

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ НАНОСТРУКТУР

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	2	72	22	22	0	28	0	3	
Итого	2	72	22	22	0	28	0		

АННОТАЦИЯ

В курсе даются сведения о различных низкоразмерных физических системах. Рассматриваются методы их приготовления и исследования. Основное внимание уделяется технике проведения физических экспериментов с низкоразмерными объектами. Обсуждаются основные области применения наноструктур.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать студентам базовые знания по свойствам наноразмерных объектов, экспериментальной технике получения, исследования и практического применения наноструктур.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина даёт необходимые знания по физике наноструктур и готовит к проведению НИР и экспериментальной исследовательской работы

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов.	ПК-14.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния вещества с целью разработки полупроводниковых, сверхпроводниковых, тонкопленочных и наноструктурированных материалов, сверхпроводящих	З-ПК-14.2[1] - знать основные современные достижения физики твердого тела и возможности современной экспериментальной техники; основы физической оптики, теорию интерференции, дифракции, основы

<p>в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>		<p>устройств и оптоэлектронных приборов; в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий; в области лазерной физики с целью создания новых эталонов, методик ведения измерений и средств измерений с их последующей аттестацией и вводом в реестр средств измерений для нужд нанометрологии</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.049</p>	<p>атомной и молекулярной спектроскопии; способы и методы создания новых эталонов.; У-ПК-14.2[1] - уметь построить математическую модель явления, рассчитать схему эксперимента, провести оценки параметров материалов, выбрать необходимые материалы и методики для решения конкретных задач с учетом дальнейшего применения в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики конденсированного состояния вещества и средств измерений.; В-ПК-14.2[1] - владеть основами спектроскопии атомов и молекул, методиками ведения измерений и средств измерений; методами получения, анализа и описания параметров и характеристик процессов в экспериментальных установках физики твердого тела и лазерной физики.</p>
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование	1.Использование воспитательного потенциала

	чувств за личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное	Создание условий,	1. Использование

воспитание	обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и

	<p>неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>
--	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
2	Раздел 2	9-12	6/6/0		25	КИ-12	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		22/22/0		50		

	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	3	3-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
--	---	--	--	--	----	---	---------------------------------------

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	22	22	0
1-8	Раздел 1	16	16	0
1 - 2	Тема 1. Введение Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. Подходы «снизу вверх» и «сверху вниз». Манипуляции на квантовом уровне. Низкоразмерные физические системы. Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур. Типы и виды наноструктур. Квантовые ямы, проволоки, точки.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	4 0	0
3 - 4	Тема 2. Методы приготовления наноструктур Понятие эпитаксии. Соизмеримость решеток. Лазерное и магнетронное распыление. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	4 0	0
5	Тема 3. Электрические методы исследования. Вольт-амперные характеристики. Особенности двух и четырехконтактной схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
6	Тема 4 Оптические методы исследования наноструктур. Понятие люминесценции. Флуоресценция, фосфоресценция, фотолюминесценция, электролюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, кандолюминесценция. Особенности фотолюминесценции. Стоковые потери. Люминесценция свободных экситонов. Фононные повторения. Экситонно-примесные уровни. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
7 - 8	Тема 5. Автоэлектронная и автоионная эмиссия. Физические основы автоэлектронной эмиссии. Теория	Всего аудиторных часов 4	4	0

	Фаулера-Нордгейма. Полевая эмиссионная микроскопия. Автоэлектронный и автоионный микроскопы. Увеличение и разрешение эмиссионных микроскопов. Требование к игле. Основные направления автоэмиссионных исследований.	Онлайн	0	0	0
9-12	Раздел 2		6	6	0
9	Тема 6. Сканирующая зондовая микроскопия нанообъектов. Принципы зондовой микроскопии. Сканирующий туннельный микроскоп. Режимы обратной связи. Параметры, влияющие на туннельный ток. Принципы атомно-силовой микроскопии. Контактная, полуконтактная, бесконтактная моды.	Всего аудиторных часов	2	2	0
		Онлайн	0	0	0
10	Тема 7. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа. Реплики. Контраст.	Всего аудиторных часов	2	2	0
		Онлайн	0	0	0
11	Тема 8. Нанотрубки. Свойства и характеристики углеродные нанотрубки. Одностенные и многостенные нанотрубки. Методы получения нанотрубок. Хиральность. Связь диаметра и индексов хиральности. Дефекты нанотрубок.	Всего аудиторных часов	1	1	0
		Онлайн	0	0	0
12	Тема 9. Применение наноструктур. Практическое использование нанотрубок. Применение полупроводниковых наноструктур. Мембранны. Нанодисперсные материалы.	Всего аудиторных часов	1	1	0
		Онлайн	0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проводятся занятия в активной и интерактивной форме. Для успешного освоения материала курса рекомендуется посещение научных семинаров, конференций, проводимых в НИЯУ МИФИ и институтах РАН.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-14.2	З-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Н99 Solid-State Physics : An Introduction to Principles of Materials Science, Luth, Hans. , Ibach, Harald. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009
2. ЭИ С98 Synchrotron Light Sources and Free-Electron Lasers : Accelerator Physics, Instrumentation and Science Applications, , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ М31 Введение в физику наноструктур : учебное пособие для вузов, Опенов Л.А., Маслов М.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 620 Г87 Материаловедение для микро- и наноэлектроники : учебное пособие для вузов, Краснюк А.А., Громов Д.В., Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : учебное пособие для вузов, Троян В.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., М.: Бином, Лаборатория знаний, 2008
2. 539.2 К55 Введение в нанотехнологию : , Кобаяси Н., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2005
3. 621.38 Н40 Зондовые нанотехнологии в электронике : , Неволин В.К., М.: Техносфера, 2005
4. 621.38 Р25 Методы получения эпитаксиальных гетерокомпозиций : учебное пособие для вузов, Ратушный В.И., Ермолаева Н.В., Смолин А.Ю., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. 620 Н25 Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов, Калинин В.Т. [и др.], Запорожье: Мотор Сич, 2014
6. 621.3 М29 Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники : , Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф., Мартинес-Дуарт Дж.М., Москва: Техносфера, 2007
7. 539.2 С89 Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов : , Суздалев И.П., Москва: Либроком, 2013
8. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., : Физматлит, 2004
9. 539.2 Х21 Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века : , Харрис П., М.: Техносфера, 2003

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Nanonewsnet (<http://www.nanonewsnet.ru>)
2. Nanomarket (<http://www.nanomarket.ru/>)
3. Nanotech (<http://www.nanotech.ru/>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

После изучения курса студент должен твердо знать типы и виды наноструктур. Квантовые ямы, проволоки, точки. Понятие гетеропереходов. Свойства германия и кремния. Свойства полупроводниковых соединений типа А₁В₁В₂. Характеристики Твердые растворы (тройные сплавы) на основе соединений А₁В₁В₂. Мелкие доноры и мелкие акцепторы. Дельталегирование. Понятие эпитаксии. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов. Особенности двух- и четырехконтактной схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау. Измерение и применение вольта-фарадовых характеристик. Принципы резонансного туннелирования. Вольт-амперные характеристики двух- и трехбарьерного резонансно-туннельного диода. Генерация микроволнового излучения в квантово-размерных диодных резонансно-туннельных структурах. Понятие двумерного электронного газа. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Осцилляции Шубникова де Гааза. Понятие люминесценции. Особенности фотолюминесценции. Люминесценция свободных экситонов. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур. Физические основы автоэлектронной эмиссии. Теория Фаулера-Нордгейма. Полевая эмиссионная микроскопия. Автоэлектронный и автоионный микроскопы. Принципы зондовой микроскопии. Сканирующий туннельный микроскоп. Режимы обратной связи. Параметры, влияющие на туннельный ток. Принципы атомно-силовой микроскопии. Контактная, полуконтактная, бесконтактная моды. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Свойства и характеристики углеродные нанотрубок. Хиральность. Методы получения нанотрубок. Практическое использование нанотрубок. Применение наноструктур.

Студент должен уметь применять фундаментальные законы в области физики наноструктур для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей, применять теоретические и компьютерные методы исследований в области физики наноструктур, производить поиск нужной информации в специальной научно-технической и патентной литературе по тематике исследований и разработок, применять экспериментальные методы электрофизических, оптических и структурных исследования наноструктур, а также владеть

методами измерения вольтамперных, вольфарадных, магнитных, оптических и структурных характеристик нанообъектов.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При чтении курса следует придерживаться следующей последовательности изложения. Сначала рассматриваются общие вводные понятия. Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. Подходы «снизу вверх» и «сверху вниз». Манипуляции на квантовом уровне. Низкоразмерные физические системы. Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур. Типы и виды наноструктур. Квантовые ямы, проволоки, точки. Даётся понятие гетеропереходов. Гетеропереходы на основе полупроводников. Свойства германия и кремния. Свойства полупроводниковых соединений типа А₁В₂В. Твердые растворы (тройные сплавы) на основе соединений А₁В₂В. Мелкие доноры и мелкие акцепторы. Дельталегирование. Затем обсуждаются методы приготовления наноструктур. Понятие эпитаксии. Соизмеримость решёток. Лазерное и магнетронное распыление. Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МЛЭ. Критическая температура эпитаксии. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Методы изготовления электрических контактов. Рассматриваются электрические методы исследования. Вольт-амперные характеристики. Особенности двух и четырехконтактной схемы измерений. Классический эффект Холла в случае одного и двух типов носителей. Метод Ван-дер-Пау. Подробно изучается резонансно-туннельный диод. Принципы резонансного туннелирования. Вольт-амперные характеристики двух- и трехбарьерного резонансно-туннельного диода. Влияние температуры на свойства РТД. Генерация микроволнового излучения в квантово-размерных диодных резонансно-туннельных структурах. Вольтфарадные характеристики структур с квантовыми ямами. После этого переходят к теме, связанной с квантовыми явлениями в двумерном электронном газе. Понятие двумерного электронного газа. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Осцилляции Шубникова де Гааза. Экспериментальное изучение квантового эффекта Холла в двумерном электронном газе. После электрических свойств изучаются оптические методы исследования наноструктур. Даётся понятие люминесценции. Флуоресценция, фосфоресценция, фотолюминесценция, электролюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, кандолюминесценция. Особенности фотолюминесценции. Стоксовые потери. Люминесценция свободных экситонов. Фононные повторения. Экситонно-примесные уровни. Идентификация примесей. Фотолюминесценция квантово-размерных структур. Из структурных методом исследований изучаются автоэлектронная и автоионная эмиссия, сканирующая зондовая микроскопия нанообъектов, просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения. Заканчивается курс обсуждением свойств нанотрубок и применением применение наноструктур.

Во время проведения лекций желательно использовать проекционную технику, а также инициировать обсуждение материала методом «вопросов в аудиторию».

Автор(ы):

Руднев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Покровский Сергей Владимирович