,98		
²² Na	123,1	511	180,76	950,8	
		1274,54	99,9		
²⁴¹ Am	110,4	59,54	36	157899	