

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра нанокompозитных материалов**



Рабочая программа дисциплины

ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Диагностика структуры углеродных наноматериалов» предназначен для приобретения магистрантами системы знаний, навыков и умений в постановке и решении задач, связанных с диагностикой структуры углеродных наноматериалов современными спектроскопическими и микроскопическими методами.

Для достижения этой цели выделяются задачи курса:

- обобщение сведений об электродинамике, квантовой механике и теории строения вещества, необходимых для анализа физических основ взаимодействия оптического и рентгеновского излучения с веществом на микро- и наноровнях;
- освоение общего подхода к описанию электронного строения вещества в основном и возбужденных состояниях, оптических и рентгеновских переходов в молекулярных структурах и твердых телах различной размерности;
- применение данного подхода к описанию строения углеродных наноматериалов и особенностей взаимодействия излучения разными типами углеродных наноструктур;
- обучение навыкам практического применения полученных теоретических знаний в решении задач, связанных с диагностикой атомной структуры и электронного строения углеродных наноматериалов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные характеристики оптических, рентгеновских и рентгеноэлектронных спектров основных углеродных форм и углеродных наноматериалов.</p> <p>Уметь предсказывать и объяснять на основе оптических и рентгеновских спектров поглощения, флуоресценции и комбинационного рассеяния света особенностей строения углеродных материалов;</p> <p>Владеть представлениями об особенностях измерения оптических спектров, рентгеноэлектронных и рентгеновских спектров, спектров комбинационного рассеяния и особенностями интерпретации спектров углеродных наноструктур.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Диагностика структуры углеродных наноматериалов» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»). Дисциплина «Диагностика структуры углеродных наноматериалов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Дисциплина должна предшествовать выполнению магистерской диссертации т.к. дает магистранту необходимые знания и навыки о диагностике

структуры углеродных наноматериалов современными спектроскопическими и микроскопическими методами.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа магистранта и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, домашние задания, контрольная работа, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 22 часов;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Диагностика структуры углеродных наноматериалов» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в осеннем семестре 1 курса. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включающая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Атомная и электронная структура аллотропных модификаций углерода. Оптические методы анализа. Электронная и рентгеновская спектроскопия. Микроскопические методы анализа.	1-4	13	4	4	5	
2	Экспериментальные и теоретические методы исследования электронной структуры материалов. Основные закономерности электронного строения и свойств углеродных наноматериалов.	5-8	12	4	4	4	
3	Методы оптической спектроскопии для исследования строения углеродных наноматериалов. Приложение для УНТ. Приложение для графена.	9-12	13	4	4	5	
4	Методы высокоэнергетической спектроскопии. Методы электронной спектроскопии. Основы спектроскопии рентгеновского поглощения. Лабораторные спектрометры для регистрации рентгеновских и фотоэлектронных спектров.	13-14	6	2	2	2	
5.	Микроскопические методы исследования строения углеродных наноматериалов. Просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия. Открытие зондовой микроскопии, туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия (АСМ).	15-16	6	2	2	2	
6.	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
7	Групповая консультация		2				2
8.	Экзамен		2				2
Всего			72	16	16	18	24

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Модуль 1.

1. Атомная и электронная структура аллотропных модификаций углерода: графита, алмаза, фуллеренов, графена (бесконечного листа и нанорипонов) и углеродных нанотрубок. Цель данного раздела – познакомить студентов со всем разнообразием углеродных наноструктур и особенностями их структуры и электронного строения, и свойств.

2. Оптические методы анализа: оптическая спектроскопия поглощения, инфракрасная спектроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния света, люминесцентные методы анализа, нелинейные оптические эффекты, взаимодействие с терагерцовым и микроволновым излучением. Цель данного раздела – познакомить студентов с имеющимися методами определения атомной и электронной структуры, использующими фотоны оптического и более низкоэнергетических диапазонов.

3. Электронная и рентгеновская спектроскопия: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, Оже-спектроскопия, спектроскопия рентгеновского поглощения (EXAFS и NEXAFS), рентгеновская флуоресцентная спектроскопия, рентгеновская эмиссионная спектроскопия, рентгеновская дифракция. Принципиальные отличия между лабораторными приборами и источниками высокой интенсивности (синхротроны и лазеры на свободных электронах). Цель данного раздела – познакомить студентов с принципами методов, методиками эксперимента и обработкой экспериментальных данных.

4. Микроскопические методы анализа: сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия, спектроскопия энергетических потерь электронов, электронная дифракция, атомно-силовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, сканирующая туннельная спектроскопия, поверхностно усиленные методы исследования. Цель данного раздела – познакомить студентов с методами, обладающими наивысшим пространственным разрешением.

Модуль 2.

1. Экспериментальные и теоретические методы исследования электронной структуры материалов. Электронная структура и спектры углеродных материалов. Влияние особенностей атомного строения углеродных наноматериалов на электронные свойства.

2. Основные закономерности электронного строения и свойств углеродных наноматериалов. Электронная структура и свойства углеродных наноматериалов, химическая связь и зонная теории твердых тел, деление твердых тел на проводники, полупроводники и диэлектрики, электропроводность металлов и полупроводников, собственная и примесная проводимость полупроводников.

Модуль 3.

1. Методы оптической спектроскопии для исследования строения углеродных наноматериалов. Оптические переходы, возбужденные состояния. Оптическое поглощение, люминесценция, нелинейные оптические свойства. Теоретические основы; молекулярные спектры поглощения, испускания, рассеяние света, поляризация и оптическая активность; спектрофотометрия, способы определения концентрации веществ, спектроскопия отражения; люминесцентные метод, виды люминесценции; ИК- и рамановская (комбинационного рассеяния) спектроскопия, колебательные и вращательные спектры.

2. Приложение для УНТ. Номенклатура УНТ, зависимость электропроводности от структуры, структура зоны Бриллюэна УНТ. Синтез УНТ, однослойные и многослойные УНТ. Синтез массивов УНТ. Дефекты УНТ, допированные УНТ. Основные свойства УНТ и потенциал приложения в электронике, композиционных материалах, автоэмиссионные катоды, электрохимические электроды. Неуглеродные нанотрубки.

3. Приложение для графена. Графен, методы синтеза и электронное строение, линейный закон дисперсии. Двухмерные электронные свойства, квантовый эффект Холла. Химические свойства графена. Потенциал применения в электронике, оптике и химии.

Модуль 4.

1. Методы высокоэнергетической спектроскопии для исследования строения углеродных наноматериалов. Методы рентгеновской спектроскопии, высокоразрешённая рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия с использованием синхротронного излучения.

2. Методы электронной спектроскопии. Физические основы фотоэлектронной спектроскопии. Количественный и качественный анализ наноматериалов методом фотоэлектронной спектроскопии. Исследование электронной структуры методом фотоэлектронной спектроскопии. Поверхностная чувствительность фотоэлектронных спектров. Оже-электронная спектроскопия.

3. Основы спектроскопии рентгеновского поглощения. Связь электронной структуры углеродных наноматериалов с рентгеновскими спектрами поглощения. Ближняя и дальняя тонкая структура рентгеновских спектров поглощения. Рентгеновская эмиссионная спектроскопия.

4. Лабораторные спектрометры для регистрации рентгеновских и фотоэлектронных спектров. Характеристики синхротронного излучения и применение синхротронного излучения для исследования углеродных наноматериалов.

Модуль 5.

1. Микроскопические методы исследования строения углеродных наноматериалов. Оптический предел. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Виды электронной микроскопии и сопутствующие методы. Устройство микроскопа.

2. Просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия. Темнопольные детекторы. Виды aberrаций и борьба с ними. Принципы CS и SS коррекции в современных электронных микроскопах. Спектроскопия энергетических потерь электронов. Радиационные повреждения образцов. Томография.

3. Сканирующая электронная микроскопия. Иммерсионный режим. Дополнительные детекторы. ЭДС. Ионные микроскопы. Использование FIB для подготовки образцов.

4. Открытие зондовой микроскопии, туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия (АСМ). Микроскопия электростатических и магнитных сил. Сканирующая туннельная спектроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия высокого разрешения

Программа практических занятий (16 часов)

1. Вводная часть. Определение углеродных наноматериалов, классификация функциональных материалов по свойствам и функциям; классификация функциональных неорганических материалов по составу, структуре, свойствам и областям применения. структурная иерархия материалов; многофункциональные материалы, физико-химические принципы конструирования новых материалов.

Модуль 1.

1. Типы химической связи и их основные отличительные признаки (связываемые атомы, характер элементов, процесс в электронной оболочке, образующие частицы, кристаллическая решётка, характер вещества, примеры): ионная, ковалентная, металлическая; зонная теории твердых тел: основные принципы, деление твердых тел на проводники, полупроводники и диэлектрики, электропроводность металлов и полупроводников, собственная и примесная проводимость полупроводников.

2. Методы оптической спектроскопии; теоретические основы; молекулярные спектры поглощения, испускания, рассеяние света, поляризация и оптическая активность; спектрофотометрия, способы определения концентрации веществ, спектроскопия отражения; люминесцентные метод, виды люминесценции; ИК- и рамановская (комбинационного рассеяния) спектроскопия, колебательные и вращательные спектры. Основные понятия физики оптических явлений; отражение, преломление, поглощение и пропускание монохроматического излучения; линзы, френелевские пластинки, голография. Люминесцентные материалы.

3. Типы гибридизации связей в углеродных материалах; аллотропные формы углерода; условия существования различных форм углерода, алмаз: кристаллическая решетка и элементар-

ная ячейка, кристаллические формы, примеси, физический механизм теплопроводности, механические свойства, метастабильность алмаза, переход алмаза в графит; графит: кристаллическая структура, обратная и прямая решетки, зонная структура графена и графита.

4. Фуллерены, структура C₆₀, C₇₀, методы синтеза, электронное строение и электронные свойства. Твердая фаза, фуллериты и фуллериды, кристаллическая структура и свойства, сверхпроводимость. Химия фуллеренов, гидриды и галогениды C₆₀, полимеры на основе C₆₀, эндофуллерены.

5. Типы гибридизации связей в углеродных материалах; аллотропные формы углерода; условия существования различных форм углерода, алмаз: кристаллическая решетка и элементарная ячейка, кристаллические формы, примеси, физический механизм теплопроводности, механические свойства, метастабильность алмаза, переход алмаза в графит; графит: кристаллическая структура, обратная и прямая решетки, зонная структура графена и графита.

Модуль 2.

1. Электроны в твердом теле, зонная структура и электронный транспорт: диэлектрики, металлы и полупроводники. Формирование зон в приближении слабой и сильной связи; заполнение зон и типы материалов; уровень Ферми и поверхность Ферми; объем одного состояния в k-пространстве; электронная проводимость; движение электронов в магнитном поле; электроны и дырки; типы орбиталей и связанные с ними особенности электронного транспорта; основные свойства диэлектриков, металлов и полупроводников.

2. Углеродные нанотрубки (УНТ), синтез, строение, свойства. Номенклатура УНТ, зависимость электропроводности от структуры, структура зоны Бриллюэна УНТ. Синтез УНТ, однослойные и многослойные УНТ. Синтез массивов УНТ. Дефекты УНТ, допированные УНТ. Основные свойства УНТ и потенциал приложения в электронике, композиционных материалах, автоэмиссионные катоды, электрохимические электроды. Неуглеродные нанотрубки.

Модуль 3.

1. Приборы и полупроводниковые элементы на основе УНТ и графена. Использование FIB для нанесения веществ и роста сложных структур.

2. Исследование механических свойств при помощи зондовых методов анализа. Манипулирование веществом при помощи зондовой микроскопии. Оптические методы в АСМ.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольной работе	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. А.Вест. Химия твердого тела. М.: Мир, 1988, т.1,2. (47 экз.)
2. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан ; пер. с англ. под ред. С.Л. Баженова ; с доп. О.В. Егоровой. Москва : Техносфера, 2004. 377 с. (18 экз.)
3. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии, Москва: Техносфера. 2004 (5 экз.)
4. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. – М.: Мир, 1989. (2 экз)
5. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Ф. Третьяков. Химия твердого тела, Изд. Центр «Академия» 2006. (1 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

Не используется.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том числе стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения контрольной работы, самостоятельно подготовленных магистрантами сообщений по заданным темам и доложенных на практических занятиях. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные характеристики оптических, рентгеновских и рентгено-электронных спектров основных углеродных форм и углеродных наноматериалов.	Проведение контрольных работ, экзамен

<p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Уметь предсказывать и объяснять на основе оптических и рентгеновских спектров поглощения, флуоресценции и комбинационного рассеяния света особенностей строения углеродных материалов; Владеть представлениями об особенностях измерения оптических спектров, рентгеноэлектронных и рентгеновских спектров, спектров комбинационного рассеяния и особенностями интерпретации спектров углеродных наноструктур.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен</p>
---	--	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Диагностика структуры углеродных наноматериалов».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Перечень контрольных заданий и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень вопросов для контрольной работы:

1. Методы синтеза фуллеренов. Строение молекулы C₆₀, C₇₀. Кристаллическая структура и электрофизические свойства фуллерита.
2. Структура и основные электронные свойства графена.
3. Электрофизические и оптические свойства углеродных нанотрубок.
4. Используя терминологию электронных состояний в K-пространстве и поверхности Ферми, качественно описать процессы электропроводности, электросопротивления и движения электронов в магнитном поле, эффект Холла.
5. Дисперсионные зависимости для электронов в твердом теле, уровень Ферми и поверхность Ферми. Форма поверхности Ферми в простейших случаях одно-, двух-, и трехмерных систем.
6. Опишите основные экспериментальные методы исследования наноматериалов.
7. Особенности электронной структуры C₆₀. Магнитные и сверхпроводящие свойства фуллеренов и фуллеридов.

Перечень тем для самостоятельной подготовки:

1. Методы синтеза и номенклатура углеродных нанотрубок.
2. Основные виды химической связи (между какими частицами действует, механизм, энергия, направленность, насыщаемость, характерные КЧ).
3. Электрофизические и оптические свойства углеродных нанотрубок.
4. Определение аллотропии. Классификация углеродных материалов в зависимости от степени гибридизации составляющих атомов.
5. Определение гибридизации атомов. Опишите 2 способа определения типа гибридизации атомов углерода (по углам, по типу связи).

Перечень вопросов, выносимых на экзамен

1. Дифракционный предел. Классификация излучения в зависимости от энергии. Методы исследования вещества и их масштаб.
2. Взаимодействие вещества с электронным пучком. Электронная микроскопия и сопутствующие методы анализа.
3. Устройство электронного микроскопа. ПЭМ и СЭМ. Коррекция аберраций.
4. Радиационное повреждение материалов, сопутствующее загрязнение. Устойчивость материалов.
5. Принципы зондовой микроскопии. Атомно-силовая и сканирующая туннельная микроскопия.
6. Исследование физических свойств при помощи зондовых методов анализа.
7. Манипулирование веществом при помощи зондовых методов анализа.
8. Уравнение фотоэффекта. Фотоэлектронные спектры внутренних и валентных уровней. Интенсивность фотоэлектронных спектров. Угловая, энергетическая и поляризационная зависимости интенсивности фотоэлектронных спектров.
9. Поверхностная чувствительность метода фотоэлектронной спектроскопии. Количественный и качественный анализ методом фотоэлектронной спектроскопии. Многоэлектронные эффекты в фотоэлектронных спектрах.
10. Оже-эффект. Применение метода оже электронной спектроскопии для анализа поверхности.

11. Рентгеновская спектроскопия поглощения. Ближняя и дальняя тонкая структура рентгеновских спектров поглощения. Использование рентгеновских спектров поглощения для изучения электронной структуры и строения углеродных наноматериалов.
12. Рентгеновские эмиссионные спектры.
13. Характеристики синхротронного излучения. Использование синхротронного излучения для исследований углеродных наноматериалов.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. 2. 3.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
дисциплины «Диагностика структуры углеродных наноматериалов»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного