

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор института технологий и
инженерной механики


Могильная Е.П.
« 25 » 02 2025 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине**

Ядерная спектрометрия

(наименование учебной дисциплины, практики)

03.04.02 Физика

(код и наименование направления подготовки (специальности))

«Теоретическая и математическая физика»

(наименование профиля подготовки (специальности, магистерской программы); при отсутствии ставится прочерк)

Разработчик:

доцент  Воробьев С.Г.

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры физики

от 25 02 2025 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой  Корсунов К.А.

Луганск 2025 г.

**Комплект оценочных материалов по дисциплине
«Ядерная спектрометрия»**

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

Выберите один правильный ответ.

1. Какие потери энергии преобладают при прохождении электронов через вещество?

- А) Ионизационные потери
- Б) Радиационные потери
- В) Тепловые потери
- Г) Магнитные потери

Правильный ответ: А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2)

2. Какие основные процессы происходят при электромагнитном взаимодействии ядерных излучений с веществом?

- А) Ионизация, возбуждение, тормозное излучение
- Б) Тепловое расширение, плавление, испарение
- В) Химические реакции, окисление, восстановление
- Г) Кристаллизация, конденсация, преломление

Правильный ответ: А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Какой механизм взаимодействия гамма-квантов с веществом является основным при низких энергиях?

- А) Комптоновское рассеяние
- Б) Фотоэффект
- В) Образование пар
- Г) Ядерный фотоэффект

Правильный ответ: Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Какой газ чаще всего используется в газонаполненных детекторах?

- А) Кислород
- Б) Аргон
- В) Водород
- Г) Азот

Правильный ответ: Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

5. Какой тип нейтронов имеет энергию менее $3 \cdot 10^{-7}$ эВ?

- А) Тепловые
- Б) Холодные
- В) Ультрахолодные
- Г) Горячие

Правильный ответ: В

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

6. Какой метод используется для определения элементного состава вещества с помощью нейтронов?

- А) Нейтронно-активационный анализ
- Б) Спектрометрия гамма-квантов
- В) Масс-спектрометрия
- Г) Рентгеновский анализ

Правильный ответ: А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания закрытого типа на установление соответствия

1 Установите соответствие между процессами и их описанием. *Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.*

	Процессы		Описания
1)	Ионизация	А)	Излучение, возникающее при искривлении траектории частицы в кулоновском поле ядра.
2)	Возбуждение	Б)	Процесс, при котором электрон переходит на более высокий энергетический уровень.
3)	Тормозное излучение	В)	Процесс, при котором электрон покидает атом.

Правильный ответ:

1	2	3
В	Б	А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Установите соответствие между механизмами потерь энергии и их описанием. *Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.*

	Механизмы потерь энергии		Описания
1)	Ионизационные потери	А)	Потери энергии за счет излучения фотонов при ускорении электронов.
2)	Радиационные потери	Б)	Рассеяние гамма-квантов на электронах с передачей им части энергии
3)	Комптон-эффект	В)	Потери энергии за счет передачи энергии электронам атомов.

Правильный ответ:

1	2	3
В	А	Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Установите соответствие между типами полупроводниковых детекторов и их применением. *Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.*

	Типы полупроводниковых детекторов		Применение
1)	Поверхностно-барьерный	А)	Используется для регистрации гамма-квантов
2)	Дрейфовый	Б)	Используется для регистрации нейтронов
3)	Диффузный	В)	Используется для регистрации тяжелых заряженных частиц

Правильный ответ:

1	2	3
В	А	Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Установите соответствие между методами спектрометрии нейтронов и их описанием. *Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.*

	Методы спектрометрии нейтронов		Описание методов
1)	Метод времени пролета	А)	Основан на регистрации протонов отдачи
2)	Метод ядер отдачи	Б)	Основан на регистрации световых вспышек в сцинтилляторе
3)	Сцинтилляционный метод	В)	Основан на измерении времени пролета нейтронов через известное расстояние

Правильный ответ:

1	2	3
В	А	Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

5. Установите соответствие между элементами сцинтилляционного детектора и их функциями. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

	Элементы сцинтилляционного детектора		Функции элементов сцинтилляционного детектора
1)	Сцинтиллятор	А)	Преобразует световую вспышку в электрический сигнал
2)	Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)	Б)	Увеличивает амплитуду электрического сигнала
3)	Усилитель	В)	Преобразует энергию частицы в световую вспышку

Правильный ответ:

1	2	3
В	А	Б

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

Установите правильную последовательность.

Запишите правильную последовательность букв слева направо.

1. Установите правильную последовательность этапов регистрации частицы сцинтилляционным детектором?

- А) Усиление сигнала фотоэлектронным умножителем
- Б) Поглощение энергии частицы сцинтиллятором
- В) Преобразование энергии в световую вспышку
- Г) Преобразование световой вспышки в электрический сигнал

Правильный ответ: Б, В, Г, А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Установите правильную последовательность этапов работы ионизационной камеры?

- А) Усиление сигнала
- Б) Ионизация газа частицей
- В) Движение ионов к электродам
- Г) Регистрация импульса тока

Правильный ответ: Б, В, Г, А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Установите правильную последовательность этапов работы полупроводникового детектора?

- А) Образование электронно-дырочных пар
- Б) Дрейф носителей заряда к электродам
- В) Регистрация импульса тока
- Г) Усиление сигнала

Правильный ответ: А, Б, В, Г

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Установите правильную последовательность этапов метода времени пролета нейтронов?

- А) Анализ спектра нейтронов
- Б) Определение энергии нейтронов
- В) Регистрация нейтронов детектором
- Г) Измерение времени пролета нейтронов

Правильный ответ: Г, В, Б, А

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

1. Напишите пропущенное слово (сочетание).

Энергия электрона, при которой потери энергии на тормозное излучение и ионизацию равны, называется _____

Правильный ответ: критической

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Напишите пропущенное слово (сочетание).

Процесс, при котором атом поглощает гамма-квант и испускает электрон называется _____

Правильный ответ: фотоэффектом

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Напишите пропущенное слово (сочетание).

Основной элемент сцинтилляционного детектора, преобразующий световой сигнал в электрический, называется _____

Правильный ответ: фотоэлектронный умножитель

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Напишите пропущенное слово (сочетание).

Полупроводниковые детекторы, в которых используется дрейф лития для компенсации примесей, называются_____

Правильный ответ: дрейфовые детекторы

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

5. Напишите пропущенное слово (сочетание).

Метод измерения энергии нейтронов, основанный на времени их пролета через известное расстояние, называется_____

Правильный ответ: метод времени пролета

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

1. Дайте ответ на вопрос. Приборы, при помощи которых изучают энергетические спектры гамма - квантов, называют?

Правильный ответ: гамма-спектрометрами

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Дайте ответ на вопрос. Отношение числа частиц, зарегистрированных детектором спектрометра к числу частиц, испускаемых источником излучения за то же время называют? *(Ответ запишите двумя словами).*

Правильный ответ: эффективностью регистрации

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. Дайте ответ на вопрос. Отношение энергии световой вспышки к энергии, потерянной регистрируемой частицей в веществе сцинтиллятора называют? *(Ответ запишите двумя словами).*

Правильный ответ: сцинтилляционной эффективностью.

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Дайте ответ на вопрос. Частица, входящая в детектор извне, должна сначала пройти нечувствительный слой вещества, который называется? *(Ответ запишите двумя словами).*

Правильный ответ: мертвым слоем.

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

5. Дайте ответ на вопрос. Потери энергии частицы на тормозное излучение называются? (*Ответ запишите, одним словом*).

Правильный ответ: радиационными.

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Задания открытого типа с развернутым ответом

1. Источник гамма-излучения испускает кванты с энергией 1,33 МэВ. Определите длину волны этих гамма-квантов? Ответ записать в м.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение. Для определения длины волны гамма-квантов с энергией 1,33 МэВ нужно воспользоваться связью между энергией и длиной волны.

Энергия связана с длиной волны через уравнение:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Отсюда длину волны находим:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

Преобразуем энергию из МэВ в джоули:

$$E = 1,33 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 1,33 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} = 2,13 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Вычисляем длину волны, подставив значения в формулу:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,13 \cdot 10^{-13}} = 9,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda = 9,3 \cdot 10^{-13} \text{ м}$

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

2. Источник излучает гамма-кванты с энергией 0,662 МэВ. Эти кванты регистрируются с помощью германиевого детектора в процессе гамма-спектрометрии. Рассчитайте длину волны данных гамма-квантов и поясните, по каким причинам германиевый детектор является подходящим выбором для регистрации таких излучений.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 20 мин.

Ожидаемый результат:

Решение. Для определения длины волны гамма-квантов с энергией 0,662 МэВ нужно воспользоваться связью между энергией и длиной волны.

Энергия связана с длиной волны через уравнение:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Отсюда длину волны находим:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

Преобразуем энергию из МэВ в джоули:

$$E = 0,662 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 0,662 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} = 1,061 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Вычисляем длину волны, подставив значения в формулу:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,061 \cdot 10^{-13}} = 18,74 \cdot 10^{-13} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda = 18,74 \cdot 10^{-13} \text{ м}$

Объяснение выбора детектора. Германиевый детектор подходит для регистрации гамма-квантов с энергией 0,662 МэВ, так как он обладает высокой энергоразрешающей способностью. Это позволяет точно определить энергию квантов, что важно в спектрометрии для идентификации источника (например, цезия-137, который часто имеет такую энергию).

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

3. В процессе альфа-распада уран-238 испускает альфа-частицы с энергией 4,2 МэВ. Эти частицы регистрируются полупроводниковым детектором. Рассчитайте энергию альфа-частиц в джоулях и объясните, почему альфа-частицы не требуют глубокого проникновения в детектор.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение. По условию задачи энергия дана в Мэв.

Преобразуем энергию из МэВ в джоули: $E = 4,2 \text{ МэВ} = 4,2 \cdot 10^6 \text{ эВ}$,

$$1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E = 4,2 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 4,2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} = 6,73 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Ответ: $E = 6,73 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$

Объяснение проникновения. Альфа-частицы имеют низкую проникающую способность из-за их большой массы и положительного заряда. Они быстро теряют энергию, взаимодействуя с электронами вещества, и останавливаются на глубине всего нескольких микрометров в полупроводниковом детекторе (например, кремниевом). Поэтому для их регистрации достаточно тонкого слоя детектора, что делает такие устройства удобными для спектрометрии альфа-излучения.

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

4. Бета-источник испускает электроны с максимальной энергией 0,546 МэВ. Эти частицы регистрируются в спектрометре с кремниевым детектором. Определите эту энергию в джоулях и объясните, почему кремниевый детектор подходит для бета-спектрометрии.

Привести расширенное решение.

Время выполнения – 15 мин.

Ожидаемый результат:

Решение. По условию задачи энергия дана в Мэв.

Преобразуем энергию из МэВ в джоули:

$$E = 0,546 \text{ МэВ} = 0,546 \cdot 10^6 \text{ эВ},$$

$$1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$E = 0,546 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 0,546 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} = 0,87 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } E = 0,87 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Объяснение выбора детектора. Кремниевый детектор хорошо подходит для бета-спектрометрии, так как бета-частицы (электроны) имеют умеренную проникающую способность и теряют энергию в тонком слое материала. Кремний обеспечивает достаточную чувствительность и разрешение для измерения энергии электронов в диапазоне 0,546 МэВ, а его компактность и доступность делают его практичным выбором для таких экспериментов.

Компетенция (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4), ПК-2 (ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Ядерная спекторметрия» соответствует требованиям ФГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки обучающихся по указанному направлению.

Председатель учебно-методической
комиссии института технологий и
инженерной механики



Ясуник С.Н.

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)