

**Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»**

Кафедра «Экологии, безопасности жизнедеятельности и электропитание»

Лабораторная работа №4

По дисциплине «Радиационная безопасность»

На тему: «Изучение ксеноновых гамма-детекторов»

Москва, 2023

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Определение радионуклидов по набранному спектру в смеси;
- Изучение методики работы с ксеноновыми гамма-детекторами;
- Усвоение лекционного материала.

ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:

- Ознакомиться с теоретическим описанием лабораторной работы и моделируемой экспериментальной установки.
- В меню «измерения» выбрать заданный преподавателем набор источников.
- Набрать спектр в течение десяти минут.
- Остановить набор спектра (и сохранить полученный спектр).
- Определить энергии гамма-линий, присутствующих в спектре, и занести экспериментальные данные в таблицу 1 «Активность радиоактивного источника».
- Провести идентификацию радионуклидов по набранному спектру с помощью таблицы 2 «Библиотека радионуклидов». По энергиям обнаруженных в спектре гамма-линий определить какие радионуклиды использовались в эксперименте.
- Провести оценку активности для каждого радионуклида в радиоактивном наборе. Вычислив площадь S под пиками гамма-линий, найти с помощью графика зависимости эффективности регистрации η интенсивность каждой из гамма-линии I . Учитывая квантовый выход Q гамма-линий для каждого радионуклида, найти активность A . Результаты занести в таблицу 1 «Активность радиоактивного источника».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Процесс горения вещества

Ксеноновые гамма-детекторы в отличие от других гамма-детекторов обладают хорошими спектрометрическими характеристиками, позволяющими широко использовать их как для фундаментальных, в том числе и космофизических, так и для прикладных исследований.

Эти гамма-детекторы обеспечивают хорошее энергетическое разрешение, которое в несколько раз лучше, чем у сцинтилляционных детекторов. Для функционирования ксеноновых гамма-детекторов не требуется использования жидкого азота, и они могут работать в широком температурном диапазоне без изменения своих спектрометрических характеристик. Важной особенностью ксеноновых гамма-детекторов является то обстоятельство, что их спектрометрические характеристики практически не зависят от размеров. Это позволяет создавать ксеноновые гамма-спектрометры с высокой чувствительностью за счет увеличения рабочего объема.

Следует также отметить, что стоимость ксеноновых гамма-спектрометров по сравнению с полупроводниковыми на основе сверхчистого германия значительно ниже. Рабочее вещество ксеноновых гамма-спектрометров имеет сравнительно невысокую плотность ($0,5-0,6 \text{ г/см}^3$), в результате чего их удельная эффективность регистрации гамма-излучения в несколько раз меньше, чем у кристаллических гамма-детекторов.

Однако эффективность регистрации, в зависимости от требований конкретных исследований, можно повысить за счет увеличения рабочего вещества гамма-детектора. Основу гамма-спектрометра, изучаемого в данной работе, составляет цилиндрическая ионизационная камера с экранирующей сеткой. Камера работает в импульсном режиме, что обеспечивает возможность регистрировать отдельную частицу и определять ее энергию. В качестве рабочего вещества ионизационной камеры используется сжатый ксенон или другие благородные газы и их смеси. Для увеличения эффективности газовых спектрометрических детекторов применяются инертные газы с большим атомным номером.

Одной из важнейших характеристик любого вещества, используемого для детектирования гамма-излучения является его способность поглощать гамма-кванты. Эта способность характеризуется вероятностью их взаимодействия с данным веществом. Как известно, гамма-кванты при прохождении через вещество испытывают три типа взаимодействия (без учета ядерных реакций под действием гамма-квантов): фотоэффект, эффект Комптона, и образование электронно-позитронных пар.

Применяемый в гамма-детекторах ксенон должен быть хорошо очищен от электроотрицательных примесей, которые обладают большим сечением захвата электронов, образующихся в рабочем веществе ионизационной камеры. При

взаимодействии гамма-кванта с рабочим веществом в ионизационной камере образуются ионы атомов ксенона и электроны, которые под действием электрического поля движутся соответственно к катоду и аноду.

Поскольку скорость дрейфа электронов (v_e) в ионизационной камере почти в тысячу раз больше скорости дрейфа тяжелых положительных ионов, то амплитуды импульсов в ионизационной камере, создаваемых движением электронов, будут во много раз превышать амплитуды импульсов, обусловленных движением тяжелых ионов.

Образование наведенного заряда на аноде цилиндрической ионизационной камеры без экранирующей сетки осуществляется во время движения в ней заряженной частицы. При этом происходит зарядка и разрядка емкости C . Вследствие индукционного эффекта гамма-кванты с одинаковой энергией, провзаимодействовавшие в разных местах ионизационной камеры, создают на аноде сигналы различной амплитуды, что приводит к ухудшению энергетического разрешения гамма-спектрометра.

Энергетическое разрешение гамма-детектора определяется как ширина на полувысоте пика (dE) распределения импульсов, возникающих на выходе детектора при регистрации моноэнергетических частиц. Для уменьшения индукционного эффекта, а, следовательно, и для улучшения энергетического разрешения гамма-детектора обычно используется экранирующая сетка, которая размещается между катодом и анодом цилиндрической ионизационной камеры.

На экранирующую сетку подается отрицательный электрический потенциал, значение которого составляет примерно половину потенциала на катоде. В этом случае объемный заряд, который движется между катодом и сеткой практически не будет индуцировать электрический сигнал на аноде до тех пор, пока этот заряд не пройдет через экранирующую сетку в область между сеткой и анодом. Требование, определяющее наилучшие параметры цилиндрической ионизационной камеры, состоит в том, чтобы электрическая емкость между анодом и сеткой была как можно меньше. Для большинства цилиндрических ионизационных камерона обычно не превышает 50 пФ.

Необходимость этого требования определяется тем, что амплитуда выходного сигнала, индуцируемого на аноде, обратно пропорциональна электрической емкости между сеткой и анодом. Следует также учитывать еще одно условие, которое заключается в том, что объем области между сеткой и анодом должен быть как можно меньше, поскольку в нем сказывается влияние индукционного эффекта. На практике удастся обеспечить внутренний объем цилиндрической сетки не более (5-10%) от общего чувствительного объема ионизационной камеры.

ХОД РАБОТЫ:

1. Порядок обработки и предоставления результатов:

а) после набора статистики в течение 10 минут, остановить набор спектра для анализа данных.

б) найти характерные пики гамма-линий в спектре и определить к какому из радионуклидов принадлежат эти линии: имеющиеся в наличии источники: ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na , ^{133}Ba , ^{57}Co , ^{241}Am , ^{113}Sn ^{235}U .

Таблица 1. - Библиотека радионуклидов

Источник	Характерные линии, кэВ	Квантовый выход, %	Относительная интенсивность, %
^{137}Cs	661,7	84,99	100
^{60}Co	1173,2	99,85	99,86
	1332,5	99,98	100
^{22}Na	511	180,7	100
	1274,5	99,94	55,3
^{133}Ba	80,99	32,9	53,02
	276,4	7,16	11,54
	302,9	18,34	29,56
	356,0	62,05	100
	383,8	8,94	14,41
^{57}Co	122	85,5	100
	136,4	10,7	10,68
^{241}Am	59,5	35,2	100
^{113}Sn	391,6	64,9	100
	255,1	2,11	3,25
^{235}U	205,3	5,02	100
	202,12	1,08	21,5
^{24}Mg	41,9	74,26	100

в) Найти площадь S под каждым пиком, с помощью контекстного меню «Обработать пик», значение площади будет отображено в области статистика «Событий в пике». Границы необходимо выставить таким образом, чтобы пик полностью попал в область выделения.

г) С помощью графика зависимости эффективности регистрации η определить интенсивность каждой линии I по формуле:

$$I = 4\pi \frac{S}{\Omega \cdot t \cdot \eta}$$

Телесный угол $\Omega = 0,4519$ радиан, t время набора спектра в секундах. Значение η рекомендуется брать из таблицы 1 наиболее близкие к значениям, полученным экспериментально.

д) Вычисление активности по интенсивности линий для каждого радионуклида:

$$A = \frac{\sum I_n}{\sum Q_n}$$

где: Q – квантовый выход гамма-линии.

I – интенсивность гамма-линии.

е) Результаты занести в таблицу 1.

ж) Оформить заключение о проделанной работе, распечатать результаты и отдать оформленную работу преподавателю.

Таблица 1. - Активность радиоактивного источника

Изотоп	Характерные кэВ линии	Энергия линии, кэВ	Площадь под пиком	Активность, Бк

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое гамма-спектрометрия?
2. Какой основной принцип лежит в основе гамма-спектрометрии?
3. Дайте характеристику гамма-излучению?
4. Опишите оборудование и принцип его действия необходимое для гамма-спектрометрии?
5. Опишите цели и задачи лабораторной работы, что было проделано?

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- Цель работы;
- Выполненное задание (Ход работы);
- Выводы;
- Ответить на контрольные вопросы.