

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
имени Д. В. СКОБЕЛЬЦИНА
ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
МГУ
КАФЕДРА ФИЗИКИ КОСМОСА

**Н. П. Ильина, А. А. Силаев, А. А. Силаев (мл.),
А. В. Сомиков, Г. П. Кузнецова**

**МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
«СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД»
специального практикума
по современным методам
физических исследований**

Учебное пособие

Москва
«Университетская книга»
2011

УДК 539
ББК 22.38я73
И46

Авторы:

**Н. П. Ильина, А. А. Силаев, А. А. Силаев (мл.),
А. В. Сомиков, Г. П. Кузнецова**

Ильина Н. П. и др.

И46 Модернизированная экспериментальная установка лабораторной работы «Сцинтилляционный метод» специального практикума по современным методам физических исследований : учебное пособие / Н. П. Ильина, А. А. Силаев, А. А. Силаев (мл.), А. В. Сомиков, Г. П. Кузнецова. — М. : Университетская книга, 2011. — 32 с. : табл., ил.
ISBN 978-5-91304-210-1

Пособие содержит описание экспериментальных установок лабораторной работы «Сцинтилляционный метод». Для обеспечения работы этих установок используется универсальный научно-измерительный комплекс УНИК, который включает источники питания, усилители, управляющие цифро-аналоговые преобразователи, амплитудно-цифровой преобразователь, программируемую логику управления, USB-контроллер связи с компьютером. Установка имеет автоматизированное управление и обработку экспериментальных данных при помощи специальных компьютерных программ.

УДК 539
ББК 22.38я73

© НИИЯФ МГУ, 2011
© МГУ, 2011
© Н. П. Ильина, А. А. Силаев,
А. А. Силаев (мл), А. В. Сомиков,
Г. П. Кузнецова, 2011
© Издательство КДУ,
обложка, 2011.

ISBN 978-5-91304-210-1

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СОДЕРЖАНИЕ	3
Лабораторная работа №1.Сцинтилляционный метод	4
1. Описание установки.....	4
2. Математическая обработка данных.....	11
2.1. Исходные данные	11
2.2. Статистическая обработка данных	12
2.3. Градуировка спектрометра по энергиям.....	14
2.4. Зависимость относительного разрешения от энергии.....	15
3. Порядок выполнения работы.....	15
УПРАЖНЕНИЕ 1	17
УПРАЖНЕНИЕ 2.....	20
УПРАЖНЕНИЕ 3	23
Приложение 1.1.	27
Литература.....	29

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

(Экспериментальная установка, амплитудный анализ, программы управления и обработки данных)

1. Описание установки

Подробное описание сцинтилляционного метода, устройства сцинтилляционного детектора и физических задач, решаемых с помощью сцинтилляционного детектора приведены в /1,2/.

Для исследования предлагается набор сцинтилляторов (см. табл.1).

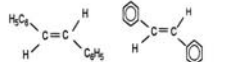

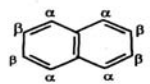
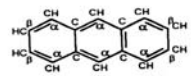
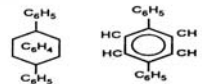
Сцинтилляторы, изготовленные из монокристаллов, имеют цилиндрическую форму и помещены в специальную упаковку, непрозрачную для света и обеспечивающую механическую защиту сцинтилляторов.

Жидкий сцинтиллятор помещен в соответствующий сосуд. Упаковка кристалла NaI(Tl) (рис.1) герметична, поскольку этот сцинтиллятор гигроскопичен; кристалл окружен слоем MgO, который служит отражателем света.

Упакованный сцинтиллятор помещается на фотокатод ФЭУ. Для лучшего оптического контакта между сцинтиллятором и входным окном ФЭУ наносится тонкий слой вазелинового масла.

Таблица 1

Характеристики сцинтилляторов

Сцинтиллятор	Плотность, г/см ³	Конверсионная эффективность, %	Длина волны, соответствующая максимальной интенсивности, λ _{max} , А	Время выветчивания, с
ZnS(Ag)	4,10	20,0	4500	10 ⁻⁵
NaI(Tl)	3,67	8,0	4100	2,3.10 ⁻⁷
CsI(Tl)	4,51	3,6	5650	1,0.10 ⁻⁶
Транс-стильбен(1,2-дифенилэтилен), крист., C ₁₄ H ₁₂ 	1,16	2,0	4100	6,0.10 ⁻⁹
Толан (дифенилацетилен), C ₁₄ H ₁₀ 	1,18	1,5	3900	4,0.10 ⁻⁹
Нафталин, C ₁₀ H ₈ 	1,15	0,4	3450	(7-8).10 ⁻⁸
Антрацен, C ₁₄ H ₁₀ 	1,25	4,0	4450	2,7.10 ⁻⁸
Р-терфенил, C ₁₈ H ₁₄ , (р-р в кси доле, 5г/л) 	0,86	1,5	3800	2,0.10 ⁻⁹
Р-терфенил, C ₁₈ H ₁₄ ,(твердый р-р в полистироле)	1,10	1,0	3800	2,0.10 ⁻⁹

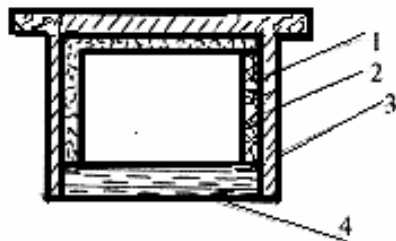


Рис. 1. Кристалл NaI(Tl) в стандартной упаковке: 1 – кристалл NaI(Tl); 2 – порошок MgO; 3 – алюминиевый контейнер; 4 – выходное стекло

Фотоумножитель размещен на специальной панели в светонепроницаемом кожухе. На этой панели смонтирован и делитель для подачи напряжения на электроды ФЭУ. Со стороны фотокатода кожух имеет вывинчивающуюся крышку, закрывающую его от света. После смены сцинтиллятора эта крышка должна быть плотно закрыта, так как проникновение постороннего света на фотокатод, находящийся под напряжением, приведет в лучшем случае к резкому увеличению шумов, а, скорее всего к выходу из строя ФЭУ из-за возникновения в нем большого тока, разрушающего покрытие динодов. В кожухе смонтировано блокирующее устройство, препятствующее подаче высокого напряжения на делитель ФЭУ при открытой крышке, однако оно предназначено для аварийных случаев и рассчитывать на него не следует, а при всех манипуляциях с ФЭУ высокое напряжение необходимо устанавливать в 0.

В лабораторной работе используется набор гамма-источников активностью ~ 100 кБк каждый.

Коллимированные гамма-источники расположены в специальном свинцовом контейнере, установленном над крышкой фотокатода ФЭУ. При измерении зависимости амплитуды импульсов на выходе ФЭУ от напряжения на его делителе сцинтиллятор извлекается, а фотокатод закрывается специальной крышкой, внутри которой имеется светоизлучатель.

Для измерения γ -спектров, а также параметров ФЭУ и сцинтилляторов регистрируются и обрабатываются амплитудные распределения импульсов на выходе ФЭУ (рис.2).

Для этого применяется метод многоканального амплитудного анализа, суть которого изложена ниже. Исследуемый диапазон амплитуд разбивается на конечное число равных участков (в нашем случае 1024), каждому из которых присваивается порядковый номер; эти участки называются каналами.

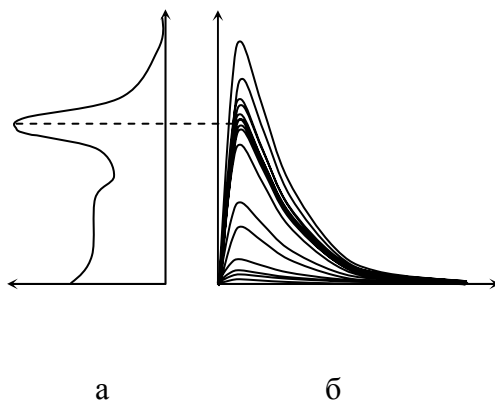


Рис. 2. Амплитудное распределение (а) и соответствующие осциллограммы на выходе ФЭУ (б)

Амплитуда каждого импульса, поступившего на вход амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП), измеряется и определяется соответствующий ей номер канала, после чего число отсчётов в канале увеличивается на 1. Таким образом, за одинаковое для всех каналов время подсчитывается число импульсов, амплитуда которых лежит в пределах каждого канала.

В результате непрерывное амплитудное распределение представляется в виде дискретного распределения (гистограммы). По оси абсцисс этого распределения отложены номера каналов (амплитуды, $n \sim u$), а по оси ординат – число отсчетов в каналах (рис.3).

В дальнейшем это распределение обрабатывается с использованием методов математической статистики, в результате чего гистограмма аппроксимируется плавной кривой с использованием той или иной математической модели.

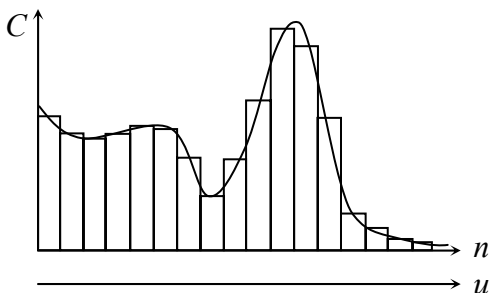


Рис. 3. Гистограмма амплитудного распределения

В частности, в данной работе амплитудные распределения в виде пиков, соответствующих γ -квантам, аппроксимируются функцией Гаусса с учетом линейного фона в окрестности пика.

Комплекс устройств, обеспечивающих такие измерения, называется гамма-спектрометром.

Блок-схема сцинтиляционного γ -спектрометра, построенного на базе универсального научно-измерительного комплекса УНИК, приведена на рис.4.

УНИК включает в себя программно управляемый источник высокого напряжения для питания ФЭУ, усилитель сигналов, поступающих с выхода ФЭУ, который имеет 4 значения коэффициента усиления, многоканальный амплитудный анализатор и USB-контроллер связи с компьютером.

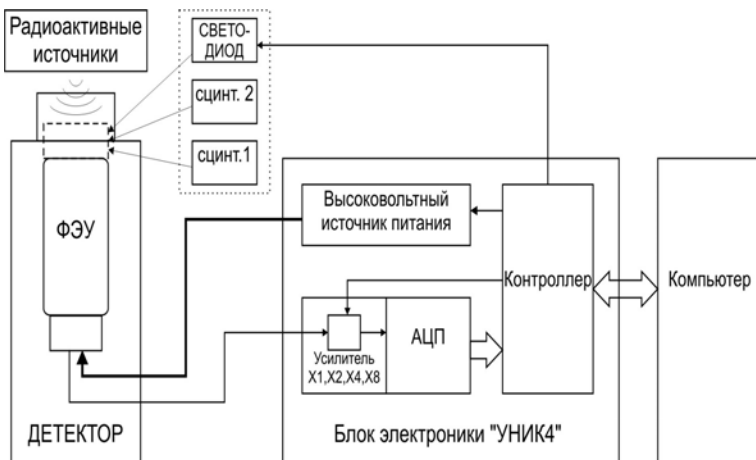


Рис. 4. Блок-схема сцинтиляционного спектрометра

Многоканальный анализатор, в свою очередь, состоит из аналого-цифрового преобразователя,

который оцифровывает сигналы на выходе усилителя, и запоминающего устройства для временного хранения регистрируемых данных. В процессе накопления эти данные периодически передаются в главный компьютер, где они отображаются в виде гистограммы и могут сохраняться в файлах.

Для управления установкой используется комплекс специальных компьютерных программ «Si». Эти программы позволяют: запускать и останавливать накопление данных амплитудного распределения («Пуск», «Стоп»), очищать память АЦП («Сброс»), регулировать высокое напряжение на ФЭУ и коэффициент усиления усилителя, сохранять данные в файле и др. Необходимые команды подаются с помощью мыши и соответствующих пиктограмм на экране монитора.

Обращаем внимание на способы сохранения данных программой Si. Эта программа позволяет записывать данные в трёх различных форматах:

- по команде «Файл/Сохранить как...» данные записываются во внутреннем формате программы и позволяют считать их самой программой Si;

- по команде «Файл/Экспорт» с расширением xls или ods данные записываются в формате, пригодном для использования в электронных таблицах (EXCEL, в имени файла расширение не указывать);

- по команде «Файл/Экспорт» с расширением txt данные записываются в формате, пригодном для использования в программе математической обработки данных NPZ1C (см. ниже, в имени файла расширение не указывать).

Запись данных в программах Si и NPZ1C должна выполняться в директорию по умолчанию; изменять её не следует во избежание потери данных.

При необходимости сохранить данные программы EXCEL следует использовать директорию по умолчанию.

2. Математическая обработка данных

Математическая обработка многоканальных амплитудных распределений, полученных с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра на базе аппаратно-программного комплекса UNIK-4 (программа Si), обеспечивается программой NPZ1C. Эта программа позволяет выполнять графическое и числовое представление исходных данных, их статистическую обработку, энергетическую градуировку спектрометра и вычисление энергии гамма-квантов, а также вычислять зависимость разрешения спектрометра от энергии. Большая часть информации, необходимой для управления работой программы, отображена на экране или очевидна по контексту. На экране монитора исходные данные и результаты их математической обработки представлены на четырёх страницах: «Исходные данные», «Аппроксимация пиков», «Градуировка» и « $R\%(E)$ – Разрешение». Переключение между этими страницами происходит по щелчку на соответствующей закладке.

2.1. Исходные данные

Исходные данные, подлежащие анализу, размещаются в виде текстовых файлов в предопределённой директории (по умолчанию) при записи данных в программе управления спектрометром Si. Гистограмма на странице «Исходные данные» служит для визуального анализа

исходных данных и выделения участка распределения (группы каналов), подлежащего математической обработке. Такое выделение выполняется с помощью гистограммных маркеров – двух вертикальных линий в поле гистограммы (красной и зеленой), которые можно устанавливать с точностью в один канал щелчком мыши на точках гистограммы (левой и правой кнопками). Выделенным считается участок гистограммы между красным и зеленым маркерами.

2.2. Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных выполняется на странице «Аппроксимация пиков»; она ориентирована на спектрометрию γ -излучений и возможна в двух вариантах: «Синглет» (одиночный пик) и «Дублет» (двойной пик), которые позволяют аппроксимировать пики гауссовой формы на линейном «фоне» (пьедестале) в окрестности пиков (в данном случае термином «фон» обозначается непрерывное распределение в ближайшей окрестности пика, и его не следует путать с сопутствующим γ -излучением, не связанным с исследуемым источником). При этом для одиночного пика используется модель, которая имеет вид:

$$Y(p) = A_1 + A_2 p + A_3 e^{-\frac{(p-p_m)^2}{2\sigma^2}}, \quad \text{где}$$

p – амплитуда зарегистрированных импульсов (положение точки на непрерывной оси каналов);

p_m – положение максимума пика;

σ – величина, связанная с полной шириной пика на половине высоты соотношением $fwhm = 2.355\sigma$;

A_1 , A_2 – параметры, определяющие прямолинейный пьедестал в окрестности пика;
 A_3 – параметр, определяющий высоту пика.

Для дублета добавляется еще один экспоненциальный компонент (дублет – это плохо разрешенные линии, отображаемые как частично перекрывающиеся пики). Переключение между вариантами выполняется с помощью двух альтернативных «радио-кнопок». Коэффициенты A_1 и A_2 из приведенной формулы вычисляются по нескольким точкам слева и справа от пика. Поэтому, для повышения точности вычислений при выделении по гистограмме исходных данных отрезка, подлежащего обработке, желательно включить линейные окрестности слева и справа от пиков (несколько каналов).

В окне статистической обработки сиреневые точки графика отображают предварительно выделенный маркерами участок исходных данных. Серая тонкая линия проведена по нулевым приближениям параметров аппроксимирующей кривой. Их можно уточнять, если аппроксимация не получилась: указать другие начальные положения максимумов пиков (красная и зеленая точки) или изменить нулевое приближение $fwhm$.

По команде «Выполнение аппроксимации» для каждого пика вычисляются следующие параметры:

Pm – положение максимума пика;

$fwhm$ – ширина пика на половине высоты;

$Summ$ – площадь пика за вычетом линейного фона (пьедестала) под пиком;

E – энергия;

R – разрешение ($fwhm$ в энергетических единицах);

$R\%$ – относительное разрешение (в процентах).

Численные значения этих параметров выводятся на экран (в отсутствие градуировки E , R и $R\%$ не выводятся). Кроме того, изображаются результирующая кривая (синяя) и гауссианы пиков за вычетом пьедестала (для дублета красная и зеленая).

2.3. Градуировка спектрометра по энергиям

Ввод значений энергий для градуировки выполняется в окне «Аппроксимация пиков». После выполнения аппроксимации нужно вписать в окошко соответствующего цвета известное значение и щелкнуть «Ввод энергии».

Сама градуировка автоматически выполняется при входе в окно «Градуировка». Градуировочная линия представляется функцией $E=a+b\cdot p$, где a и b – константы. Следовательно, градуировка может быть выполнена не менее чем по двум точкам. Для более точной градуировки и вычисления погрешностей, необходимо использовать несколько пиков с известными энергиями.

На малом графике справа от основного показано отклонение введенных значений от проведенной прямой. Для просмотра параметров отдельных градуировочных точек нужно щелкнуть на них мышью. Выделенные точки можно удалять; при этом градуировка автоматически выполняется заново по оставшимся точкам. Можно также полностью отменить градуировку. Параметры выполненной градуировки можно записать на диск и в дальнейшем к ним можно обращаться в случае необходимости. При считывании из файла ранее сохранённых данных градуировка она автоматически выполняется заново.

2.4. Зависимость относительного разрешения от энергии

Данные для построения графика зависимости относительного разрешения от энергии $R\%(E)$, т.е. значения пар E и $R\%$, вводятся на странице «Аппроксимация пиков» при условии, что выполнена градуировка. При этом вводятся вычисленные при аппроксимации значения E и $R\%$ (а не введенные).

Само построение графика выполняется на странице « $R\%(E)$ - Разрешение». Любую точку этого графика можно выделить, щёлкнув на ней мышью. При этом будут показаны параметры точки. Выделенную точку можно использовать для нормировки графика и получения значения нормировочной константы C_n . Выделенные точки можно удалять, а весь набор этих точек сохранять в файле и при необходимости к нему обращаться. Но при этом нужно помнить, что каждый такой набор точек создавался при определённой на тот момент энергетической градуировке и считанный файл может не соответствовать текущей градуировке.

3. Порядок выполнения работы

Перед началом работы необходимо ознакомиться с порядком включения установки и манипуляций с её физическими компонентами.

Программа, управляющая работой установки, набором экспериментальных данных и сохранением их в памяти компьютера, запускается с помощью пиктограммы «Задача 1 спектрометр».

Программа, с помощью которой ведется обработка амплитудных распределений, запускается с помощью пиктограммы «Задача 1 обработка».

Для обработки данных в EXCEL можно воспользоваться пиктограммой «Open office 3,2».

ВАЖНО:

- При выполнении лабораторной работы №1 используются реальные радиоактивные изотопы (закрытые источники γ -излучений, список см. в лаборатории) активностью до 120 кБк, а также источники тока напряжением до 2 кВ. Это требует строгого выполнения правил техники безопасности и соответствующих указаний преподавателя и персонала лаборатории.

- Сцинтилляционные кристаллы обладают повышенной хрупкостью, поэтому их нельзя ударять или ронять.

- Во избежание повреждения ФЭУ и возможного удара электрическим током открывать крышку ФЭУ можно только при отключённом высоком напряжении.

- При включении и выключении высокого напряжения его значение устанавливается в течение ~30 секунд; при малых изменениях (до 20В) – не менее 10 секунд (исходя из этого, следует выбирать момент запуска набора данных).

У П Р А Ж Н Е Н И Е 1

Зависимость амплитуды импульсов на выходе ФЭУ от напряжения на его делителе (анодная характеристика)

В упражнении используется генератор световых сигналов, дающий монохроматические вспышки постоянной интенсивности, воздействующие непосредственно на фотокатод ФЭУ. Генератор собран на световом диоде в специальном цилиндре, который ввинчивается в виде крышки в кожух ФЭУ. Регистрация световых сигналов выполняется с помощью многоканального амплитудного спектрометра (программа Si). Из-за статистических флуктуаций электронного потока в ФЭУ и флуктуаций интенсивности световой вспышки светодиода амплитудное распределение сигналов светодиода имеет форму гауссова пика на нулевом фоне.

Изучение анодной характеристики сводится к регистрации положения максимума пика P_m (в номерах канала N) распределения для различных значений U_k в возможном диапазоне (800÷1800 В – зависит от индивидуальных особенностей установки) и последующего построения графика зависимости $P_m=F(U_k)$. Однако, в этом диапазоне выходные амплитуды ФЭУ меняются настолько, что выходят за пределы динамического диапазона входного усилителя спектрометра и при регистрации распределений возникает необходимость изменения коэффициента усиления K_{yc} . Поэтому для построения анодной характеристики используются амплитуды, приведённые к единичному усилению, т.е. строится зависимость $A=F(U_k)$, где $A=P_m/K_{yc}$.

Соответствующий график строят в двойном логарифмическом масштабе и оценивают прямолинейность полученной характеристики.

Измерения амплитуды выходного импульса начинают с наименьшего напряжения U_k при наибольшем коэффициенте усиления $K_{ус} = 8$ так, чтобы пик распределения на левом краю гистограммы был виден полностью. Напряжение на делителе ФЭУ увеличивают ступенями через 100÷150 В до максимально возможного (зависит от индивидуальных особенностей установки).

Имеется две возможности регистрации данных для построения анодной характеристики.

Первая состоит в том, что в программе Si (спектрометр) визуально оценивается положение максимума пика (номер канала N) и значения U_k , $K_{ус}$ и $P_m(N)$ заносятся в таблицу (см. таблицу 2) или в электронную таблицу (EXCEL, ORIGIN или др.), где выполняется соответствующее построение (см. приложение 1.1).

Другая возможность предполагает использование соответствующих опций программы обработки NPZ1C. Для этого предварительно с помощью программы Si регистрируется необходимый набор файлов, содержащих амплитудные распределения сигналов от светодиода для заданных значений U_k и $K_{ус}$.

Таблица 2

Оформление результатов 1-го упражнения

№	Напряжение На ФЭУ U	Номер канала N	Коэфф. усиления K	N/K
1				
2				
3				

При этом файлы данных могут содержать несколько пиков для разных значений U_k (для удобства рекомендуется в каждый файл записывать распределения, снятые при одном значении K_{yc}). В программе NPZ1C каждый пик аппроксимируется гауссианом и значения U_k , K_{yc} и P_m заносятся в таблицу, после чего по соответствующей команде строится анодная характеристика.

Отчет преподавателю по выполненному упражнению – демонстрация на экране дисплея полученного графика функции $A_{св.г.}=f(U_k)$ с пояснениями к нему.

-- В последующих упражнениях (2 и 3) все зарегистрированные и расчётные данные заносятся в

память компьютера в директории по умолчанию в текстовом формате (Z1Dat, Z1EGrad, Z1RE; при записи данных тип файла не указывать). Изменять имя папки назначения или образовывать новую не следует во избежание потери данных.

У П Р А Ж Н Е Н И Е 2

Изучение свойств сцинтилляторов

В этом упражнении изучают свойства некоторых сцинтилляторов, нашедших широкое применение в сцинтилляционной методике: NaI(Tl), CsI(Tl), стильбен, толан, раствор терфенила в ксилоле (жидкий раствор) и твердый раствор – раствор терфенила в полистироле («полистирол»).

Каждый раз при установке нового сцинтиллятора **необходимо снимать высокое напряжение с ФЭУ** (не выключая питания низковольтной части установки). Только после этого можно вывинчивать верхнюю крышку кожуха и устанавливать сцинтиллятор.

Сцинтиллятор устанавливают непосредственно на фотокатод фотоумножителя, предварительно нанеся на сцинтиллятор каплю вазелинового масла. Нужно, чтобы масло создало тонкий слой между сцинтиллятором и фотокатодом ФЭУ без воздушных пузырей. Специальной крышкой, ввинчиваемой в арматуру, закрывают сцинтиллятор, защищая его от дневного света.

Для сравнения технических световых выходов всех исследуемых сцинтилляторов производят измерения наибольшей амплитуды от импульсов на

выходе ФЭУ при постоянном напряжении на делителе ФЭУ и при одном и том же источнике гамма-квантов, например $^{137}_{55}\text{Cs}$.

Наибольшая амплитуда – это амплитуда, соответствующая, либо максимуму фотопика, либо, в случае отсутствия фотопика, концу области комптон-эффекта в амплитудном распределении с данным сцинтиллятором.

При выполнении упражнения использовать сцинтилляторы: NaI(Tl), стильбен, толан и «полистирол» (см. табл.1 «Свойства сцинтилляторов»).

Измерения с разными сцинтилляторами должны проводиться с одним и тем же источником гамма-квантов, а именно, с $^{137}_{55}\text{Cs}$ и при одном и том же напряжении на делителе ФЭУ. Коэффициент усиления следует установить равным 8 при работе с органическими сцинтилляторами («полистирол», стильбен, толан) и равным 2 – при работе с неорганическим сцинтиллятором NaI(Tl).

Начать измерения рекомендуется со сцинтиллятора «стильбен», имеющего небольшой технический выход. Установить усиление K_y равным 8. Подобрать рабочее напряжение U_k таким, чтобы амплитудное распределение при работе со стильбеном оканчивалось в области четырехсотого (400) канала. Провести измерение амплитудного распределения со сцинтиллятором стильбен. Определить номер канала N , соответствующего наибольшей амплитуде.

Записать полученное распределение в память компьютера.

При том же напряжении U_k провести аналогичные измерения с полистиролом, толаном ($K_y = 8$ тот же, что для «полистирола»), а затем с NaI(Tl), изменив K_y ($K_y = 2$).

Определите номера каналов, соответствующих наибольшим амплитудам, зарегистрированным при взаимодействии гамма-квантов $^{137}_{55}\text{Cs}$ с веществом сцинтилляторов полистирол (N_p), стильбен – $N_{ст}$ (или толан) и NaI(Tl) – N_{NaI} . Найти отношения $N_p / N_{ст}$, $N_{NaI} / N_{ст}$ и N_{NaI} / N_p , поправить отношения на разницу коэффициентов усиления. Тогда эти отношения будут отражать разницу технических выходов этих сцинтилляторов.

Сравните полученные в данном упражнении отношения технических световых выходов сцинтилляторов с соответствующими отношениями конверсионных эффективностей, приведенных в таблице 1.

Сравните, форму спектров, полученных при работе с полистиролом, стильбеном и NaI(Tl) при одном и том же источнике гамма-квантов $^{137}_{55}\text{Cs}$ и при одном и том же напряжении U .

Обратите внимание на отсутствие фотопика в спектрах, полученных при взаимодействии гамма-квантов $^{137}_{55}\text{Cs}$ с полистиролом и стильбеном. Объясните, чем вызвано отсутствие фотоэффекта в этих сцинтилляторах.

У П Р А Ж Н Е Н И Е 3

Исследование распределений импульсов по амплитудам с различными источниками гамма-квантов
(градуировка шкалы анализатора в эВ, идентификация неизвестного источника и т.д.)

Измерения амплитудных распределений от всех предлагаемых в данном упражнении гамма-источников ведутся при одних и тех же значениях напряжения U_k на делителе ФЭУ и коэффициента усиления K_y .

Время измерений рекомендуется выбирать так, чтобы статистическая ошибка в максимуме фотопика была $\sim 3-5\%$.

Все измерения ведутся со сцинтиллятором NaI(Tl).

Поместить сцинтиллятор NaI(Tl) на фотокатод ФЭУ.

1. Работу начать с источника гамма-квантов с максимальной энергией – с ${}_{27}^{60}\text{Co}$. Установить его в рабочее положение. Установить рекомендуемые значения U_k и $K_y=4$. В случае отсутствия рекомендаций подобрать режим работы спектрометра (напряжение на делителе ФЭУ и коэффициент усиления усилителя) таким образом, чтобы фотопик располагался в восьмисотых (~ 800) каналах анализатора.

Измерить амплитудное распределение импульсов для данного источника гамма-квантов (${}_{27}^{60}\text{Co}$). По окончании набора статистики записать

полученное распределение в память компьютера в отдельный файл. Образец имени файла: Cs100211 (источник Cs и дата – 10 февраля 2011 года).

Далее, поочередно измерить амплитудные распределения от гамма-источников $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{181}_{72}\text{Hf}$ и неизвестного X.

“Запомните” полученные распределения – (Cs100211, Hf100211 и X100211).

Все записанные вами файлы будут позднее перенесены в архив.

Обработка результатов

Вызовите программу обработки.

1. Градуировка шкалы анализатора в электрон-вольтах (эВ). Определение энергии неизвестного источника и его идентификация.

1.1. Чтобы получить калибровочную кривую $E(N)$ – зависимость энергии в электрон-вольтах от номеров каналов, надо определить номера каналов амплитудных распределений, в которых располагаются максимумы фотопиков от гамма-квантов известных источников и поставить им в соответствие энергию этих источников.

- В качестве источников с известной энергией гамма-квантов выступают $^{137}_{55}\text{Cs}$ – 661.7 кэВ; $^{60}_{27}\text{Co}$ – 1173.2 кэВ и 1332.5 кэВ; $^{181}_{72}\text{Hf}$ – 133.3 кэВ, 345.9 кэВ и 482.1 кэВ.

Находясь в программе обработки, поочередно вызывайте файлы с записанными ранее

распределениями от ${}^{60}_{27}\text{Co}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ и ${}^{181}_{72}\text{Hf}$ и проведите градуировку шкалы анализатора, следуя указанием на дисплее.

- Полученную градуировку записать в файл.

1.2. Определить энергию фотопиков в амплитудном распределении неизвестного источника X. С помощью таблицы идентифицировать неизвестный источник.

2. Оцените разрешающую способность $R_{\text{экс}}(E)$ спектрометра с различными гамма-источниками.

- Вызываем поочередно файлы с записанными распределениями от ${}^{60}_{27}\text{Co}$, ${}^{137}_{55}\text{Cs}$, ${}^{181}_{72}\text{Hf}$ и X.

- Следуя указаниям программы обработки (на дисплее) определите разрешающую способность $R_{\text{экс}}(E)$ спектрометра для энергий гамма-квантов указанных выше источников.

Сравните экспериментальную зависимость $R_{\text{экс}}(E)$ с теоретической $R_m(E) \approx \text{const}/\sqrt{E}$. Константу const можно найти, если нормировать (приравнять) теоретическое значение $R_m(E)$ для одного из значений энергии E по экспериментальным данным (например, для энергии $E=1173.2$ кэВ гамма-кванта от ${}^{60}_{27}\text{Co}$) т.е.:

$$R_m(E) = R_{\text{экс}}(E); \quad \text{const}/\sqrt{E} = R_{\text{экс}}(E);$$
$$\text{const} = R_{\text{экс}}(E_{\text{Co}}) \cdot \sqrt{(E_{\text{Co}})}.$$

Графики зависимостей $R_{\text{экс}}(E)$ и $R_{\text{т}}(E)$ можно получить, если использовать программу обработки компьютера.

В заключение необходимо вычислить вероятность взаимодействия гамма-квантов с

веществом сцинтиллятора NaI(Tl) толщиной 2 см от всех трех гамма-источников.

Таблица 3

Некоторые радиоактивные изотопы, используемые в лабораторной практике, и их характеристики

Изотоп	Энергия γ -квантов, кэВ	Период полураспада
$^{22}_{11}\text{Na}$	1274.5	2,6 года
$^{22}_{11}\text{Na}$	511.0	
$^{54}_{25}\text{Mn}$	84.0	310 дней
$^{60}_{27}\text{Co}$	1173.2	5,24 года
$^{60}_{27}\text{Co}$	1332.5	5,24 года
$^{55}_{30}\text{Zn}$	111.0	243,5 дней
$^{95}_{41}\text{Nb}$	745.0	35 суток
$^{113}_{50}\text{Sn}$	396.0	118 суток
$^{137}_{55}\text{Cs}$	661.7	30 лет
$^{181}_{72}\text{Hf}$	133.2	46 дней
$^{181}_{72}\text{Hf}$	345.9	46 дней
$^{181}_{72}\text{Hf}$	482.1	46 дней
$^{203}_{80}\text{Hg}$	279.0	46,9 суток

Приложение 1.1

Построение графика анодной характеристики в EXCEL

- Войти в «Open office 3,2». Вызвать электронную таблицу.

- Занести результаты измерений анодной характеристики (значения U , N и K) в таблицу EXCEL. При этом рекомендуем записать в колонку A значения высокого напряжения U ; в колонку C – номера каналов N ; в колонку D – значения коэффициентов усиления K .

- В колонку B запишем значения N/K . Для этого: в первой строке колонки B набрать $=C1/D1$. Далее – «ввод» – перейти опять в первую строку – «ПРАВКА» – «копировать» – потянуть мышкой закраску строчек колонки B до конца таблицы колонки A – «ПРАВКА» – «вставить».

Построить график анодной характеристики по данным колонок A (величины напряжения U на делителе ФЭУ) и B (значения амплитуды в номерах каналов N/K):

- закрасить колонки A и B – выбрать в меню пиктограмму «диаграмма»; появится окно «мастер программ».

Выбрать тип диаграммы – «диаграмма XY» – выбрать диаграмму с точками – «готово». Получили график анодной характеристики.

Далее следует получить график в двойном логарифмическом масштабе. Для этого наведите мышку на начало координат полученного графика.

Когда появится надпись «ось X», щелкните по ней два раза, войдете в «ось X». В разделе «масштабирование» щелкните по окошку справа от надписи «логарифмический масштаб» – получили по оси X логарифмический масштаб.

Повторите процедуру перевода в логарифмический масштаб теперь для оси Y.

Сохраните полученный график в директории по умолчанию.

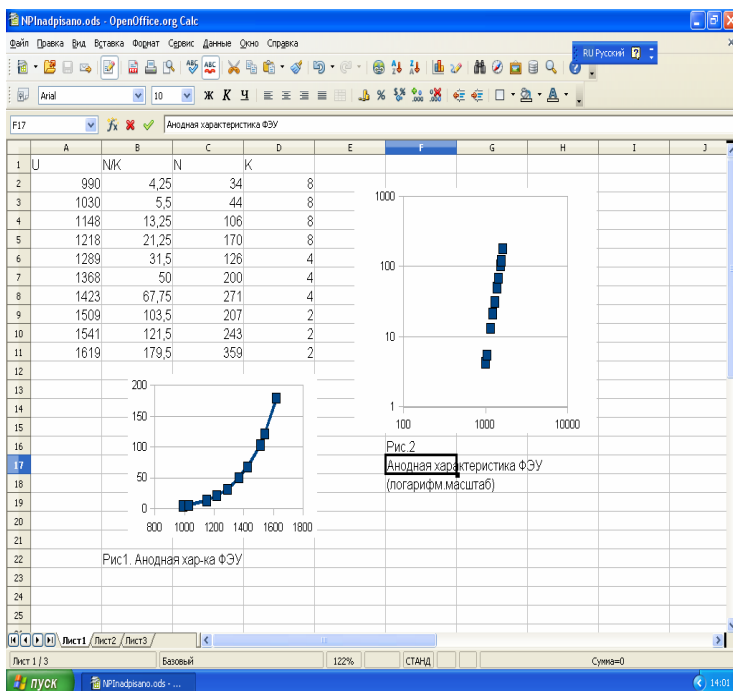


Рис.5. EXCEL. Анодная характеристика ФЭУ: таблица и графики

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильина Н.П., Кузнецова Г.П., Силаев А.А., Сомиков А.В. Специальный практикум по современным методам физических исследований. Лабораторная работа № 1. Сцинтилляционный метод. -М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004.

2. Н.П Ильина, А.А. Силаев, А.А. Силаев (мл), А.В. Сомиков, Г.П. Кузнецова. Специальный практикум по современным методам физических исследований. Сцинтилляционный метод. (Характеристики сцинтилляционного детектора и его использование в качестве гамма-спектрометра). -М.: Изд-во Моск. ун-та, «КДУ», 2011.

Для заметок

Для заметок

Учебное издание

**Наталья Петровна Ильина,
Александр Алексеевич Силаев,
Алексей Александрович Силаев (мл.),
Анатолий Васильевич Сомиков,
Галина Павловна Кузнецова**

**МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
УСТАНОВКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
«СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД»
специального практикума по современным методам
физических исследований**

Учебное пособие

*Электронная обработка текста и рисунков выполнены
Н. П. Ильиной, Г. П. Кузнецовой и А. В. Сомиковым*

*Оригинал-макет подготовлен Н. П. Ильиной,
А. В. Сомиковым и Г. П. Кузнецовой*

Редактор: А. В. Прохоров

Работа поступила в ОНТИ 04.07.2011 г.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Тираж 50 экз. Заказ № Т-172-11.

Отпечатано с материалов, предоставленных авторами,
в типографии «КДУ». Тел./факс (495) 939-44-91;
www.kdu.ru; e-mail: kdu@kdu.ru