

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



/ Титова Л.В./
20.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.08 Спектрометрия ядерных излучений**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.04.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики **6.**

Составители программы:

к.ф.- м.н., доцент Вахтель Виктор Матвеевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными методами и методиками спектрометрии излучений, основ физики взаимодействия излучений с веществом, методов регистрации излучений спектрометрами и практического их применения.

Задачи учебной дисциплины:

- дать знания о физических явлениях, на которых основано определение элементного и изотопного состава вещества, основах исследования характеристик материалов методами резерфордовского рассеяния, каналирования, альфа- и бета-спектрометрии
- научить выбирать метод измерений и обработки экспериментальных результатов при планировании эксперимента для проведения исследований излучений различных радиоактивных источников и частиц высокой энергии
- дать навыки практического применения спектрометрии: осуществлять градуировку спектрометров, определять относительную активность источников излучений, проводить идентификацию типа заряженных частиц по удельной ионизации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Обязательная дисциплина вариативной части цикла Б1 (Часть, формируемая участниками образовательных отношений).

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-6	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования с	ПК-6.5	Знает физические явления, на которых основано определение элементного и изотопного состава вещества, основы исследования структурных характеристик материалов методами массспектрометрии, резерфордовского рассеяния, каналирования, мессбауэровской спектроскопии	Знать: физические явления, на которых основано определение элементного и изотопного состава вещества, основы исследования характеристик материалов методами резерфордовского рассеяния, каналирования, альфа- и бета-спектрометрии Уметь: выбирать метод измерений и обработки экспериментальных результатов при планировании эксперимента для проведения исследований излучений различных радиоактивных источников и частиц высокой энергии Владеть: навыками практического применения спектрометрии: осуществлять градуировку

	оптимизировани ем методов исследования.	ПКВ-6.6	Выбирает метод измерений и обработки экспериментальны х результатов при планировании эксперимента для проведения исследований излучений различных радиоактивных источников и частиц высокой энергии	спектрометров, определять относительную активность источников излучений, проводить идентификацию типа заряженных частиц по удельной ионизации
		ПКВ-6.7	Владеет навыками практического применения спектрометрии:	
			осуществлять градуировку спектрометров энергий гаммаизлучений, определять относительную активность источников излучений, проводить идентификацию типа заряженных частиц по удельной ионизации.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108.

Форма промежуточной аттестации - зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		36	
в том числе:	лекции	18	18
	практические		
	лабораторные	18	18
Самостоятельная работа		72	72
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1	Характеристики частиц и потоков	Характеристики заряженных частиц и потоков излучений. Источники излучений. Радиоизотопные источники. Ускорители заряженных частиц. Ядерные реакции.	-
2	Взаимодействие заряженных частиц с веществом	Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Удельные потери энергии. Распределения потерь при низких и средних энергиях. Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом. Удельные потери. Тормозное излучение. Черенковское излучение. Каналирование.	-
3	Ионизационные газонаполненные детекторы	Ионизационный эффект флуктуации ионизации. Газонаполненные детекторы в импульсном режиме для тяжелых частиц. Детекторы с газовым усилением. Эффективность регистрации. Энергетическая калибровка. Нелинейность.	-
		Спектрометрия легких заряженных частиц. Мертвое время. Временные спектрометры. Детекторы с самостоятельным разрядом. Старение детекторов. Идентификация частиц.	
4	Полупроводниковые детекторы заряженных частиц	Полупроводниковые детекторы. Типы и области применения детекторов. Ориентационный и плазменный эффекты. Энергетическое и временное разрешение. Спектрометрия заряженных частиц. Спектрометрия легких частиц.	-
5	Сцинтилляционная спектрометрия	Радиолюминисцентный эффект. Механизм сцинтилляции. Типы сцинтилляторов. Области применения. Аппаратурные спектры. Обработка спектров. Временная спектрометрия. Многодетекторные системы. Оптимизация ФЭУ.	-
6	Спектрометры и спектрометрия	Энергетическая спектрометрия. Идентификация излучений. Временная спектрометрия.	-
7	Спектрометрия высоких энергий	Черенковские детекторы и спектрометры заряженных частиц	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Характеристики частиц и потоков	2		2	10	14
2	Взаимодействие заряженных частиц с веществом	3		3	10	16
3	Ионизационные газонаполненные детекторы	3		3	10	16
4	Полупроводниковые детекторы заряженных частиц	3		3	11	17
5	Сцинтилляционная спектрометрия	3		3	11	17

6	Спектрометры и спектрометрия	2		2	10	14
7	Спектрометрия высоких энергий	2		2	10	14
	Итого:	18		18	72	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников) а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ишханов, Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с.
2	Черняев А. П. Ионизирующие излучения : [учебное пособие] / А.П. Черняев ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Физ. фак. — Изд. 3-е, испр. и доп. — Москва : КДУ, 2014 .— 313 с. : ил., табл. — Библиогр.: с.311-313.
3	Черняев А. П. Ускорители в современном мире : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 011200 - "Физика" и и по специальности 010701 - "Физика"] / А. П. Черняев .— Москва : Изд-во Московского университета, 2012 .— 367 с. : ил., табл. — Предм. указ.: с.362-365 .— Библиогр.: с.366-367.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Лабораторный практикум по экспериментальным методам ядерной физики: Учебное пособие для инж.-физ. специальностей вузов / ; Под ред. К. Г. Финогенова.— М. : Энергоатомиздат, 1986 .— 429 с.
5	Введение в физику тяжелых ионов: Учебное пособие. Гангрский Ю.П., Григорьев В.А., Емельянов В.М., Липидус К.О., Оганесян Ю.Ц, Пенионжквич Ю.Э., Пятков Ю.В. М.: МИФИ, 2008. 424 с.
6	Абрамов А.И. Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие для студ. вузов / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Атомиздат, 1977 .— 524,[1] с. : ил., табл.
7	Абрамов, Александр Иванович. Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие для студ. вузов / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич .— М. : Атомиздат, 1970 .— 558,[1] с.
8	Абрамов, Александр Иванович. Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие для студ. вузов / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985 .— 487,[1]с.
9	Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.] / К.Н. Мухин .— СанктПетербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009
10	Черняев А. П. Ускорители в современном мире : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 011200 - "Физика" и и по специальности 010701 - "Физика"] / А. П. Черняев .— Москва : Изд-во Московского университета, 2012 .— 367 с. : ил., табл. — Предм. указ.: с.362-365 .— Библиогр.
11	Абрамов, Александр Иванович. Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие для студ. вузов / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич .— М. : Атомиздат, 1970

12	Мухин, Константин Никифорович. Экспериментальная ядерная физика : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Физика" : [в 2 т.] / К.Н. Мухин .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Атомиздат, 1974-.Т. 1: Физика атомного ядра .— 1974
----	--

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
13	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с..

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий; –
- компьютерные технологии при проведении занятий:
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, ноутбук ASUS
VIVOBOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST,

Лаборатория (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) переносной экран на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010 от 15/207-19 от 30.04.2019

г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 32 (лицензия: [https://www.libreoffice.org/about-](https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/)

LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО ауд.

[us/licenses/](https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/))

Лаборатория (для проведения занятий лекционного семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 37	Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses) Специализированная мебель, мессбауэровский спектрометр CM1101, мессбауэровский спектрометр MS1 104Em, альфа-спектрометр СЭА-13П и Univem MS 9.01 РТЦК 350000.000 ПС. лицензия бессрочная MossFit (версия 3.06) ДШИ 2.851.003 ПС. лицензия бессрочная
Лаборатория (для проведения занятий и семинарского типов, текущего промежуточной аттестации г.Воронеж, площадь Университетская, д.1,	LSRMAльфа (LSRMSpectralLineADA, версия 1.1.959). лицензия бессрочная Специализированная мебель, сцинтилляционный лекционного гамма-спектрометр: блок детектирования БЛБД7Г - контроля и 20Р; высоковольтный блок БНВ-30-01 (стандарт "Вектор"); усилитель БУИ-3К "Вектор"; анализатор пом.1, ауд. 38) импульсов АИ; 4К
Лаборатория (для проведения лабораторных занятий) "Мультирад" в составе: гамма-спектрометрический г.Воронеж, площадь тракт "Мультирад-гамма", ПО "Прогресс".	Установка спектрометрическая МКС-01.А.
Университетская, д.1, пом.1, ауд. 32	Установка спектрометрическая МКС-01.А "Мультирад" в составе: альфа-спектрометрический тракт - А.С." ПО "Прогресс".
SceenMedia Apllo-T Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования 15/207-19 от 30.04.2019 г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31 (лицензия: https://www.libreoffice.org/about	Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе Microsoft Windows 7, LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО ауд. us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-7	ПК-6	ПК-6.5 ПК-6.6 ПК-6.7	Отчет по лабораторным занятиям
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Отчет к лабораторным занятиям

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	—	<i>Незачтено</i>

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Характеристики заряженных частиц и потоков излучений.
2. Источники излучений. Радиоизотопные источники.
3. Ускорители заряженных частиц. Ядерные реакции.
4. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом.
5. Удельные потери энергии. Распределения потерь при низких и средних энергиях.
6. Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом.
7. Удельные потери. Тормозное излучение. Черенковское излучение.
8. Каналирование. Ионизационный эффект флуктуации ионизации.
9. Газонаполненные детекторы в импульсном режиме для тяжелых частиц.
10. Детекторы с газовым усилением.
11. Эффективность регистрации. Энергетическая калибровка. Нелинейность.
12. Спектрометрия легких заряженных частиц. Мертвое время.
13. Временные спектрометры. Детекторы с самостоятельным разрядом. Старение детекторов. Идентификация частиц.
14. Полупроводниковые детекторы.
15. Типы и области применения детекторов.
16. Ориентационный и плазменный эффекты.
17. Энергетическое и временное разрешение.
18. Спектрометрия заряженных частиц. Спектрометрия легких частиц.
19. Радиолюминисцентный эффект. Механизм сцинтилляции.
20. Типы сцинтилляторов. Области применения.
21. Аппаратурные спектры. Обработка спектров. Временная спектрометрия.
22. Многодетекторные системы.
23. Оптимизация ФЭУ.
24. Энергетическая спектрометрия. Идентификация излучений.
25. Временная спектрометрия.
26. Черенковские детекторы и спектрометры заряженных частиц

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачтено</i>

Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	<i>Базовый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	<i>Пороговый уровень</i>	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	—	<i>Незачтено</i>

ПК-6

Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования с оптимизированием методов исследования

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

- Основные характеристики заряженных частиц.

1) **Масса, заряд, кинетическая энергия, импульс, спин.** 2) Импульс, энергия, 3) Поляризация, размер.

- Удельные ионизационные средние потери энергии тяжёлых частиц в веществе. Формула Бете-Блоха.

$$4\pi Z e^2 \frac{1}{v^2} \left(\ln \frac{2mv^2}{I} - \frac{1}{2} \right)$$

$$1) \quad \frac{dE}{dx} = 4\pi Z e^2 \frac{1}{v^2} \left(\ln \frac{2mv^2}{I} - \frac{1}{2} \right)$$

$$2) \quad \frac{dE}{dx} = 4\pi Z e^2 \frac{1}{v^2} \left(\ln \frac{2mv^2}{I} - \frac{1}{2} \right)$$

$$\frac{4\pi Z e^2}{v^2} \left(\ln \frac{2mv^2}{I} - \frac{1}{2} \right)$$

$$3) \quad \frac{dE}{dx} = 4\pi Z e^2 \frac{1}{v^2} \left(\ln \frac{2mv^2}{I} - \frac{1}{2} \right)$$

- Удельные средние потери энергии заряженных частиц на ионизацию и тормозное излучение, равные при критической энергии. $E_{крит}$ равно в веществе с атомным номером Z.

$$1) \quad E_{крит} = \frac{Z}{800} \text{ МэВ},$$

$$2) \quad E_{крит} = 800Z \text{ МэВ},$$

$$3) \quad E_{крит} = \frac{800}{Z} \text{ МэВ}.$$

- Взаимодействие гамма-излучения с веществом. Энергия рассеянного гаммаизлучения, атомное сечение комптоновского рассеяния.

$$\sigma = \frac{8\pi}{3} r_0^2 \left(\frac{E_0}{E} \right)^2 \left(1 + \cos^2 \theta \right) \left(1 - \frac{E_0}{E} \right) \left(1 + \frac{E_0}{E} \cos^2 \theta \right)$$

$$1) \quad E = E_0 (1 - \cos \theta) = E_0 \left(1 - \cos \theta \right) + m_e c^2 \left(1 - \cos \theta \right)$$

$$2) \quad E = E_0 (1 - \cos \theta) = E_0 \left(1 - \cos \theta \right) + m_e c^2 \left(1 - \cos \theta \right)$$

$$3) \quad \sigma = \frac{8\pi}{3} r_0^2 \left(\frac{E_0}{E} \right)^2 \left(1 + \cos^2 \theta \right) \left(1 - \frac{E_0}{E} \right) \left(1 + \frac{E_0}{E} \cos^2 \theta \right)$$

- ### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1. Чем различаются спектры распределений количеств движений P , при бетаминус распаде ядер и при бета-плюс распаде ядер при магнитной спектрометрии в однородном поле с углом φ ?

Ответ: наличием распределения в области соответствующей энергии 0,511 МэВ и 1,022 МэВ при β -плюс распаде.

2. Как оценить характеристики каскадов переходов между возбуждённым состоянием ядер методом гамма-спектрометрии?

Ответ: Получить аппаратные гамма-спектры исследуемого источника в нескольких геометриях: близко к детектору; на большем удалении. Изменение относительных интенсивностей потоков полного поглощения позволяет оценить каскадность.

3. Как оценить по аппаратному альфа-спектру, например, спектрометром с полупроводниковым детектором в генетической цепочке, какой изотоп является материнским, а какой дочерним.

Ответ: У дочернего изотопа линий в аппаратном альфа-спектре смещении в область низких энергии и уширенных за счёт эффекта отдачи.

4. Что можно сказать об интенсивности J гамма-перехода между двумя состояниями ядра со спинами $I=0$. Ответ: $J=0$.

5. Почему при альфа-распаде ядер измеряют спектр альфа-частиц, а не энергетический спектр дочерних ядер отдачи? Ответ: $T \gg T_{\text{отдачи}}$.

6. При каких условиях измерений излучений, возникающих при распаде возбуждённых состояний ядер экспоненциальный характер изменения интенсивности излучения нарушается?

Ответ: Если измерения потока излучения проводятся в интервале времени t меньше времени жизни этого состояния.

7. Как определить мультипольность перехода между состояниями ядра по энергетическому спектру электронов конверсии?

Ответ: Отношения площадей пиков в спектре электронов с поправкой на эффективность определяет мультипольность перехода. 8. Как доказать несохранение пространственной четности при бета-распаде ядер? Ответ: Провести измерение углового распределения интенсивности бетаизлучения поляризованных ядер бета-излучателя. 9. Как определить параметр деформации ядра?

Ответ: Провести измерения спектров гамма-излучения и спектров конверсионных электронов. По этим спектрам определяют ротационные низколежащие возбуждённые состояния, характеристики которых зависят от деформации ядра. 10. Как определить атомный номер (заряд) ядра?

Ответ: По характеристическому рентгеновскому излучению, возникающему при образовании конверсионных электронов на основе закона Мозли.