

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
«_____» _____ 202_ г. № _____

Рабочая программа дисциплины

Нанопотоника

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Нанопотоника» относится к дисциплинам вариативной части основной образовательной программы по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Цель освоения дисциплины «Нанопотоника» состоит в том, чтобы дать студентам знания о фотоэлектронных процессах в квантово-размерных твердотельных наноструктурах, о физических принципах функционирования, конструирования, методах создания и применении различных оптоэлектронных приборов на основе твердотельных наноструктур. Данная дисциплина призвана расширить и развить знания студентов в области взаимодействия света с веществом в низкоразмерных системах.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики и применять результаты научных исследований в профильных областях для решения научно-практических и научно-технологических задач	ПК-3.1. Знание основных законов физики. ПК-3.2. Умение решать научно-практические и научно-технологические задачи в своей профессиональной деятельности. ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований при решении научно-практических и научно-технологических задач.	знать: основные проблемы в своей предметной области, базовую информацию в области физики полупроводников, физические основы процессов в области физики полупроводников, конденсированного состояния, низкоразмерных структур, физические основы технологии выращивания полупроводниковых материалов и квантово-размерных структур на их основе. уметь: осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области, самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области полупроводников и полупроводниковых наноструктур и анализировать их результаты, разрабатывать новые модели физических процессов в области физики	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект заданий к лабораторному практикуму. Фонд тестовых заданий

		<p>полупроводников и физики конденсированного состояния, исследовать оптоэлектронные свойства полупроводниковых квантово-размерных гетеронаноструктур</p> <p>владеть: современными методами исследований с использованием информационных технологий, способностями анализа и оценки научной информации в области физики полупроводников, конденсированного состояния, низкоразмерных структур, навыками моделирования физических процессов в области физики полупроводников, конденсированного состояния, низкоразмерных структур, навыками работы с исследовательским и контрольно-измерительным оборудованием для изучения оптических свойств полупроводниковых квантово-размерных гетеронаноструктур.</p>	
--	--	---	--

3. Структура и содержание дисциплины «Нанопотоника»

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
самостоятельная работа	42 (работа в семестре) 36 (на подготовку к экзамену)
Промежуточная аттестация	1 семестр – экзамен 2 часа

3.2. Содержание дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе				
		Контактная работа, часов				Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение	4	2	0	0	2	2
2. Оптические свойства квантово-размерных структур	28	6	0	16	22	6
3. Люминесценция в квантово-размерных структурах	12	6	0	0	6	6
4. Электрооптические свойства квантово-размерных структур	10	4	0	0	4	6
5. Фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур	34	6	0	16	22	12
6. Лазеры на основе квантово-размерных структур	10	6	0	0	6	4
7. Нанопотоника и квантовые вычисления	6	2	0	0	2	4
Промежуточный контроль	2	0	0	0	0	2
Промежуточная аттестация по дисциплине Экзамен						

Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Основные тенденции в развитии твердотельной электроники и оптоэлектроники. Увеличение скорости и объема обработки и передачи информации по	лекция	Контроль посещаемости

		<p>каналам оптической связи.</p> <p>Поиски новых материалов и новых принципов конструирования оптоэлектронных приборов.</p> <p>Ограниченность функциональных возможностей традиционных оптоэлектронных приборов.</p> <p>Нанoeлектроника.</p> <p>Нанofотоника как наука о взаимодействии света с веществом в наноразмерных структурах. Оптоэлектронные приборы на основе твердотельных наноструктур.</p> <p>Основные преимущества по сравнению с традиционными оптоэлектронными приборами.</p> <p>Существующие и потенциальные области применения.</p>		
2	Оптические свойства квантово-размерных структур	<p>Оптические переходы в квантово-размерных структурах (КРС). Межзонные и межподзонные переходы.</p> <p>Межзонное оптическое поглощение в квантово-размерных структурах (КРС).</p> <p>Матричные элементы межзонных оптических переходов в 2-зонной и 8-зонной модели (дипольное приближение). Сила осциллятора межзонных оптических переходов.</p> <p>Коэффициент оптического поглощения квантовых ям (КЯ), систем квантовых нитей (КН) и квантовых точек (КТ).</p> <p>Правила отбора при межзонных оптических переходах в КРС. Правила отбора по квазиимпульсу,</p>	лекции, лабораторные работы	Контроль посещаемости, прием допусков и отчетов по лабораторным работам

		<p>моменту импульса, четности.</p> <p>Поляризационные зависимости коэффициента оптического поглощения КРС при возбуждении линейно- и циркулярно-поляризованным светом. Эффект Рашба.</p> <p>Уширение края межзонного оптического поглощения.</p> <p>Обобщенная δ-функция Дирака. Гауссово (структурное) уширение.</p> <p>Лоренцево (термическое) уширение. Форма края межзонного поглощения в сверхрешетках (СР).</p> <p>Экситонное поглощение в КРС. Матричные элементы Ванье.</p> <p>Межподзонные переходы в КРС. Матричный элемент межподзонных переходов.</p> <p>Переходы из размерно-квантованных состояний в непрерывный спектр (фотоионизация).</p> <p>Спектральная зависимость коэффициента поглощения КЯ и СР. Правила отбора при межподзонных оптических переходах. Поляризационные зависимости коэффициента поглощения.</p> <p>Нелинейные оптические эффекты в твердотельных наноструктурах. Генерация второй и третьей гармоники.</p> <p>Эффект индуцированной прозрачности. Оптически активные среды на основе наноструктурированных материалов, их применение в оптику и оптоэлектронике.</p>		
--	--	---	--	--

3	Люминесценция в квантово-размерных структурах	<p>Фотолюминесценция (ФЛ). Описание сильно взаимодействующих электронной и фотонной подсистем в рамках квантовой электродинамики. Матрица Вигнера. Кинетическое уравнение для фотонов. Приближение слабого взаимодействия. Форма спектра ФЛ в КРС. Флуктуационно-диссипационная теорема. Влияние шероховатости границ КЯ на спектр ФЛ. Катоодолюминесценция в КРС. Спектроскопия катоодолюминесценции в одиночных квантовых точках. Полупроводниковые лазеры с возбуждением электронным пучком. Светоизлучающие структуры на основе кремния. ФЛ в наноструктурах Ge/Si. Нанокластеры Si в SiO₂. Нанокристаллический кремний. Фото- и электролюминесценция ионов редкоземельных элементов в кремнии. Механизмы передачи возбуждения. Люминесцентные свойства нитридов элементов III группы и КРС на их основе. Светодиоды на основе нитридов, излучающие в голубой части видимого диапазона и в УФ диапазоне.</p>	лекция	Контроль посещаемости
4	Электрооптические свойства квантово-размерных структур	<p>Эффект Штарка в КРС. Электрооптические модуляторы на основе КРС.</p>	лекция	Контроль посещаемости

5	Фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур	Фотоэлектрические свойства КРС. ФотоЭДС и фототок в р-п переходах и барьерах Шоттки, содержащих квантово-размерные слои, при межзонном фотовозбуждении. Эмиссия фотовозбужденных носителей заряда из квантово-размерных слоев. ФотоЭДС на поверхностном барьере и в контакте полупроводник/электрлит. Фотопроводимость КРС при межподзонном фотовозбуждении. Детекторы ИК-излучения на основе КРС.	лекции, лабораторные работы	Контроль посещаемости, прием допусков и отчетов по лабораторным работам
6	Лазеры на основе квантово-размерных структур	Полупроводниковые лазеры на основе КРС. Температурная зависимость порогового тока. Инжекционные лазеры на основе массивов квантовых точек. Зависимость порогового тока и к.п.д. лазера от однородности массивов КТ. Вертикально-излучающие лазеры на основе квантово-размерных структур. Квантовые каскадные лазеры. Двухчастотные лазеры. Генерация излучения на разностной частоте.	лекция	Контроль посещаемости
7	Нанопотоника и квантовые вычисления	Квантовые вычисления на основе твердотельных наноструктур. Кубиты на основе спинов электронов, локализованных в КТ. Приготовление спин-поляризованных состояний при помощи поляризованного фотовозбуждения. Кубиты на основе оптических фотонов. Генерация и детектирование одиночных фотонов при помощи нанопотозлектронных	лекция	Контроль посещаемости

		устройств.		
--	--	------------	--	--

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает выполнение лабораторных работ по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы. На проведение лабораторных работ в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: навыков фотоэлектрической диагностики квантово-размерных твердотельных наноструктур, создания и анализа характеристик оптоэлектронных приборов на основе твердотельных наноструктур;
- компетенций, относящихся к физическим принципам взаимодействия света с веществом в низкоразмерных системах.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа.

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины "Нанопотоника" используются следующие образовательные технологии: на лекциях – диалоговая форма проведения лекций; на лабораторных занятиях – проблемный метод изложения материала и непосредственное выполнение физических экспериментов. Самостоятельная работа студентов связана с обработкой полученных экспериментальных данных, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий.

5. Учебно-методическое обеспечение, формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа включает в себя теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы, и выполнение лабораторных работ:

1. Фотопроводимость в гетеронаноструктурах с квантовыми точками InAs/GaAs.
2. Исследование гетеронаноструктур с квантовыми точками InAs/GaAs методами спектроскопии конденсаторной фотоЭДС и фотоЭДС в барьере Шоттки.

Вопросы к лабораторной работе «Фотопроводимость в гетеронаноструктурах с квантовыми точками InAs/GaAs»:

1. Что такое самоорганизованные квантовые точки (КТ)? Почему происходит самоорганизация? Энергетический спектр и плотность состояний в КТ.
2. Получение ГНС с КТ.
3. Свойства приповерхностной области GaAs и n-s- перехода.
4. Механизм возникновения объемной и барьерной фотопроводимости в области межзонного поглощения матрицы и квантово-размерного слоя.
5. Как в экспериментально определить природу наблюдаемой фотопроводимости?
6. Что такое фоточувствительность?
7. Достоинства и недостатки метода спектроскопии фотопроводимости.

8. Опишите экспериментальную установку для измерения фотоэлектрических спектров.

Вопросы к лабораторной работе «Исследование гетеронаноструктур с квантовыми точками InAs/GaAs методами спектроскопии конденсаторной фотоЭДС и фотоЭДС в барьере Шоттки»:

1. Что такое самоорганизованные квантовые точки? Почему происходит самоорганизация. Энергетический спектр и плотность состояний в КТ.
2. Получение ГНС с КТ.
3. Что такое барьер Шоттки? Свойства приповерхностной области GaAs на контакте с металлом и на свободной поверхности.
4. Механизм возникновения фотовольтаического эффекта на барьерах в области межзонного поглощения матрицы и квантово-размерного слоя.
5. Способы линеаризации фотоЭДС в барьере Шоттки и конденсаторной фотоЭДС.
6. Что такое фоточувствительность?
7. При каких условиях спектр фоточувствительности КТ повторяет спектр оптического поглощения?
8. Достоинства и недостатки методов фотоэлектрической спектроскопии ФБШ и КФЭ.
9. Опишите экспериментальную установку для измерения фотоэлектрических спектров.

Осуществляется подготовка к экзамену по вопросам

1. Физико-химические условия получения качественных классических и квантово-размерных полупроводниковых гетеропереходов (ГП) и гетероструктур. ГП. Влияние несоответствия кристаллических решеток на свойства гетероструктур
2. Построение энергетических диаграмм ГП по модели Шокли-Андерсена
3. Построение энергетических диаграмм ГП по Кремеру.
4. Типы гетеропереходов.
5. Специфические физические свойства ГП: односторонняя инжекция, электронное и оптическое ограничение, эффект широкозонного окна и др.
6. Краткая характеристика кристаллической и электронной структуры ГП на основе элементов А4 (Si и SGe).
7. Краткая характеристика кристаллической и электронной структуры ГП на основе соединений А3В5 и их твердых растворов.
8. Краткая характеристика основных методов получения ГП.
9. Основные технические применения классических ГП и ГС.
10. Квантово-размерные ГС (КРС). Размерное квантование электронного газа и условия его проявления. Основные типы КРС.
11. Энергетический спектр, плотность состояний и концентрация электронов в квантовых ямах.
12. Энергетический спектр, плотность состояний и концентрация электронов в квантовых точках.
13. Примесные и экситонные состояния в КЯ.
14. Экситонное поглощение КРС.
15. Получение и некоторые свойства ГКЯ и ГКТ на основе соединений А3В5. Основные их применения.

16. Теория межзонной излучательной рекомбинации в трехмерных полупроводниках и КЯ.
17. Общая характеристика люминесценции, ее видов, механизмов и методов исследования.
18. Общая характеристика фотолюминесценции ГКЯ спектров ФЛ ГКЯ типа InGaAs/GaAs. Связь спектра ФЛ со спектром поглощения.
19. Электролюминесценция КРС. в рin-диодах. ЭЛ в барьерах Шоттки.
20. Влияние неоднородности КЯ, электрического поля и температуры на спектр ФЛ.
21. Спектроскопия ФЛ как метод диагностики ГКЯ. Спектроскопия возбуждения ФЛ.
22. Стимулированное излучение КРС. Инжекционные полупроводниковые лазеры (достоинства и недостатки).
23. Преимущества лазеров на КРС. Структура лазеров на КРС. Пороговая плотность тока.
24. Коэффициент оптического поглощения и методика его определения.
25. Связь коэффициента межзонного поглощения с энергетическим спектром КРС.
26. Эффект Штарка в ГКЯ. Оптические модуляторы.
27. Механизм возникновения фотовольтаического эффекта в КРС на основе GaAs при межзонном поглощении излучения в размерно-квантованных слоях.
28. Барьерная фотопроводимость полупроводников и КРС на основе GaAs.
29. Сравнение методических возможностей спектроскопии ФЛ и фотоэффектов.
30. Применение фотоэлектрической спектроскопии для исследования низкотемпературного дефектообразования в КРС.
31. Влияние толщины и состава тонкого двойного покровного слоя GaAs/InGaAs на энергетический спектр квантовых точек InAs/GaAs.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	от ответа				ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами .	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

6.2. Описание шкал оценивания

При выставлении экзаменационной оценки, т.е. в ходе промежуточной аттестации, применяется семибалльная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе магистра) трансформируется в пятибалльную. Обе шкалы привязаны к 100-балльной системе, в которой баллы набираются в ходе текущего контроля при сдаче допусков и отчетов по лабораторным работам и непосредственно на экзамене.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	оценка	Описание шкалы оценивания
95-100	5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
90-94		
85-89		
80-84	4	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания

75-79	хорошо	вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
70-74		
67-69	удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, но не отвечает на дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
64-66		
60-63		
40-59	2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
< 40	1 плохо	Уровень знаний ниже порогового или полное отсутствие знаний. Для принятия окончательного решения необходимо назначить комиссию по переекзаменовке.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование.

Для оценивания результатов обучения в виде **умений** и **владений** используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающие один или несколько вопросов и тесты.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Вопрос 1: При увеличении ширины квантовой ямы расстояние между соседними электронными подзонами

Варианты ответа:

1. Уменьшается
2. Увеличивается
3. Не изменяется

Шкала оценки:

- 5 баллов – ответ (1);
0 баллов – ответы (2, 3).

Вопрос 2: Линейном по полю красном смещении и сужению экситонного пика

1. Квадратичном по полю голубом смещении и сужению экситонного пика
2. Линейном по полю голубом смещении и сужению экситонного пика
3. Квадратичном по полю голубом смещении и уширении экситонного пика
4. Квадратичном по полю красном смещении и уширении экситонного пика

Шкала оценки:

- 5 баллов – ответ (5);

0 баллов – ответы (1, 2, 3, 4).

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2020. – 596 с. <https://e.lanbook.com/book/133479>.
2. И.А. Карпович, Д.О. Филатов. Фотоэлектрическая диагностика квантово-размерных гетероструктур. Учебное пособие. Н. Новгород: Изд. ННГУ, 2010.- 98с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=441246&idb=0>
3. Щука А. А. Наноэлектроника. Издательство "Лаборатория знаний". 2020. - 345 с. <https://e.lanbook.com/book/135510>

б) дополнительная литература:

1. Алферов Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур //ФТП.-1998.- Т.32, №1.- с.3-18. <http://journals.ioffe.ru/ftp/>- доступ с компьютеров ННГУ.
2. Л.Е. Воробьев, Е.Л. Ивченко, Д.А. Фирсов, В.А. Шалыгин. Оптические свойства наноструктур. С.-Пб, Наука, 2001.
3. Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника, Техносфера, 2006. 588 с.
4. Х. Кейси, М.Паниш. Лазеры на гетероструктурах, т.1 и 2, М., Сов. радио, 1981.
5. Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, В.А. Щукин, П.С. Копьев, Ж.И. Алферов, Д. Бимберг. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры //ФТП, т.32, №4, с.385 (1998). <http://journals.ioffe.ru/ftp/>- доступ с компьютеров ННГУ.
6. О.П. Пчеляков, Ю.Б. Болховитянов., А.В. Двуреченский, Л.В. Соколов, А.И. Никифоров, А.И. Якимов, Б. Фойхтлендер. Кремний-германиевые наноструктуры с квантовыми точками: механизмы образования и электрические свойства // ФТП, т. 34, № 11, с. 1281 (2000). <http://journals.ioffe.ru/ftp/>- доступ с компьютеров ННГУ

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Автоматизированная установка для исследования фотоэлектрических спектров полупроводниковых гетеронаноструктур.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

доцент кафедры ФПЭН
физического факультета
к. ф.-м. н., доцент

/ Горшков А.П. /

Рецензент:

Зав. кафедрой ФПЭН
физического факультета
д. ф.-м. н., профессор

/ Павлов Д.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «____» _____ 202_ года, протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /