

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«08» июля 2022 г.

Регистрационный № УД – 11034/уч.

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА  
ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности**

**1-31 04 06 Ядерные физика и технологии**

Минск, 2022

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч от 30.05.2013 г

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Н. Н. Черенда** — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**А.Л. Данилюк** — доцент кафедры микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 12 от 24.05.2022 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 10 от 26.05.2022 г.)

Заведующий кафедрой 

В.В. Углов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерная физика и технологии в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины – формирование у студентов целостных представлений о современных методах анализа элементного состава поверхностных слоев и их физических основах.

**Основные задачи** учебной дисциплины – изучение физических основ методов анализа, изучение основных методик определения элементного состава. Данные задачи выполняются непосредственно при прослушивании лекций, при самостоятельной работе с научной литературой, учебными пособиями, справочниками.

Предметом физики поверхности является изучение элементного состава и расположения атомов на поверхности твердых тел, а также теоретический и экспериментальный анализ их механических, химических и других свойств. Конечная цель исследований, как и в случае объемных твердых тел, – установить взаимосвязь между свойствами, составом и структурой. Поэтому точное определение элементного состава поверхности или поверхностного слоя некоторой толщины – необходимое условие правильной интерпретации экспериментальных данных.

Количество методов исследования поверхности постоянно растет. Поэтому в данном курсе лекций рассматриваются наиболее распространенные методы анализа элементного состава поверхностных слоев на данный момент. Рассматриваемые методы основаны на взаимодействии с поверхностью пучков электронов, ионов и фотонов.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием:

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами: дисциплина использует и развивает знания, изложенные в дисциплине «Конструкционные материалы ядерных реакторов». Знания, полученные при изучении учебной дисциплины «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев» будут использованы при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Лаборатория специализации (Неразрушающий контроль и методы механических испытаний конструкционных материалов)», а также при выполнении курсовых и дипломных работ.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

#### **Академические компетенции:**

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

#### **Социально-личностные компетенции:**

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

#### **Профессиональные компетенции:**

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

В результате изучения дисциплины студент должен:

#### **знать:**

- физические процессы, лежащие в основе современных методов анализа элементного состава;

- основные методики определения элементного состава;

- преимущества и недостатки методов, их применение;
- влияние параметров зондирующего пучка на результаты анализа;

**уметь:**

- применять основные методики определения элементного состава;
- грамотно выбирать метод анализа для решения задач в области реакторного материаловедения;
- работать самостоятельно и повышать свой профессиональный уровень;
- реализовывать комплексный подход к решению проблем в области материаловедения;
- применять базовые научно-технические знания для решения научных и прикладных задач в области реакторного материаловедения;

**владеть:**

- организовывать и проводить экспериментальные исследования используемых материалов;
- уметь применять базовые научно-технические знания для решения научных и прикладных задач в области радиационного материаловедения;
- пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой;
- осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям и проектам;
- организовывать свой собственный труд и взаимодействие с другими исполнителями;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 9 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев» отведено 90 часов, в том числе 44 аудиторных часа, из них: лекции – 36 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетных единицы. Форма итоговой аттестации – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Раздел 1. Общая характеристика методов анализа поверхности.**

Тема 1.1 Зондирование электронами. Зондирование ионами. Зондирование фотонами.

### **Раздел 2. Регистрация электронов.**

Тема 2.1 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

Тема 2.2 Оже-электронная спектроскопия.

Тема 2.3 Спектроскопия электронных потерь энергии. Другие методы анализа, основанные на регистрации электронов.

### **Раздел 3. Регистрация ионов.**

Тема 3.1 Вторично-ионная масс-спектроскопия.

Тема 3.2 Резерфордское обратное рассеяние.

Тема 3.3 Спектрометрия атомов отдачи, вылетающих вперед. Рассеяние ионов низких энергий.

Тема 3.4 Анализ выхода ядерных реакций. Другие методы анализа, основанные на регистрации ионов.

### **Раздел 4. Регистрация фотонов.**

Тема 4.1 Электронный микроанализ.

Тема 4.2 Анализ выхода рентгеновского излучения, возбуждаемого быстрыми ионами. Рентгеновская флюоресцентная спектроскопия полного отражения.

Тема 4.3 Оптическая эмиссионная спектроскопия в тлеющем разряде. Ионно-лучевой спектроскопический анализ. Анализ поверхности с помощью лазерной абляции.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
 Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы занятия	Название раздела, темы.	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Общая характеристика методов анализа поверхности.</b>							
1.1	Зондирование электронами. Зондирование ионами. Зондирование фотонами.	<b>4</b>					[1] [2]	Устный опрос, дискуссия
<b>2</b>	<b>Регистрация электронов.</b>	<b>10</b>				<b>2</b>		
2.1	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.	4					[1] [3] [4]	Устный опрос, дискуссия
2.2	Оже-электронная спектроскопия.	4					[1] [3] [4]	Устный опрос, дискуссия
2.3	Спектроскопия электронных потерь энергии. Другие методы анализа, основанные на регистрации электронов.	2				2	[1] [2]	Устный опрос, дискуссия. Контрольная работа по разделам 1-2.
<b>3</b>	<b>Регистрация ионов.</b>	<b>14</b>						
3.1	Вторично-ионная масс-спектроскопия.	4					[1] [3]	Устный опрос, дискуссия

3.2	Резерфордовское обратное рассеяние.	6					[1] [4] [5]	Устный опрос, дискуссия
3.3	Спектрометрия атомов отдачи, вылетающих вперед. Рассеяние ионов низких энергий.	2					[1]	Устный опрос, дискуссия
3.4	Анализ выхода ядерных реакций. Другие методы анализа, основанные на регистрации ионов.	2					[1] [2]	Устный опрос, дискуссия.
<b>4</b>	<b>Регистрация фотонов.</b>	<b>8</b>				<b>6</b>		Устный опрос, дискуссия
4.1	Электронный микроанализ.	4					[1] [3] [6]	Устный опрос, дискуссия.
4.2	Анализ выхода рентгеновского излучения, возбуждаемого быстрыми ионами. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия полного отражения.	2					[1]	Устный опрос, дискуссия.
4.3	Оптическая эмиссионная спектроскопия в тлеющем разряде. Ионно-лучевой спектроскопический анализ. Анализ поверхности с помощью лазерной абляции	2				6	[1]	Устный опрос, дискуссия. Контрольная работа по разделам 3-4. Защита рефератов по всему курсу.
	<b>Всего Форма текущей аттестации</b>	<b>36</b>				<b>8</b>		<b>Экзамен</b>



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### *Рекомендуемая литература*

#### **Основная**

1. Методы анализа элементного состава поверхностных слоев: пособие. / В. В. Углов, Н. Н. Черенда, В. М. Анищик. – Минск : БГУ, 2007. – 167 с.
2. Никитенков, Н. Н. Технология конструкционных материалов. Анализ поверхности методами атомной физики : учебное пособие для вузов / Н. Н. Никитенков. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 202 с.
3. Методы анализа поверхностей / под ред. А. Зандерны. М., 1979. 582 с.
4. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / под ред. Д. Бриггса, М. П. Сиха. М., 1987. 600 с.
5. Комаров, Ф. Ф. Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками / Ф. Ф. Комаров, М. А. Кумахов, И. С. Ташлыков. Минск, 1987. 256 с.
6. Рид, С. Электронно-зондовый микроанализ / С. Рид. М., 1979. 423 с.

#### **Дополнительная**

1. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар; пер. с англ. М., 1989. 564 с.
2. Шипатов, Э. Т. Обратное рассеяние быстрых ионов: теория, эксперимент, практика / Э. Т. Шипатов. Ростов н/Д., 1988. 160 с.
3. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел / под ред. Л. Фирмэнса, Дж. Вэнника, В. Декейсера. М., 1981. 467 с.
4. Chu, W. K. Backscattering spectrometry / W. K. Chu, J. W. Mayer, M.-A. Nicolet. N. Y., 1978. 384 p.
5. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок / Л. Фелдман, Д. Майер. М., 1989. 344 с.

### **Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос, дискуссия, контрольные работы, защита рефератов.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Методы анализа элементного состава поверхностных слоев» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании отметки текущей успеваемости студента используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Текущий контроль знаний по дисциплине проводится во время лекций и по итогам управляемой самостоятельной работы.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по отдельным разделам дисциплины. Оценка результатов контрольных работ проводится по десятибалльной шкале.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 90 мин. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Рейтинговая система оценки знаний обучающихся является средневзвешенной оценкой между отметками, полученными за выполнение двух контрольных работ по темам курса и отметки, полученной за подготовку и представление реферата.

Экзаменационная отметка и отметка текущей успеваемости служат для определения итоговой отметки по дисциплине ( $T_u$ ), которая рассчитывается как средневзвешенная отметка текущей успеваемости и экзаменационной отметки ( $T_э$ ):

$$T_u = 0.3T + 0.7T_э$$

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

В рамках управляемой самостоятельной работы (8 ч) студент выполняет контрольные работы по разделам 1-4, а также защищают ранее подготовленные рефераты. Контрольные работы проводятся в письменном виде и включают 2 вопроса. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа могут использоваться справочные материалы.

#### **Раздел 1. Общая характеристика методов анализа поверхности.**

#### **Раздел 2. Регистрация электронов.**

Примерный перечень вопросов:

1. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование электронами.
2. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование ионами.

3. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование фотонами.
4. Основные принципы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
5. Энергетические спектры фотоэлектронов.
6. Фотоэлектронная спектроскопия основных уровней.
7. Количественный анализ в фотоэлектронной спектроскопии.
8. Физические основы Оже-процесса.
9. Спектры Оже-электронов.
10. Выход Оже-электронов.
11. Количественная Оже-спектроскопия.
12. Изменение формы и сдвига в Оже-спектрах.
13. Спектроскопия электронных потерь энергии.

Форма контроля – контрольная работа.

### **Раздел 3. Регистрация ионов.**

### **Раздел 4. Регистрация фотонов.**

Примерный перечень вопросов:

1. Физические основы метода вторично-ионной масс-спектроскопии.
2. Масс-спектры вторичных ионов.
3. Выход и состояние эмитированных частиц в методе вторично-ионной масс-спектроскопии.
4. Количественный анализ в методе вторично-ионной масс-спектроскопии.
5. Физические основы метода Резерфордского обратного рассеяния.
6. Основные параметры метода Резерфордского обратного рассеяния.
7. Качественный анализ в методе Резерфордского обратного рассеяния.
8. Количественный анализ в методе Резерфордского обратного рассеяния
9. Определение толщины слоев методом Резерфордского обратного рассеяния.
10. Построение концентрационных профилей методом Резерфордского обратного рассеяния.
11. Анализ монокристаллов методом Резерфордского обратного рассеяния.
12. Спектрометрия атомов отдачи, вылетающих вперед.
13. Рассеяние ионов низких энергий.
14. Анализ выхода ядерных реакций.
15. Физические основы метода электронного микроанализа.
16. Количественный анализ в методе электронного микроанализа.
17. Анализ выхода рентгеновского излучения возбуждаемого быстрыми ионами.
18. Рентгеновская флюоресцентная спектроскопия полного отражения.
19. Оптическая эмиссионная спектроскопия в тлеющем разряде.

20. Ионно-лучевой спектроскопический анализ.
21. Анализ поверхности с помощью лазерной абляции.

Форма контроля – контрольная работа.

### Примерный перечень рефератов

1. Спектроскопия Оже-электронов, возбуждаемых ионами.
2. Спектроскопия Оже-электронов, возбуждаемых нейтрализуемыми ионами.
3. Спектроскопия Оже-электронов, возбуждаемых метастабильными атомами
4. Нерезерфордовское обратное рассеяние.
5. Метод масс-спектрометрии с помощью быстрых атомов.
6. Масс-спектроскопия в тлеющем разряде.
7. Атомно-эмиссионный спектральный анализ.
8. Электрохимические методы анализа элементного состава.
9. Флуоресцентный анализ.
10. Масс-спектроскопия нейтральных атомов, ионизируемых электронными и лазерными пучками.
11. Атомно-абсорбционная спектрометрия.
12. Ускорители ионов для метода обратного рассеяния.

### Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с экспериментальными методами анализа элементного состава, теоретическое рассмотрение которых проходит в процессе лекционных занятий.

При организации образовательного процесса используется *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

## **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка реферативных работ;
- подготовка к экзамену.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

Билет на экзамене включает два вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу допускается использование учебной и научной литературы. Вопросы в состав билетов выбираются из следующего примерного перечня:

1. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование электронами.
2. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование ионами.
3. Общая характеристика методов анализа поверхности: зондирование фотонами.
4. Основные принципы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.
5. Энергетические спектры фотоэлектронов.
6. Фотоэлектронная спектроскопия остовных уровней.
7. Количественный анализ в фотоэлектронной спектроскопии.
8. Физические основы Оже-процесса.
9. Спектры Оже-электронов.
10. Выход Оже-электронов.
11. Количественная Оже-спектроскопия.
12. Изменение формы и сдвига в Оже-спектрах.
13. Спектроскопия электронных потерь энергии.
14. Физические основы метода вторично-ионной масс-спектроскопии.
15. Масс-спектры вторичных ионов.
16. Выход и состояние эмитированных частиц в методе вторично-ионной масс-спектроскопии.
17. Количественный анализ в методе вторично-ионной масс-спектроскопии.
18. Физические основы метода Резерфордского обратного рассеяния.
19. Основные параметры метода Резерфордского обратного рассеяния.
20. Качественный анализ в методе Резерфордского обратного рассеяния.

21. Количественный анализ в методе Резерфордовского обратного рассеяния
22. Определение толщины слоев методом Резерфордовского обратного рассеяния.
23. Построение концентрационных профилей методом Резерфордовского обратного рассеяния.
24. Анализ монокристаллов методом Резерфордовского обратного рассеяния.
25. Спектрометрия атомов отдачи, вылетающих вперед.
26. Рассеяние ионов низких энергий.
27. Анализ выхода ядерных реакций.
28. Физические основы метода электронного микроанализа.
29. Количественный анализ в методе электронного микроанализа.
30. Анализ выхода рентгеновского излучения возбуждаемого быстрыми ионами.
31. Рентгеновская флюоресцентная спектроскопия полного отражения.
32. Оптическая эмиссионная спектроскопия в тлеющем разряде.
33. Ионно-лучевой спектрохимический анализ.
34. Анализ поверхности с помощью лазерной абляции.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Конструкционные материалы ядерных реакторов	Кафедра физики твердого тела	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 24.05.2022 г.)
Лаборатория специализации «Неразрушающий контроль и методы механических испытаний конструкционных материалов»	Кафедра физики твердого тела	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 24.05.2022 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
физики твердого тела  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_

В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
канд.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

М.С.Тиванов