

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Экспериментальные методы исследования наноструктур
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

- лекции: 0 час.
- семинары: 60 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.Н. Денисов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии наноструктур 26.12.2023

## Аннотация

Курс "Экспериментальные методы исследования наноструктур" представляет собой введение в современные методы исследования фундаментальных физических и химических свойств материалов: элементный состав, химические связи, микро- и наноструктура. Дается понятие о типах материалов и адекватных для них методик исследования. Рассматриваются современные технологии создания наноструктурных материалов и методики контроля получения наноструктурных материалов *in-situ*. Обсуждается вопрос о взаимодействии исследуемого материала с зондирующим объектом (фотоном, электроном и другими заряженными частицами), результатах взаимодействия (поглощение, рассеяние, возбуждение колебательных и электронных переходов, нелинейные процессы) и информация о свойствах материала, полученных в результате анализа такого взаимодействия. Проводится сравнение основных характеристик методик: пространственное разрешение, пределы детектирования, точность, деструктивное воздействие на анализируемый материал. Подробно рассматриваются методики микроскопии, позволяющие получать картографию образцов: оптическая, электронная и сканирующая зондовая микроскопия. Приводятся методики элементного, структурного и химического анализа наноструктурных материалов, как объемных образцов, так и их поверхностей: масс спектроскопия и хроматография; оптическая спектроскопия электронных и колебательных переходов; рентгеновская спектроскопия, топография и дифрактометрия; спектроскопия магнитных электронных и ядерных резонансов. В курсе содержится большое количество примеров применения методик к исследованию наноструктурных материалов.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- знакомство студентов с современными физическими методами исследования различных, как конструкционных, так и функциональных, наноструктурированных материалов.

#### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области современных физических исследований наноструктурированных материалов как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов методиками исследования при решении конкретных экспериментальных задач при исследовании наноструктурированных материалов;
- формирование знаний для понимания сути явления и процессов, происходящих при исследовании тех или иных свойств наноструктурированных материалов на элементарном уровне.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
 современные проблемы физики, химии, математики;  
 теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
 принципы симметрии и законы сохранения;  
 новейшие открытия естествознания;  
 постановку проблем физико-химического моделирования;  
 о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук;  
 современные технологии создания наноструктурных материалов.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
 представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
 работать на современном экспериментальном оборудовании;  
 абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
 научной картиной мира;  
 навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;  
 математическим моделированием физических задач;  
 методиками исследования наноструктурных материалов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Зондирующие и детектируемые объекты		5		3
2	Материалы и их характеристика		5		3
3	Методы исследования микро - и наноструктур		5		2
4	Методы исследования поверхности и границ раздела материалов		5		2
5	Обработка информации; основные характеристики методик		5		3
6	Химический состав материалов		5		2
7	Микроскопия и получение изображений		15		7
8	Элементный и структурный анализ объема и поверхности		15		8
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

## 1. Зондирующие и детектируемые объекты

Фотоны: от  $\gamma$ -излучения до радиоволн, сравнительная шкала электромагнитного излучения. Спектральный диапазон длин волн различных источников света. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом: поглощение, рассеяние, отражение, преломление, нелинейные эффекты. Классификация фотодетекторов и спектральный диапазон их применения.

Частицы: электроны, протоны, нейтроны, быстрые частицы. Взаимодействие электронов с веществом. Электрон-столкновительные (ионизация и возбуждение атомов) и радиационные (тормозное излучение) механизмы потери энергии электронов в веществе. Упругое и неупругое рассеяние электронов в веществе. Прохождение электронов через вещество. Процессы, возникающие при взаимодействии быстрых частиц с веществом.

## 2. Материалы и их характеристика

Схема характеристики материалов. Классификация материалов. Элементарные характеристики материалов: элементный состав, химические связи, структура. Типы кристаллических решеток. Дефекты кристаллической решетки. Масштабная сравнительная шкала материалов: макро-, микро- и наноструктуры. Свойства материалов. Способы получения материалов. Роль поверхности и границ раздела материалов. Методы характеристики материалов.

## 3. Методы исследования микро - и наноструктур

Методы дифракции и рассеяния. Основы кристаллической дифракции. Микроскопия и топография. Общие принципы: увеличение, разрешение, аберрации. Оптическая микроскопия: интерференционная микроскопия, лазерная сканирующая конфокальная микроскопия (LSCM) и флуоресцентная микроскопия с полным внутренним отражением (TIRFM). Просвечивающая электронная микроскопия (TEM): двух волновая дифракция, слабый пучок и высокое разрешение (HRTEM). Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия (STEM): высокоугловая кольцевая темнопольная (HAADF-STEM). Сканирующая электронная микроскопия (SEM): вторичных электронов (SEM-SE), катодолюминесценция (SEM-CL), наведенный электронным пучком ток (SEM-EBIC), электронно-зондовый микроанализ (EPMA). Рентгеновская топография (XRT). Сканирующая зондовая микроскопия (SPM): сканирующая туннельная микроскопия (STM), атомно-силовая микроскопия (AFM). Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (SNOM). Полевая ионная микроскопия (FIM). Сравнение различных микроскопических методик. Оптическая спектроскопия: инфракрасного поглощения, Рамановское рассеяние. Спектроскопия магнитных резонансов: ЯМР и ЭПР. Электронная спектроскопия: спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (EELS), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS), Оже - спектроскопия (AES). Анализ кристаллических и аморфных структур. Анализ дефектов решетки и примесей. Анализ молекулярных структур. Анализ фазовых распределений, текстур и конечных структур.

## 4. Методы исследования поверхности и границ раздела материалов

Основные методы анализа химического состава поверхности: Оже - спектроскопия, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, масс спектрометрия вторичных ионов (SIMS). Динамическая и статическая масс спектрометрия вторичных ионов. Времяпролетная масс спектрометрия вторичных ионов (TOF-SIMS). Поверхность и наноанализ. Сравнение методов для анализа поверхности материалов. Измерение профиля распределения элементов или примесей по глубине образца с помощью ионно-плазменного травления поверхности.

Анализ топографии поверхности. Зондовая профилометрия. Строение поверхности. Оптическая зондовая профилометрия. Интерференционная микроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия (SEM).

## 5. Обработка информации; основные характеристики методик

Информация, получаемая при изучении результатов взаимодействия зондирующих объектов с веществом. Сравнительная таблица аналитических методик исследования. Пределы детектирования. Точность методик. Пространственное разрешение методик, разрешение методик по глубине исследуемого материала. Деструктивное влияние зондирующего объекта на анализируемый материал: разогрев, ионизация, нарушение структуры, аморфизация. Разрушающие и неразрушающие методики. Абсолютные и относительные методы, калибровочные образцы.

## 6. Химический состав материалов

Химический состав объема. Масс спектрометрия: индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS), тлеющего разряда (GD-MS). Молекулярная спектроскопия: УФ/Видимая спектроскопия молекулярного поглощения, флуоресцентная/ фосфоресцентная спектроскопия, Рамановская спектроскопия, ИК спектроскопия. Количественная протонно-ядерная магниторезонансная спектроскопия ( $^1\text{H}$  QNMR). Атомная спектроскопия: спектроскопия атомного поглощения (AAS), атомная эмиссионная спектроскопия индуктивно-связанной плазмы (ICP-AES), искровая оптическая эмиссионная спектрометрия (Spark OES), оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда (GD OES). Рентгеновская флуоресценция (XRF). Ядерные аналитические методы: нейтронный активационный анализ (NAA), мгновенный гамма активационный анализ (PGAA), нейтронный профиль глубины (NDP), фотонный активационный анализ (PAA), анализ активации заряженными частицами (CPAA), рентгеновское излучение, наведенное частицами (PIXE). Хроматографические методы: газовая хроматография (GC), жидкостная хроматография (LC), жидкостная хроматография/масс спектрометрия (LC/MS).

Микроаналитическая химическая характеристика. Аналитическая электронная микроскопия: энерго-дисперсионная рентгеновская спектрометрия (XEDS), спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (EELS). Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ (EPMA): энерго-дисперсионная спектрометрия (EDS), спектрометрия с диспергированием по длинам волн (WDS). Сканирующая Оже - спектроскопия. Экологическая сканирующая электронная микроскопия (ESEM). ИК и Раман микроанализ.

Семестр: 2 (Весенний)

## 7. Микроскопия и получение изображений

Общие принципы: увеличение, разрешение, абберации. Оптическая микроскопия. Электронная микроскопия (SEM, TEM, STEM, FIB). Сканирующая зондовая микроскопия (AFM, SFM). Особенности исследования нано-объектов и нано-структурированных материалов

## 8. Элементный и структурный анализ объема и поверхности

Анализ оптических и рентгеновских спектров испускания при возбуждении анализируемого материала фотонами, электронами, быстрыми частицами (PL, LIF, CL, XRF, XPS, XRR, XPD, ICP-OES, LEXES). Рассеяние и поглощение оптических фотонов (Raman, FT-IR). Дифракция и поглощение рентгеновских лучей (XRD). Дифракция и поглощение электронов (AED, EELS, LEED, IETS, RHEED). Эллипсометрия (VASE) и оптическая рефлектометрия. Модуляционная спектроскопия. Спектроскопия разностного отражения (RDS). Особенности исследования нано-объектов и нано-структурированных материалов. Сравнение методик по основным характеристикам. (6 час.)

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

## Основная литература

1. Новейшие датчики/ Джексон Р. Г., 2-е изд., доп., Москва: Техносфера, 2008. - 400с. ISBN 978-5-94836-168-0.
2. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие. 2-е изд., испр. / Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С. В., СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 336 с: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 078-5-8114-0827-В.
3. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники/ Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Рюеда Ф., Москва: Техносфера, 2007. - 368с. ISBN 978-5-94836-126-0.

## Дополнительная литература

1. Horst Czichos, Tetsuya Saito, Leslie Smith (Eds.), Springer Handbook of Materials Measurement Methods, Springer Science Business Media, Inc., 2006.
2. Günter Gauglitz and Tuan Vo-Dinh (Eds.), Handbook of Spectroscopy, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003.
3. Bharat Bhushan (Ed.), Springer Handbook of Nanotechnology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
4. B.E.A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007.
5. C.N.R Rao, A. Muller, A.K. Cheetham (Eds.), Nanomaterials Chemistry, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim, 2007.
6. C.Grupen and B.A. Shwartz, Partiel Detectors, Second Edition, Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK, 2008.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Доступные через Internet научные и научно-технические журналы, электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

Таблицы и материалы Evans Analytical Group (EAG) (<http://www.eaglabs.com>). Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам Physica Status Solidi b, Physical Review, J.Appl,Phys.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

не предусмотрены.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Н. Денисов, канд. физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы исследования наноструктур» обучающийся должен:

### знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
современные проблемы физики, химии, математики;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
новейшие открытия естествознания;  
постановку проблем физико-химического моделирования;  
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук;  
современные технологии создания наноструктурных материалов.

### уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

### владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной мира;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;  
математическим моделированием физических задач;  
методиками исследования наноструктурных материалов.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету в осеннем семестре:

- 1) Элементарные характеристики материалов: элементный состав, химические связи, структура
- 2) Дефекты кристаллической структуры

- 3) Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом
- 4) Сравнительная таблица аналитических методик исследования
- 5) Пределы детектирования. Разрешение методик по глубине исследуемого материала
- 6) Оптическая спектроскопия
- 7) Типы переходов, исследуемых методами оптической спектроскопии
- 8) УФ, Видимое и ИК поглощение
- 9) Закон Бира-Ламберта
- 10) Спектры поглощения в твердом теле
- 11) Комбинационное рассеяние света (КРС). Правила отбора. Способы повышения чувствительности КРС (Резонансное КРС, SERS, CARS)
- 12) Как определить размер кристаллитов в графите по спектрам КРС
- 13) Проявление наноразмерности в оптической спектроскопии
- 14) Фотолюминесценция: флуоресценция и фосфоресценция
- 15) Правило зеркальной симметрии. Чувствительность метода
- 16) Как отличить фотолюминесценцию от комбинационного рассеяния света
- 17) Углеродные наноструктуры: фуллерены, нанотрубки и графены. Их спектральные характеристики
- 18) Как по спектрам КР определить диаметр нанотрубок и отличить металлические нанотрубки от полупроводящих
- 19) Нелинейная спектроскопия. Генерация второй гармоники
- 20) Когерентное антистоксовское комбинационное рассеяние (CARS)
- 21) Гиперкомбинационное рассеяние (ГКР)
- 22) Отличие правил отбора КР и ГКР в centrosymmetric средах
- 23) Проявление точечных и планарных дефектов в оптической спектроскопии
- 24) Оптическая микроскопия. Общие принципы: увеличение, разрешение, аберрации
- 25) Методы оптической микроскопии: интерференционная, лазерная сканирующая конфокальная
- 26) Поляризационная микроскопия
- 27) Флуоресцентная микроскопия
- 28) Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (SNOM)
- 29) Просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ): двух волновая дифракция, слабый пучок и высокое разрешение (HRTEM)
- 30) Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия (STEM): высокоугловая кольцевая темнопольная (HAADF-STEM)
- 31) Сканирующая электронная микроскопия (SEM): вторичных электронов (SEM-SE), катодоллюминесценция (SEM-CL), наведенный электронным пучком ток (SEM-EBIC)
- 32) Электронно-зондовый микроанализ (EPMA)
- 33) Сканирующая зондовая микроскопия (SPM): сканирующая туннельная микроскопия (STM)
- 34) Атомно-силовая микроскопия (AFM)
- 35) Рентгеновская флуоресценция (XRF)
- 36) Энерго-дисперсионная рентгеновская спектрометрия (EDS)
- 37) Спектрометрия с диспергированием по длинам волн (WDS)
- 38) Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (EELS)
- 39) Атомная спектроскопия: спектроскопия атомного поглощения (AAS)
- 40) Атомная эмиссионная спектроскопия индуктивно-связанной плазмы (ICP-AES)
- 41) Искровая оптическая эмиссионная спектрометрия (Spark OES)
- 42) Оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда (GD OES)
- 43) Масс спектрометрия: индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS), тлеющего разряда (GD-MS), масс спектрометрия вторичных ионов (SIMS)
- 44) Искровая масс спектрометрия, SSMS (Spark Source Mass Spectrometry). Времяпролетная масс спектрометрия вторичных ионов (TOF-SIMS)
- 45) Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS), Оже - спектроскопия (AES)
- 46) Спектроскопия магнитных резонансов: ЯМР и ЭПР
- 47) Дифракция Рентгеновских Лучей (XRD)
- 48) Дифракция на монокристаллах (Single-crystal X-ray diffraction)

- 49) Дифракция на порошках (Powder diffraction)
- 50) Дифракция при скользющем падении (Grazing incidence XRD)
- 51) Дифракция высокого разрешения (High-resolution XRD)
- 52) Рентгеновский анализ полюсных фигур (X-ray pole-figure analysis)
- 53) Рентгеновский анализ кривой качания (X-ray rocking curve analysis)
- 54) Рентгеновская топография (XRT)
- 55) Проявление линейных и планарных дефектов в рентгеновской топографии
- 56) Ориентация кристаллов методом рентгеновской топографии в белом излучении
- 57) Анализ кристаллических и аморфных структур
- 58) Анализ дефектов решетки и примесей
- 59) Сравнение методов для анализа поверхности материалов
- 60) Измерение профиля распределения элементов или примесей по глубине образца с помощью ионно-плазменного травления поверхности

Вопросы к дифференцированному зачету в весеннем семестре:

1. Элементарные характеристики материалов: элементный состав, химические связи, структура. Дефекты кристаллической структуры.
2. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом.
3. Сравнительная таблица аналитических методик исследования. Пределы детектирования. Разрешение методик по глубине исследуемого материала.
4. Оптическая спектроскопия. Типы переходов, исследуемых методами оптической спектроскопии.
5. УФ, Видимое и ИК поглощение. Закон Бира-Ламберта. Спектры поглощения в твердом теле.
6. Комбинационное рассеяние света (КРС). Правила отбора. Способы повышения чувствительности КРС (Резонансное КРС, SERS, CARS).
7. Как определить размер кристаллитов в графите по спектрам КРС?
8. Проявление наноразмерности в оптической спектроскопии.
9. Фотолюминесценция: флуоресценция и фосфоресценция. Правило зеркальной симметрии. Чувствительность метода.
10. Как отличить фотолюминесценцию от комбинационного рассеяния света?
11. Углеродные наноструктуры: фуллерены, нанотрубки и графены. Их спектральные характеристики.
12. Как по спектрам КР определить диаметр нанотрубок и отличить металлические нанотрубки от полупроводящих?
13. Нелинейная спектроскопия. Генерация второй гармоники. Когерентное антистоксовское комбинационное рассеяние (CARS).
14. Гиперкомбинационное рассеяние (ГКР). Отличие правил отбора КР и ГКР в centrosymmetric средах.
15. Проявление точечных и планарных дефектов в оптической спектроскопии.
16. Оптическая микроскопия. Общие принципы: увеличение, разрешение, aberrations.
17. Методы оптической микроскопии: интерференционная, лазерная сканирующая конфокальная, поляризационная и флуоресцентная микроскопии.
18. Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (SNOM).
19. Просвечивающая электронная микроскопия (TEM): двух волновая дифракция, слабый пучок и высокое разрешение (HRTEM).
20. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия (STEM): высокоугловая кольцевая темнопольная (HAADF-STEM).
21. Сканирующая электронная микроскопия (SEM): вторичных электронов (SEM-SE), катодолюминесценция (SEM-CL), наведенный электронным пучком ток (SEM-EBIC), электронно-зондовый микроанализ (EPMA).
22. Сканирующая зондовая микроскопия (SPM): сканирующая туннельная микроскопия (STM), атомно-силовая микроскопия (AFM).
23. Рентгеновская флуоресценция (XRF). Энерго-дисперсионная рентгеновская спектрометрия (EDS), спектрометрия с диспергированием по длинам волн (WDS).
24. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (EELS).

25. Атомная спектроскопия: спектроскопия атомного поглощения (AAS), атомная эмиссионная спектроскопия индуктивно-связанной плазмы (ICP-AES), искровая оптическая эмиссионная спектрометрия (Spark OES), оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда (GD OES).
26. Масс спектрометрия: индуктивно-связанной плазмы (ICP-MS), тлеющего разряда (GD-MS), масс спектрометрия вторичных ионов (SIMS). Искровая масс спектрометрия, SSMS (Spark Source Mass Spectrometry). Времяпролетная масс спектрометрия вторичных ионов (TOF-SIMS).
27. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS), Оже - спектроскопия (AES).
28. Спектроскопия магнитных резонансов: ЯМР и ЭПР.
29. Дифракция Рентгеновских Лучей (XRD). Дифракция на монокристаллах (Single-crystal X-ray diffraction). Дифракция на порошках (Powder diffraction). Дифракция при скользющем падении (Grazing incidence XRD).
30. Дифракция высокого разрешения (High-resolution XRD). Рентгеновский анализ полюсных фигур (X-ray pole-figure analysis). Рентгеновский анализ кривой качания (X-ray rocking curve analysis).
31. Рентгеновская топография (XRT). Проявление линейных и планарных дефектов в рентгеновской топографии.
32. Ориентация кристаллов методом рентгеновской топографии в белом излучении.
33. Анализ кристаллических и аморфных структур. Анализ дефектов решетки и примесей.
34. Сравнение методов для анализа поверхности материалов. Измерение профиля распределения элементов или примесей по глубине образца с помощью ионно-плазменного травления поверхности.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении дифференциального зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.