



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЕиС

И.Ю. Мезин

30.01.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНДЕНСИРОВАННОГО  
УГЛЕРОДА И НАНОУГЛЕРОДА**

Научная специальность  
1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГТ (приказ Минобрнауки России от-  
20.10.2021 г. № 951)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
16.01.2023, протокол № 4

И.о.зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.В. Мавринский

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
30.01.2023 г. протокол № 5

Председатель \_\_\_\_\_ И.Ю. Мезин

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры Физики, канд. физ.-мат. наук \_\_\_\_\_ Г.А.Дубский

Рецензент:

зав. кафедрой ВТиП, д-р техн. наук \_\_\_\_\_

О.С.Логунова

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

### 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины «Структуры и физические свойства конденсированного углерода и наноуглерода» является: изучение закономерностей формирования структуры и свойств углеродных материалов и углеродных наноструктур.

### 2 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Структуры и физические свойства конденсированного углерода и наноуглерода» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

КНС-1	Способен свободно владеть фундаментальными и прикладными разделами физики и математики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач по физике конденсированного состояния, в том числе и по физике наноструктурных объектов
КНС-3	Способен планировать, организовывать, проводить исследование и анализировать полученные научные результаты по направлению физика конденсированного состояния
КНС-4	Способен применять на практике навыки составления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов, написания статей по направлению физика конденсированного состояния и смежным направлениям

### 3. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 42 акад. часов;
- аудиторная – 42 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 30 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)		Самостоятельная работа студента	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Лек.	практ. зан.		
1. Углеродные наноструктуры					
1.1 Общая характеристика наноматериалов и нанотехнологий	3	2		4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.2 Фундаментальные явления в наноструктурах		2	4	4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.3 Атом углерода и его валентные состояния.		2	2/1И	4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.4 Характеристика углерод-углеродных связей. Диаграмма состояний углерода.		2	2/1И	4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.5 Структура углерода: алмаз, графит, карбин.		2	2/2И	4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.6 Фуллерены. Нанотрубки.		2	2/1И	4	Устный опрос.Выполнение практических работ.
1.7 Структура переходных форм конденсированного углерода		2	2/2И	2	Устный опрос.Выполнение практических работ
1.8 Углеродные волокна		2	2/1И	2	Устный опрос.Выполнение практических работ
1.9 Композитные материалы на основе углерода		5	5	2	Устный опрос.Выполнение практических работ.
Итого по разделу	21	21/8И	30		
Итого за семестр	21	21/8И	30	зачёт	
Итого по дисциплине	21	21/8И	30	зачет	

#### 4 Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

Представлены в приложении 1.

#### 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

##### а) Основная литература:

1. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии [Электронный ресурс] / Э. Л. Дзидзигури, Е. Н. Сидорова. – М.: МИСИС, 2012. – 71 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/47445/> -. Загл. с экрана. – ISBN 978-5-87623-605-0
2. Мавринский В.В. Физика углеродных материалов [Текст]: учебно-методическое пособие / В.В. Мавринский, Д.М. Долгушин, МГТУ. 2014. -74с.

##### б) Дополнительная литература:

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Электронный ресурс] / А. И. Гусев. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2009. – 416 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/2173/> -. Загл. с экрана. – ISBN 978-5-9221-0582-8
2. Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин. – М.: Физматлит, 2009. – 456 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/2291/> -. Загл. с экрана. – ISBN 978-5-9221-0988-8
3. Структура и свойства наноструктурированных углеродистых конструкционных сталей : учебное пособие / [М. В. Чукин, Н. В. Копцева, Ю. Ю. Ефимова и др.]; МГТУ, [каф. МиМТ]. - Магнитогорск, 2011. - 112 с. : ил, диагр., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=72.pdf&show=dcatalogues/1/1087773/72.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.

##### в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

###### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Scilab Computation Engine	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно

###### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>

## Приложение «Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации»

По данной дисциплине предусмотрены различные виды контроля результатов обучения: текущий контроль (проверка выполнения практических и лабораторных заданий), итоговый контроль в виде экзамена.

**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

**КНС-1 Способен свободно владеть фундаментальными и прикладными разделами физики и математики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач по физике конденсированного состояния, в том числе и по физике наноструктурных объектов**

### Перечень тем для подготовки самоподготовки

1. Получение наноструктурных материалов.
2. Способы выделения и очистки наноструктур.
3. Классификация, симметрия, свойства углеродных наноструктур.
4. Спектроскопические методы исследования наноструктур.
5. Применение атомной силовой микроскопии в наноструктурных материалах.
6. Нанотехнологии в электронике
7. Сравнительный анализ физико-химических свойств веществ наноструктур.
8. Композитные наноструктурные материалы.

Примерное задание

Проанализировать спектр диффузионного отражения

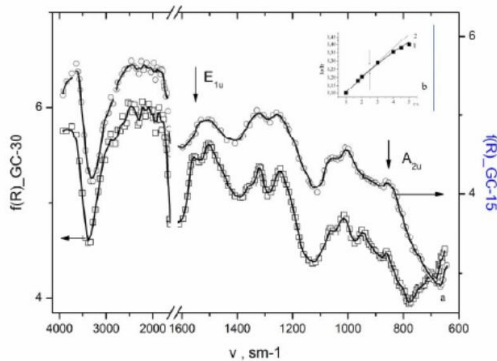
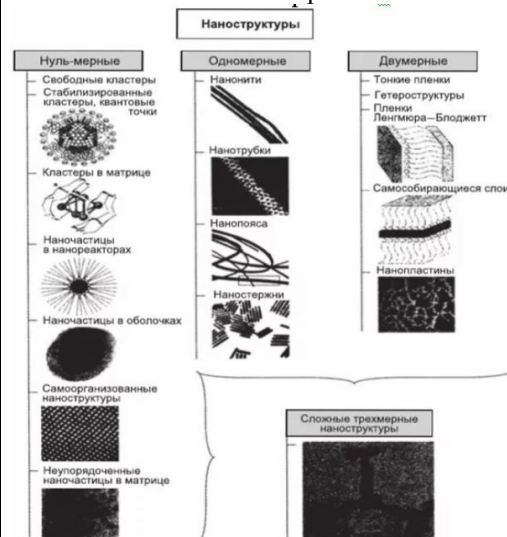


Рис. 1. Спектры диффузного отражения образцов стеклоглуглерода (а), концентрационная зависимость интенсивности колебательной моды  $E_{2g}$ (b).

Примерное задание

Опишите связь строения с свойств материалов.



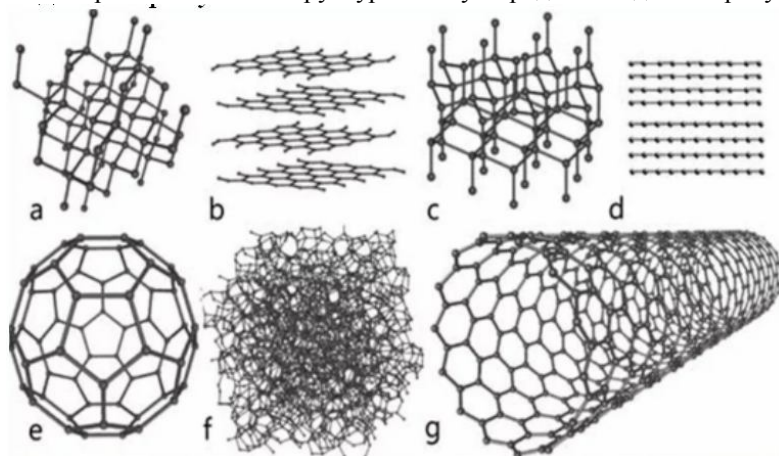
**КНС-3 Способен планировать, организовывать, проводить исследование и анализировать полученные научные результаты по направлению физика конденсированного состояния**

**Примерный перечень тем докладов:**

1. "Применение ультрадисперсных, наноразмерных частиц при создании высокопрочных долговечных бетонов",
2. "Композиты с полимерной матрицей и углеродными нанотрубками в строительстве",
3. "Пленочные нанопокрывтия для энергосбережения зданий",
4. Нанокompозитные трубки для инженерных систем",
5. "Стеклопластиковая композитная арматура",
6. "Самоочищающиеся нанопокрывтия".
7. "Применение нанотехнологий для получения теплоизоляционных и огнезащитных строительных материалов",
8. "Применение нанотехнологий для получения защитно-декоративных покрытий".

Примерное задание

Какие кристаллические структуры нанокремния вы видите на рисунке?



Примерное задание

По представленной схеме расскажите о спектроскопических методах исследования наноструктур



**КНС-4 Способен применять на практике навыки составления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов, написания статей по направлению физика конденсированного состояния и смежным направлениям**



**Перечень вопросов для подготовки к зачету:**

1. Строение атома углерода и морфология искусственных углеродных материалов. Диаграмма состояния углерода.
2. Ковалентная связь, гибридизация связей, кристаллические формы углерода. Дефекты кристаллической решетки в углеродных материалах.
3. Получение и применение углеродных материалов и композитов на основе углерода.
4. Методы исследования структуры углеродных материалов. Электронная микроскопия. Рентгеноструктурные методы исследования структуры углеродных материалов.
5. Анализ формы профилей дифракционных линий. Методы определения структурных характеристик по форме дифракционных максимумов. Метод моментов.
6. Методика определения размеров областей когерентного рассеяния и микродеформаций гармоническим анализом профиля рентгеновских дифракционных линий.
7. Методики разложения сложных перекрывающихся дифракционных максимумов на компоненты.
8. Моделирование структурного упорядочения в углеродных материалах.
9. Получение искусственного поликристаллического графита. Термообработка: карбонизация и графитация. Влияние примесей на графитацию.
10. Карбидная модель графитации. Модели Франклин и Майера-Меринга.
11. Получение углеродного волокна. Структурная модель Руланда.
12. Взаимосвязь структурных параметров углеродных материалов. Рекристаллизационная модель графитации.
13. Классификация углеродных фаз и наноструктур.
14. Синтез и структура карбиноидов, фуллеренов и нанотрубок.
15. Структура и свойства гибридных углеродных фаз (карбиноалмазные, графиновые, из полимеризованных фуллеренов и др.).
16. Физико-химические свойства углеродных материалов. Методы исследования физико-химических свойств. Взаимосвязь структуры и свойств в углеродных материалах.
17. Общие представления о композиционных материалах, типы композитов, их классификация. Синтез композитов с требуемыми свойствами.
18. Особенности структуры и свойств композитов. Связующее композитов: пеки, смолы, металлы. Армирующие наполнители композитов: углеродные волокна, неорганические соединения, металлы.
19. Синтез, структура и свойства углерод-углеродных композиционных материалов.
20. Синтез C-композиционных материалов. Влияние примесей на формирование структуры композитов

**Примеры тем докладов**

1. Строение атома углерода
2. Валентные состояния атома углерода
3. Углерод-углеродные связи. Кратность связей и межатомные расстояния
4. Дифракционные методы исследования структуры углеродных материалов
5. Молекулярно-механические методы исследования структуры углеродных материалов
6. Квантово-механические методы исследования структуры углеродных материалов
7. Полуэмпирические методы исследования структуры углеродных материалов
8. Классификация углеродных материалов
9. Алмаз ( $sp^3$ -гибридизация)
10. Графит ( $sp^2$ -гибридизация)
11. Карбин ( $sp$ -гибридизация)
12. Графен
13. История открытия и свойства фуллеренов
14. Структура и возможные формы фуллеренов
15. Структура многослойных фуллеренов
16. Открытие и свойства нанотрубок
17. Структура однослойных нанотрубок
18. Структура многослойных нанотрубок
19. ( $sp - sp^2$ ) – гибридные фазы (графины)
20. ( $sp^2 - sp^3$ ) – гибридные структуры
21. ( $sp - sp^3$ ) – гибридные структуры
22. Углеродные волокна из ПАН-волокна
23. Углеродные волокна из гидратцеллюлозы (ГТЦ)
24. Углеродные волокна из пеков
25. Кристаллическая структура углеродного волокна
26. Искусственный графит и интеркалированные соединения графита
27. Факторы, влияющие на графитацию углеродных материалов
28. Карбидная и рекристаллизационная модель механизма графитации
29. Графитация как устранение дефектов структуры кристаллов и как ряд последовательных фазовых переходов
30. Дефекты в реальных структурах графита

**Примеры тестовых заданий:**

1. Модуль Юнга однослойной нанотрубки:  
Выберите один ответ:  
менее 2000 ГПа  
от 4 до 8 ТПа  
от 1000 до 5000 ГПа  
более 8 ТПа
2. Ширина запрещенной зоны нанотрубки может быть равна:  
Выберите один или несколько ответов:  
0,5 эВ  
0,05 эВ  
50 эВ  
5 эВ
3. Вещества, стимулирующие рост однослойных нанотрубок:  
Выберите один или несколько ответов:  
кобальт  
медь  
никель  
железо  
цинк  
марганец
4. При какой температуре происходит графитация сажи?  
Выберите один ответ:  
1500 °С  
2500 °С  
4000 °С  
2000 °С
5. Межслоевые расстояния в многослойных фуллеренах соответствуют значениям... (Выберите наиболее подходящее)  
Выберите один ответ:  
1,33 нм  
1,42 нм  
0,34 нм  
0,17 нм
6. Где легче всего обнаружить многослойные фуллерены?  
Выберите один ответ:  
в графите  
в алмазах  
в стеклоуглеродах  
в саже

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета .

***Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):***

– на оценку **«зачтено»** – студент должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

– на оценку **«незачтено»** – студент не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.