

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Ядерной физики



Кадменский С.Г.  
30.08.21

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.07 Методы спектрометрии заряженных частиц**

**1. Код и наименование направления подготовки:**

03.04.02 Физика

**2. Программа:** Физика наносистем

**3. Квалификация выпускника:** магистр физики

**4. Форма обучения:** очная

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

**6. Составители программы:** к.ф.м.н., доцент Вахтель В.М.

---

**7. Рекомендована:**

*НМС физического факультета Протокол № 6 \_от 17.06..2021.*

---

**8. Учебный год:** 2022/2023

**Семестр(ы):** 3

**9. Цели и задачи учебной дисциплины**

Дать знания об основных спектрометрии легких и тяжелых частиц в ходе рассмотрения задач изучения механизмов работы детекторов части, фильтрации и методов обработки и анализа аппаратурных спектров.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Курс относится к вариативной части блока Б1.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения: ПК-1.2; ПК-1.4; ПК-7.2**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Осуществляет проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ПК-1.2	Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	<p>Знать теорию взаимодействия излучений с веществом, методы спектрометрии заряженных частиц, теорию магнитных, полупроводниковых, сцинтилляционных спектрометров, теорию газонаполненных детекторов, методы ядерной электроники, методы и средства спектрометрии на основе современных детекторов излучений.</p> <p>Уметь применять методы спектрометрии заряженных частиц в фундаментальных и прикладных исследованиях, оптимизировать проведение измерений на основе моделирования исследуемых процессов.</p> <p>Владеть методиками спектрометрии тяжелых заряженных частиц, процедурами калибровок спектрометров, техникой современной спектрометрии.</p>
		ПК-1.4.	Применяет современные методы статистической обработки результатов измерений, а также методы проведения сравнительного и математического анализа, обработки, обобщения результатов расчетных исследований и экспериментальных исследований	<p>Знать методы статистического одномерного и многомерного анализа, случайных процессов и временных рядов, основные критерии проверки статистических гипотез и регрессионного анализа, методами натурального моделирования.</p> <p>Уметь применять средства статистического анализа для обработки спектральных распределений получения регрессионных соотношений, доверительных интервалов и вероятностей.</p> <p>Владеть процедурами амплитудного и временного статистического анализа с использованием программных средств проблемно ориентированного статистического анализа данных спектрального анализа.</p>
ПК-7	Обобщает результаты проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработки	ПК-7.2	Использует математические методы обработки результатов исследований и их обобщения	<p>Знать методы построения математических моделей формирования аппаратных спектров, нелинейных эффектов образования артефактов спектральных линий.</p> <p>Уметь проводить процедуры распознавания образцов в виде одномерных дискретных спектров, строить математические модели</p>

предложений по разработке новых и усовершенствованию действующих ядерно-энергетических технологий			процессов образования спектров. Владеть средствами компьютерного моделирования и обработки многомерных спектров совпадений – антисовпадений.
---	--	--	---

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —2/72.

Форма промежуточной аттестации *зачет*

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		3 семестр
Аудиторные занятия	30	30
в том числе:	лекции	
	практические	
	лабораторные	30
Самостоятельная работа	42	42
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации: зачет		
Итого:	72	72

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лабораторные занятия</b>			
1	Заряженные частицы	Характеристики заряженных частиц. Основные методы определения характеристик частиц. Диапазоны энергий. Комплексы методов.	-
2	Методы измерений	Ионизационные методы измерения энергий, потерь энергии с газонаполненными детекторами.	-
3		Методы спектрометрии с полупроводниковыми детекторами.	-
4	Особенности спектрометрии	Особенности спектрометрии тяжелых частиц, многозарядных частиц. Спектрометрия осколков деления.	-
5		Сцинтилляционная спектрометрия. Одноканальные и микроканальные спектрометры. Координатные детекторы.	-
6	Методы измерений	Время пролетный метод. Временные процессы, параметры формирования сигналов детекторов. Статистические характеристики параметров и процессов.	-

7		Метод совпадений, принципы и характеристики временных электронных схем, методы обработки временных распределений. Многомерные совпадения	-
8	Движение заряженных частиц	Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях.	-
9		Фокусировка частиц. Метод задерживающего потенциала, цилиндрический дефлектор, сферический дефлектор, электростатические зеркала и линзы.	-
10	Спектрометры	Магнитная спектрометрия. Полуциркулярная фокусировка. Спектрометры с неоднородным магнитным полем, с продольным полем. Секторные системы.	-
11		Секторные спектрометры, формы линий, градуировки. Характеристики спектрометров. Методы регистрации.	-
12		Калометрический метод, калайдеры, многомерные спектрометры, сверхпроводящие системы. Новые направления.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Характеристики заряженных частиц. Диапазоны энергий частиц. Основные методы определения характеристик частиц.			4	6		10
2	Ионизационные сцинтилляционные, методы определения характеристик заряженных частиц.			4	6		10
3	Времяпролетная спектрометрия, методы совпадений.			4	8		12
4	Электростатическая и магнитная спектрометрия			6	8		14

	легких заряженных частиц.						
5	Магнитная спектрометрия тяжелых заряженных частиц.			6	8		14
6	Специальн ые методы. Перспектив ы			6	8		14
7				30	44		72

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

*Методическое обеспечение аудиторной работы:* учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

*Методическое обеспечение самостоятельной работы:* учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, вопросов по темам заданий и т.д.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины: <https://edu.vsu.ru>

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Болоздыня А. И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения : учеб. пособие / А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 204 с.
2	<u>Королев С. А.</u> Датчики и детекторы физико-энергетических установок: учебное пособие/ <u>Королев С. А.</u> , <u>Михеев В. П.</u> – М.: МИФИ, 2011.– 232. // «Университетская библиотека online: электронно-библиотечная система.– URL: <a href="http://biblioclub.ru">http:// biblioclub.ru</a> »
3	<u>Тарасенко Ю. Н.</u> Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения/ Ю. Н.Т <u>арасенко.</u> — М.: Техносфера, 2013.– 264 с. // «Университетская библиотека online: электронно-библиотечная система.– URL: <a href="http:// biblioclub.ru">http:// biblioclub.ru</a> »

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
8	Абрамов А. И. Основы экспериментальных методов ядерной физики, Глава 3 / А.И.Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич.– М.: Энергоатомиздат, 1997.
9	Гангрский Ю.П. Регистрация и спектрометрия осколков деления/ Ю. П. Гангарский, Б.Н. Марков, В.П. Перельгин.– М.: Энергоатомиздат, 1992.
10	Группен К. Детекторы элементарных частиц / К. Группен.– Новосибирск, 1999.
11	Арцимович Л.А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях / Л.А.Арцимович.– М.: Наука, 1972.
12	Волков Н.Г. Методы ядерной спектрометрии / Н.Г.Волков, В.А. Христофоров, Н.П. Ушакова.– М.: Энергоатомиздат, 1990.
13	Балдин С.А. Прикладная спектрометрия с полупроводниковыми дефектами / С. А. Балдин [ и др.]. – М.: Атомиздат, 1974.
14	Клайнкнехт К. Детекторы корпускулярных излучений / К. Клайнкнехт, М.: Мир, 1990.
15	Зигбан К. Электронная спектроскопия / К. Зигбан и др.– М.: Мир, 1971. Козлов И.Г. Современные проблемы электронной спектроскопии / И.Г.Козлов. – М. : Атомиздат, 1978.
16	Цитович А.П. Ядерная электроника / А.П.Цитович. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

17	Калиновский А.Н. Прохождение частиц высоких энергий через вещество / А.Н.Калиновский. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
----	--

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

№ п/п	Ресурс
13	Ядерная спектроскопия. <a href="http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/128/049.htm">http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/128/049.htm</a> .
	Бета-распад. Определение максимальной энергии бета-спектра : лабораторный практикум для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост. : А.Г. Бабенко [и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008 .— 47 с. : ил .— <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m08-06.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m08-06.pdf</a> >. 5 экз.

**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](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины - Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

---

Microsoft Windows.

LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/>)

Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses>)

---

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, ауд. 430 Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: ноутбук, мультимедиа-проектор, экран.
г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, ауд. 313а Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)
г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, ауд. 37 Лаборатория №37 1) Альфа-спектрометр СЭА-13 П (2008г.); 2) Жидкостинцилляционный радиометр TRIATHLER-425-004 (2007); 3) Бета-спектрометр "Бееф-1С" (2001); 4) Рентгеновский полупроводниковый спектрометр SLP-36/250 (2005).
г. Воронеж, площадь Университетская, д. 1, пом. I, ауд. 38 Лаборатория №38 1) Гейгеровский счетчик - 2 шт.; высоковольтный блок БНВ-30-01 (стандарт "Вектор"); детектор СИ-8В (СБТ-10); пересчетный прибор ПС02-4; осциллограф С1-55. 2) сцинтилляционный гамма-спектрометр: блок детектирования БЛБД7Г - 20Р; высоковольтный блок БНВ-30-01 (стандарт "Вектор"); усилитель БУИ-3К "Вектор"; компьютер с анализатором импульсов АИ-4К. 3) Полупроводниковый альфа-спектрометр: детектор ДКПсд-125, предусилитель БУШ2-50; усилитель БУИ-3К "Вектор", камера СЭА -01. Учебный лабораторный стенд "Изучение заряженных частиц с веществом" Установка спектрометрическая МКС-01.А "Мультирад" в составе: альфа-спектрометрический тракт – А.С." ПО "Прогресс".

## 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.	Характеристики заряженных частиц. Диапазоны энергий частиц. Основные методы определения характеристик частиц.	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>
2.	Ионизационные сцинтилляционные, методы определения характеристик заряженных частиц.	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>
3	Времяпролетная спектрометрия, методы совпадений.	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>
4	Электростатическая и магнитная	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	спектрометрия легких заряженных частиц.			
5	Магнитная спектрометрия тяжелых заряженных частиц.	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>
6	Специальные методы. Перспективы	ПК-1 ПК-7	ПК-1.2 ПК-1.4. ПК-7.2	<i>Устный опрос</i>
Промежуточная аттестация форма контроля – _____				<i>Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету</i>

#### Вопросы к зачету

1. Основные характеристики заряженных частиц. Диапазоны энергий частиц и методы измерения характеристик.
2. Ионизационные методы определения характеристик частиц. Газонаполненные детекторы, принципы, сигналы, спектры.
3. Ионизационные методы определения характеристик частиц, полупроводниковые детекторы, спектрометры, спектры.
4. Особенности спектрометрии многозарядных ионов, осколков деления. Спектрометрия низкоэнергетических и высокоэнергетических частиц.
5. Одноканальные и микроканальные детекторы, сборки, принципы регистрации, характеристики, формы сигналов.
6. Координатные детекторы резисторного, волнового типа, сцинтилляционные
7. детекторы, время задержки, принципы, характеристики, электронная система.
8. Координатные детекторы резисторного, волнового типа, сцинтилляционные детекторы, время задержки, принципы, характеристики, электронная система.
9. Электростатические спектрометры электронов, принципы, метод задерживающего потенциала, цилиндрический и сферический дефлектор.
10. Магнитные спектрометры электронов с полупроводниковой фокусировкой, детекторы, характеристики, аппаратные спектры.
11. Магнитные спектрометры электронов с неоднородным поперечным полем, продольным полем, детекторы, характеристики, аппаратные спектры.
12. Спектрометрия времени пролета, детекторы, характеристики, сигналы. Метрологические параметры, источники частиц. Метод тормозного потенциала.
13. Магнитные спектрометры тяжелых частиц с углом 180°, характеристики, детекторы, спектры.
14. Магнитные спектрометры тяжелых частиц с неоднородным полем, углом 180° детекторы, источники, спектры, градуировка.
15. Методы совпадений спектрометрии легких и тяжелых частиц. Фильтрация событий, спектры, обработка, анализ

#### Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования



## 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: вопросы к зачету.

#### Собеседование

Описание технологии проведения

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Собеседование считается пройденным, если обучающийся отвечает на 2 из 3 заданных вопросов.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области физики нейтронов.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>зачтено</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки..	–	<i>Не зачтено</i>

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по вопросам для зачета.

---

