

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

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физика наноразмерных объектов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической химии
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.В. Николаев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физической химии 29.08.2024

Аннотация

Курс "Физика наноразмерных объектов" предусматривает изучение общих представлений о наноструктурных материалах: фуллереах, нанотрубках, графене, слоистых гетероструктур, коллоидных квантовых точках и т.д.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Виды и классификация наноструктурных материалов
2. Спинтроника и магнитные эффекты в наноструктурных материалах
3. Структурные формы углерода
4. Экспериментальные методы получения и диагностика фуллеренов
5. Графен
6. Экспериментальные методы получения и диагностика графена
7. Углеродные трубчатые материалы
8. Экспериментальные методы получения и диагностика нанотрубок
9. Технологические применения углеродных нанотрубок и графена
10. Слоистые полупроводники, гетероструктуры и полупроводниковые сверхрешетки
11. Полупроводниковые лазеры
12. Коллоидные квантовые точки

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать общие представления о наноструктурных материалах: фуллереах, нанотрубках, графене, слоистых гетероструктур, коллоидных квантовых точках и т.д.

Задачи дисциплины

- дать классификацию наноситруктурированных материалов;
- обосновать связь между электронным строением и физическими (физико-химическими) свойствами веществ;
- познакомить с современными наноструктурными материалами и методами их получения;
- познакомить с областью применения наноситруктурированных материалов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- виды и классификацию наноситруктурированных материалов;
- связь между электронным строением и магнитными эффектами;
- типы полупроводниковых сверхрешеток.

уметь:

- определять тип кристаллической решетки.

владеть:

- знаниями о слоистых полупроводниках, гетероструктурах.

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	Виды и классификация наноструктурных материалов	4			1
2	Спинтроника и магнитные эффекты в наноструктурных материалах	2			1
3	Структурные формы углерода	4			1
4	Фуллерены	2			1
5	Графен	2			1
6	Экспериментальные методы получения и диагностика графена	2			1
7	Углеродные трубчатые материалы	2			1
8	Экспериментальные методы получения и диагностика нанотрубок	4			1
9	Применение производных графена	2			1
10	Слоистые полупроводники, гетероструктуры и полупроводниковые сверхрешетки	2			1
11	Полупроводниковые лазеры	2			2
12	Коллоидные квантовые точки	2			3
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Виды и классификация наноструктурных материалов

Виды и классификация наноструктурных материалов. Наноструктурные объекты различной размерности и химическая связь. Роль квантовых эффектов электронного обмена. Краткий обзор методов расчета электронной структуры молекул. Адиабатическое приближение. Краткое введение в теорию электронного строения кристаллов. Обзор методов расчета электронной зонной структуры. Метод сильной связи и его применение для углеродных структур.

2. Спинтроника и магнитные эффекты в наноструктурных материалах

Связь между электронным строением и магнитными эффектами (диамагнетизмом, парамагнетизмом и магнитное упорядочением). Гамильтониан Гейзенберга-Дирака-Ван Флека. Парамагнетизм Паули и Ван-Флека, диамагнетизм Ландау. Механизмы магнитного упорядочения.

3. Структурные формы углерода

Углерод и его аллотропные формы (графит и алмаз). Углеродные наноструктурные материалы: фуллерены, углеродные нанотрубки, наноалмазы, графен. Электронные оболочки углерода и основные формы химической связи (sp^2 и sp^3 гибридизация атомных орбиталей). Метод Хюккеля для углеродных структур (и молекулярные орбитали). Молекулы фуллеренов C_{60} и C_{70} и особенности их электронного строения. Фуллерен C_{60} как псевдоатом икосаэдрической симметрии. Фуллериты и фуллериды. Фазовые переходы, полимеризация, сверхпроводимость и переход металл-изолятор. Пиподы и эндофуллерены.

4. Фуллерены

Экспериментальные методы получения и диагностика фуллеренов.

5. Графен

Графен как фундаментальная углеродная структура, обладающая двумерной трансляционной симметрией. Однолистный графен: зонная структура, циклотронная масса, плотность состояний, дираковские фермионы и хиральное туннелирование. Двухлистный и многолистный графен, «стопки» графеновых плоскостей.

6. Экспериментальные методы получения и диагностика графена

Экспериментальные методы получения и диагностика графена. Поверхностные состояния в графене. Макромолекулы из графена. Край графена (типа «зигзаг» и «кресло»). Спектр полосок графена, эффект спин-орбитального взаимодействия. Графен в магнитном поле: диамагнетизм и эффект Холла.

7. Углеродные трубчатые материалы

Углеродные трубчатые материалы (углеродные нанотрубки, УНТ). Однослойные и многослойные трубки. Получение электронного спектра однослойных нанотрубок из электронного спектра графена. Одностенные УНТ типа «зигзаг» и «кресло». Хиральные УНТ. Металлические и полупроводниковые УНТ. Минищели в электронном спектре.

8. Экспериментальные методы получения и диагностика нанотрубок

Экспериментальные методы получения и диагностика нанотрубок. Электронные уровни в коротких нанотрубках – квантовых точках. Металлический нанопровод внутри УНТ – наностержень. Гетероатомные нанотрубки – боразотные (BN), и другие (SiC/BN , BC_2N , GaAs, AlN). Модификация электронных свойств нанотрубки путем изменения ее геометрии (изгиб, Y- и T-образные соединения УНТ) и методом ее легирования азотом, бором и кислородом. Нанотрубки для электроники (диод, транзистор). Энергии оптических переходов металлических нанотрубок. Нанопровода и наностержни (ZnO).

9. Применение производных графена

Технологические применения углеродных нанотрубок и графена.

10. Слоистые полупроводники, гетероструктуры и полупроводниковые сверхрешетки

Слоистые полупроводники, гетероструктуры и полупроводниковые сверхрешетки. Классические гетероструктуры. Фундаментальные физические явления в гетероструктурах. Квантовые ямы и квантовый конфаймент. Типы полупроводниковых сверхрешеток. Гетероструктуры с квантовыми точками и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.

11. Полупроводниковые лазеры

Полупроводниковые лазеры и квантовый каскадный лазер ККЛ (QCL). Инверсная заселенность в ККЛ и каскадные процессы. Области инжекции электронов и активные зоны. Особенности конструкций ККЛ, использование гребневых волноводов. Основные типы ККЛ: лазер Фабри-Перо, лазер с распределенной обратной связью РОС (DFB – distributed feedback laser), лазер с внешним резонатором. Терагерцовые ККЛ. Основные достоинства и применение ККЛ.

12. Коллоидные квантовые точки

Коллоидные квантовые точки как новый класс люминофоров. Квантово-размерный эффект. Многоэкситонная генерация. Эффект мерцания люминесценции. Химические методы синтеза квантовых точек. Применение квантовых точек в солнечных батареях, фотодетекторах, светодиодах, лазерах и хемосенсорах.

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

аудитория, снабженная доской, проектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Механика и молекулярная физика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц .— 4-е изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2014 .— 400 с.

Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007 .— 536 с.

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

Не используются

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, прослушавший курс, должен овладеть теоретической базой основ теории наноструктурированных материалов. Успешное освоение курса требует самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- чтение и конспектирование дополнительной литературы;

- подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль самостоятельной работы студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической химии
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Николаев, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика наноразмерных объектов» обучающийся должен:

знать:

- виды и классификацию наноструктурированных материалов;
- связь между электронным строением и магнитными эффектами;
- типы полупроводниковых сверхрешеток.

уметь:

- определять тип кристаллической решетки.

владеть:

- знаниями о слоистых полупроводниках, гетероструктурах.

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

С целью текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по теме предыдущих занятий.

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

Вопросы для проведения дифференцированного зачета:

1. Виды и классификация наноструктурных материалов.
2. Наноструктурные объекты различной размерности и химическая связь.
3. Роль квантовых эффектов электронного обмена.
4. Метод сильной связи и его применение для углеродных структур.
5. Спинтроника и магнитные эффекты в наноструктурных материалах.
6. Связь между электронным строением и магнитными эффектами (диамагнетизмом, парамагнетизмом и магнитное упорядочением).
7. Гамильтониан Гейзенберга-Дирака-Ван Флека.
8. Парамагнетизм Паули и Ван-Флэка, диамагнетизм Ландау.
9. Механизмы магнитного упорядочения.
10. Углерод и его аллотропные формы (графит и алмаз).
11. Углеродные наноструктурные материалы: фуллерены, углеродные нанотрубки, наноалмазы, графен.
12. Электронные оболочки углерода и основные формы химической связи (sp^2 и sp^3 гибридизация атомных орбиталей).
13. Метод Хюккеля для углеродных структур.

14. Молекулы фуллеренов C₆₀ и C₇₀ и особенности их электронного строения. Фуллерен C₆₀ как псевдоатом икосаэдрической симметрии.
15. Фуллериты и фуллериды.
16. Фазовые переходы, полимеризация, сверхпроводимость и переход металл-изолятор. Пиподы и эндофуллерены.
17. Экспериментальные методы получения и диагностика фуллеренов.
18. Графен как фундаментальная углеродная структура, обладающая двумерной трансляционной симметрией.
19. Однолистный графен: зонная структура, циклотронная масса, плотность состояний, дираковские фермионы и хиральное туннелирование.
20. Двухлистный и многolistный графен, «стопки» графеновых плоскостей.
21. Экспериментальные методы получения и диагностика графена.
22. Поверхностные состояния в графене. Макромолекулы из графена. Край графена (типа «зигзаг» и «кресло»).
23. Спектр полосок графена, эффект спин-орбитального взаимодействия. Графен в магнитном поле: диамагнетизм и эффект Холла.
24. Углеродные трубчатые материалы (углеродные нанотрубки, УНТ). Однослойные и многослойные трубки. Получение электронного спектра однослойных нанотрубок из электронного спектра графена.
25. Одностенные УНТ типа «зигзаг» и «кресло». Хиральные УНТ. Металлические и полупроводниковые УНТ. Минищели в электронном спектре.
26. Экспериментальные методы получения и диагностика нанотрубок.
27. Электронные уровни в коротких нанотрубках – квантовых точках. Металлический нанопровод внутри УНТ – наностержень.
28. Гетероатомные нанотрубки – боразотные (BN), и другие (SiC/BN, BC₂N, GaAs, AlN). Модификация электронных свойств нанотрубки путем изменения ее геометрии (изгиб, Y- и T-образы соединения УНТ) и методом ее легирования азотом, бором и кислородом.
29. Нанотрубки для электроники (диод, транзистор). Энергии оптических переходов металлических нанотрубок. Нанопровода и наностержни (ZnO).
30. Технологические применения углеродных нанотрубок и графена.
31. Слоистые полупроводники, гетероструктуры и полупроводниковые сверхрешетки. Классические гетероструктуры. Фундаментальные физические явления в гетероструктурах. Квантовые ямы и квантовый конфаймент. Типы полупроводниковых сверхрешеток.
32. Гетероструктуры с квантовыми точками и сверхрешетками. Гетероструктуры с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
33. Полупроводниковые лазеры и квантовый каскадный лазер ККЛ (QCL). Инверсная заселенность в ККЛ и каскадные процессы. Области инжекции электронов и активные зоны.
34. Особенности конструкций ККЛ, использование гребневых волноводов. Основные типы ККЛ: лазер Фабри-Перо, лазер с распределенной обратной связью РОС (DFB – distributed feedback laser), лазер с внешним резонатором. Терагерцовые ККЛ. Основные достоинства и применение ККЛ.
35. Коллоидные квантовые точки как новый класс люминофоров. Квантово-размерный эффект. Многоэкситонная генерация. Эффект мерцания люминесценции.
36. Химические методы синтеза квантовых точек. Применение квантовых точек в солнечных батареях, фотодетекторах, светодиодах, лазерах и хемосенсорах.

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 балла - 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 балла - 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 балла - 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 балл - 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 устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.