

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау**

А.В. Рогачев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы современной физики: лабораторный практикум
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 90 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составили:

В.С. Кривобок, канд. физ.-мат. наук

Е.С. Мирончук, канд. физ.-мат. наук

Г.А. Вишнякова, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой радиофизики 13.04.2022

Аннотация

Практикум, разработанный преподавателями кафедры квантовой радиофизики МФТИ и сотрудниками ФИАН, представляет собой цикл лабораторных работ, покрывающий широкий круг проблем современной квантовой физики, оптики и спектроскопии атомно-молекулярных систем, конденсированных сред, квантоворазмерных и плазмонных структур, новых материалов. Курс включает как работы-«конструкторы» разной степени сложности, в которых студенту предоставляется возможность самостоятельно собрать измерительную схему из имеющихся приборов и компонент, так и получение практических навыков работы с прецизионным лабораторным оборудованием (атомно-силовой микроскоп, раман-люминесцентный микроскоп, фурье-спектрометр). Преподаватели курса – молодые кандидаты физико-математических наук и аспиранты, активно вовлечённые в научные исследования в указанных областях.

Практикум ставит целью привить исследовательские навыки, которые будут полезны в дальнейшей научной работе студентов; установить связь между теоретическими знаниями по квантовой механике и физике конденсированного состояния, полученными на курсах общей и теоретической физики, и их применением на практике; дать понимание того, с какими трудностями сталкиваются учёные при постановке экспериментов. Практикум будет полезен для студентов как экспериментальной, так и теоретической направленностей.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- Знакомство студентов с актуальными проблемами и методами фундаментальной и прикладной фотоники, лазерной физики и квантовых технологий.
- Получение ими навыков экспериментальной работы в указанных областях.
- Повышение интереса студентов к экспериментальной деятельности и приобретение ими квалификаций, необходимых для работы в передовых научных лабораториях.

Задачи дисциплины

- получение практических навыков работы с современным оптическим и спектральным оборудованием;
- приобретение навыков планирования эксперимента, сборки измерительных схем, а также культуры работы в оптической лаборатории;
- формирование связи между теоретическими знаниями по квантовой механике, атомно-молекулярной физике и физике конденсированного состояния и их применением на практике.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок

исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
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
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные принципы генерации когерентного излучения;
- явления, возникающие при взаимодействии излучения с веществом;
- эффекты размерного квантования в одномерных и двумерных системах;
- устройство и принципы работы атомно-силового микроскопа, раман-люминесцентного микроскопа, фурье-спектрометра;
- принципы лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов.

уметь:

- проектировать и собирать измерительные схемы для проведения спектральных исследований;
- проводить моделирование квантоворазмерных структур, сравнительный анализ расчётов с экспериментальными результатами;
- работать на современном физическом оборудовании и с современными экспериментальными образцами, соблюдая правила работы в лаборатории и требования техники безопасности.

владеть:

- методами исследования спектров поглощения и люминесценции полупроводниковых квантовых структур и биологических объектов;
- методом спектроскопии насыщенного поглощения в ячейке с парами атомного газа;
- принципами фурье-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света;
- принципами лазерного охлаждения и захвата атомов в магнитооптическую ловушку;
- навыками работы на современных экспериментальных установках.

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	Размерное квантование на примере полупроводниковой квантовой ямы			12	15
2	Демонстрация основных принципов генерации когерентного излучения на примере полупроводникового лазера			12	15
3	Спектроскопия коллоидных квантовых точек и металлических наночастиц			12	15
4	Комбинационное рассеяние света. Фурье спектроскопия			12	15
5	Спектроскопия насыщенного поглощения в ячейке с парами атомов Rb. Эффект Зеемана			12	15
6	Анализ влияния изотопического состава алмазной матрицы на свойства центров окраски в синтетических алмазах			8	15
7	Лазерное охлаждение и захват в магнитооптическую ловушку атомов рубидия			14	30
8	Атомно-силовая микроскопия			8	15
Итого часов				90	135
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Размерное квантование на примере полупроводниковой квантовой ямы

В ходе работы студент ознакомится с оптическими свойствами полупроводниковых квантовых ям на примере хорошо известной системы GaAs/AlGaAs. Предлагаемая работа включает несколько частей: (1) самостоятельная сборка и юстировка простейшего стенда, предназначенного для измерений спектров фотолюминесценции; (2) получение спектров люминесценции для серии гетероструктур с квантовыми ямами различной толщины и с различным составом барьерных слоев; (3) расчет одноэлектронного спектра квантовых ям в рамках приближения эффективной массы и моделирование спектров излучения. На основе сопоставления рассчитанных и экспериментально измеренных спектров излучения студент определяет квантоворазмерные поправки для электронов и дырок, а также оценивает эффективную температуру неравновесной электронно-дырочной системы.

2. Демонстрация основных принципов генерации когерентного излучения на примере полупроводникового лазера

Цель данной работы состоит в демонстрации основных принципов генерации когерентного излучения на примере полупроводникового лазера. Студенту предлагается пронаблюдать переход от режима спонтанного излучения к лазерной генерации и провести анализ основных факторов, определяющих спектр излучения лазерной системы.

На первом этапе студент измеряет спектры излучения лазерного диода в зависимости от тока через него и наблюдает переход от спонтанного излучения к вынужденному, анализирует изменение диаграммы направленности излучения и поляризации при таком переходе. Исследуется зависимость частоты излучения и модового состава от температуры диода и тока накачки. По результатам первого этапа студент рассчитывает необходимые свойства дифракционной решётки для формирования внешнего резонатора. На втором этапе студент использует рассчитанную решётку для создания внешнего резонатора, наблюдает понижение порогового тока генерации диода. С помощью сканирующего интерферометра анализируются характеристики спектра излучения без резонатора и в его присутствии, наблюдается сужение линии, возможность перестройки длины волны с помощью поворота дифракционной решётки.

3. Спектроскопия коллоидных квантовых точек и металлических наночастиц

Выполняется одна из двух работ:

1) Исследование спектров поглощения и люминесценции коллоидных квантовых точек

Цель работы – ознакомление студента с электронной структурой и оптическими свойствами квантовых точек типа «ядро-оболочка». Работа включает три основные части: (i) измерение спектров люминесценции коллоидных квантовых точек с разным размером ядра, измерение спектров пропускания коллоидных растворов квантовых точек с разным размером ядра; (ii) расчет электронного спектра квантовых точек в среде Wolfram Mathematica; (iii) отождествление основных электронных переходов в ядрах квантовых точек на основе расчетов.

2) Наблюдение локализованного плазмонного резонанса в металлических наночастицах

Цель работы – ознакомление с понятием и оптическими свойствами локализованных поверхностных плазмон-поляритонов в металлических наночастицах. В ходе работы студент самостоятельно подготавливает коллоидные растворы наночастиц золота и собирает простейшую оптическую схему для измерения их спектров пропускания. На следующем этапе с использованием собранного стенда студент определяет спектральное положение локализованных плазмонных резонансов для наночастиц различного размера и формы (наносфера, нанопалочка). На финальном этапе с использованием количественных оценок для положений плазмонных резонансов для однородных металлических частиц сферической и сфероидальной форм (полученных в рамках квазистатического приближения и более строгих моделей), студент определяет форму и размеры частиц, исходя из структуры характера и особенностей их спектров поглощения.

4. Комбинационное рассеяние света. Фурье спектроскопия

1. Комбинационное рассеяние света

Студенту будет предложено ознакомиться с принципами спектроскопии комбинационного рассеяния света, освоить современный раман-люминесцентный микроскоп и самостоятельно провести серию экспериментов, демонстрирующих применение спектроскопии комбинационного рассеяния света в различных областях:

- Идентификация материалов. В спектрах комбинационного рассеяния света в алмазе и фианите студент должен отождествить активные в КРС колебания и определить, какой кристалл является подделкой алмаза.
- Структурные свойства материалов. Производится измерение спектров КРС для кристаллов диоксида титана и отождествление наблюдаемых пиков исходя из фононных дисперсионных кривых и правил отбора для процессов неупругого рассеяния первого порядка. Затем студент проводит измерения для нанопорошков того же материала и интерпретирует изменения в спектрах КРС, связанные с размерными эффектами.
- Биология. Студенту предлагается измерить спектр комбинационного рассеяния света альбумина и отождествить пики КРС, соответствующие валентным $\nu(\text{COO}^-)$ и деформационным $\delta(\text{N}+\text{H}_3(2))$ колебаниям аминокислот.

2. Фурье спектроскопия

Студент знакомится с устройством и принципом работы современного Фурье спектрографа. Затем ему предлагается провести серию экспериментов, демонстрирующих применение Фурье спектроскопии в различных областях:

- Полупроводниковые технологии. На основе измерений спектров ИК пропускания студенту предлагается определить край фундаментального поглощения различных полупроводниковых материалов, а также оценить, какие из них нелегированные, а какие содержат высокую концентрацию носителей.
- Молекулярная спектроскопия. Измеряются спектры пропускания молекулярных газов, соответствующие колебательно-вращательным переходам. Затем студент производит сопоставление полученных данных с теоретическими расчетами и отождествляет наблюдаемые линии поглощения.
- Биология. Студенту предлагается измерить спектр пропускания альбумина и отождествить полосы поглощения, соответствующие валентным $\nu(\text{COO}^-)$ и деформационным $\delta(\text{N}+\text{H}_3(2))$ колебаниям аминокислот.

5. Спектроскопия насыщенного поглощения в ячейке с парами атомов Rb. Эффект Зеемана

Выполняется одна из двух работ:

1) Спектроскопия насыщенного поглощения в ячейке с парами атомов Rb

В рамках работы предлагается самостоятельно собрать и отладить оптическую схему и пронаблюдать резонансы насыщенного поглощения в ячейке со смесью паров ^{87}Rb и ^{85}Rb ; идентифицировать полученные контуры с конкретными переходами в атомах; исследовать зависимости характеристик резонансов от параметров эксперимента; оценить сверхтонкое расщепление и изотопический сдвиг; стабилизировать частоту лазера по контуру резонанса с использованием фазовой модуляции и синхронного детектирования.

2) Наблюдение эффекта Зеемана для атомов Rb методом спектроскопии насыщенного поглощения

В рамках работы предлагается пронаблюдать расщепление Зеемана во внешнем магнитном поле, поместив ячейку со смесью паров ^{87}Rb и ^{85}Rb в соленоид, формирующий постоянное однородное магнитное поле; определить g-факторы Ланде различных уровней по величине расщепления; поместить ячейку в магнитный экран и по уменьшению ширины контуров оценить лабораторное магнитное поле.

Семестр: 6 (Весенний)

6. Анализ влияния изотопического состава алмазной матрицы на свойства центров окраски в синтетических алмазах

Студенту предлагается самостоятельно собрать сопряженный с волоконным спектрографом конфокальный микроскоп и провести измерения спектров фотолюминесценции синтетических алмазов с разным изотопическим составом матрицы при температуре 77К. На основе измеренных спектров студенту необходимо определить характерные частоты фононов алмазной матрицы и локализованных фононов для GeV- и SiV- центров окраски.

7. Лазерное охлаждение и захват в магнитооптическую ловушку атомов рубидия

Целью настоящей лабораторной работы является знакомство студента с лазерным охлаждением и работой магнитооптической ловушки на примере атомов рубидия. В рамках выполнения работы необходимо стабилизировать частоты двух лазеров методом спектроскопии насыщенного поглощения, захватить атомы в магнито-оптическую ловушку, измерить температуру атомов методом баллистического разлета и исследовать субдоплеровское охлаждение.

8. Атомно-силовая микроскопия

На первом этапе проводится знакомство с физическими принципами атомно-силовой микроскопии и элементами атомно-силового микроскопа, включая систему обратной связи, синхронный детектор, сканирующие пьезо-подвижки и др. Затем студент самостоятельно проводит юстировку микроскопа. На финальном этапе студент получает изображения тестовых объектов в полуконтактном режиме: регистрирует морфологию поверхности эпитаксиальной гетероструктуры с квантовыми точками, определяет толщину монослоя графена или слоистого материала из группы дихалькогенидов переходных металлов, а также оценивает дисперсию размеров для порошковых наноматериалов.

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

Место проведения практикума – каб. 220, 222, 227 ЛК.

Оборудование и принадлежности, используемые в лабораторных работах:

Тема 1. Размерное квантование на примере полупроводниковой квантовой ямы

Оптическая плита А4, набор оптических компонент, образцы полупроводниковых наноструктур GaAs/AlGaAs, лазерный диод 405 нм, портативный спектрометр, персональный компьютер

Тема 2. Демонстрация основных принципов генерации когерентного излучения на примере полупроводникового лазера

Набор лазерных диодов с блоком питания, оптические и оптомеханические компоненты, фотодиод, волоконный спектрометр, сканирующий интерферометр, визуализатор ИК излучения, персональный компьютер

Тема 3. Спектроскопия коллоидных квантовых точек и металлических наночастиц

Оптическая плита А4, набор оптических компонент, растворы коллоидных квантовых точек различных диаметров, коллоидные растворы наночастиц золота, лазерный диод 405 нм, портативный спектрометр, персональный компьютер

Тема 4. Комбинационное рассеяние света. Фурье спектроскопия

Раман-люминесцентный микроскоп, персональный компьютер с установленным программным обеспечением, исследуемые образцы на стеклянных подложках. Фурье-спектрометр, компьютер с ПО, кюветы с исследуемыми газами, полупроводниковые образцы.

Тема 5. Спектроскопия насыщенного поглощения в ячейке с парами атомов Rb. Эффект Зеемана

Диодный лазер с внешним резонатором, блок управления, блок стабилизации частоты, ячейка с парами рубидия, оптический изолятор, фотодетекторы, оптические элементы, 4-канальный осциллограф, компьютер, соленоид, блок питания соленоида.

Тема 6. Анализ влияния изотопического состава алмазной матрицы на свойства центров окраски в синтетических алмазах

Оптическая плита А3 с отверстием для крепежа хладопровода, набор оптических компонент, синтетические алмазы, лазерный диод 405 нм, термос с жидким азотом, портативный спектрометр, персональный компьютер.

Тема 7. Лазерное охлаждение и захват в магнитооптическую ловушку атомов рубидия

2 диодных лазера с внешним резонатором, блоки управления и стабилизации частоты, ячейка с парами рубидия, магнитооптическая ловушка, фотодетекторы, оптические элементы, компьютер.

Тема 8. Атомно-силовая микроскопия

Атомно-силовой микроскоп с блоком управления, набор дополнительных игл (кантилеверов) и тестовых объектов.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в фурье-спектроскопию [Текст], монография/Р. Дж. Белл, -М., Мир, 1975
2. Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения [Текст]/В. С. Летохов, В. П. Чеботаев, -М., Наука, 1990
3. Принципы лазеров [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / О. Звелто ; пер. с англ. Д. Н. Козлова [и др.] ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова ; рус. пер. перераб. и доп. при участии автора книги .— 4-е изд. — СПб. : Лань, 2008 .— 720 с.

4. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов [Текст]/М. М. Сущинский, -М., Наука, 1969
5. В. Л. Миронов Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Российская академия наук, Институт физики микроструктур, г. Нижний Новгород (2004)
https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/brochures/osnovy_skaniruyushcej_zondovoj_mikroskopii.pdf
6. John R. Ferraro, Kazuo Nakamoto, and Chris W. Brown. Introductory Raman Spectroscopy. Elsevier, 2003.
<https://fulviofrison.com/attachments/article/406/introductory%20raman%20spectroscopy.pdf>
7. Сущинский М.М. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. Москва: Наука (1969).
8. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения. – Litres, 2018.
9. Raab E. L. et al. Trapping of neutral sodium atoms with radiation pressure //Physical review letters. – 1987. – Т. 59. – №. 23. – С. 2631.
Zachorowski J., Palasz T., Gawlik W. Magneto-optical trap for rubidium atoms //Optica Applicata. – 1998. – Т. 28. – С. 239-248.
https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Chapovsky/publication/225722476_Compact_magneto-optical_trap_for_rubidium_atoms/links/54cbb58f0cf24601c0890021/Compact-magneto-optical-trap-for-rubidium-atoms.pdf

Дополнительная литература

1. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева. — 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006. — 792 с.
2. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк. — М. : Физматкнига, 2006. — 640 с.
3. Введение в теорию атомных спектров [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. И. Собельман. — М. : Наука, 1977. — 320 с.
4. Современная лазерная спектроскопия [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. Демтрёдер ; пер. с англ. М. В. Рябининой [и др.] ; под ред. Л. А. Мельникова. — [4-е изд., перераб.] — Долгопрудный : Интеллект, 2014
5. Bastard G., Brum J. A., Ferreira R. Electronic states in semiconductor heterostructures/ Physics and Applications of Quantum Wells and Superlattices, ed. by E.E. Mendez, K. von Klitzing. Plenum Press, New York (1987)
https://www.researchgate.net/publication/2971143_Electronic_States_in_Semiconductor_Heterostructures
6. Yamada M. Theory of semiconductor lasers. – 2014. – Т. 185.

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

<https://steck.us/alkalidata/> - D. A. Steck, Rubidium 85 D Line Data, Rubidium 87 D Line Data - ресурс постоянно обновляется, текущая версия 2021.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В лабораторном практикуме компьютеры используются как измерительные приборы и оборудование для обработки данных. На данных компьютерах используются ОС Windows, Microsoft Office, а также программное обеспечение, поставляемое в комплекте с измерительными спектральными приборами.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных практических задач.

Успешное освоение курса требует:

– посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;

- ведения конспекта занятий и лабораторного журнала;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях; проведение численных оценок по порядку величины; написание программ для теоретических расчётов параметров, измеряемых в лаборатории.
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.С. Кривобок, канд. физ.-мат. наук

Е.С. Мирончук, канд. физ.-мат. наук

Г.А. Вишнякова, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
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
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы современной физики: лабораторный практикум (КРФ)» обучающийся должен:

знать:

- основные принципы генерации когерентного излучения;
- явления, возникающие при взаимодействии излучения с веществом;
- эффекты размерного квантования в одномерных и двумерных системах;
- устройство и принципы работы атомно-силового микроскопа, раман-люминесцентного микроскопа, фурье-спектрометра;
- принципы лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов.

уметь:

- проектировать и собирать измерительные схемы для проведения спектральных исследований;
- проводить моделирование квантоворазмерных структур, сравнительный анализ расчётов с экспериментальными результатами;
- работать на современном физическом оборудовании и с современными экспериментальными образцами, соблюдая правила работы в лаборатории и требования техники безопасности.

владеть:

- методами исследования спектров поглощения и люминесценции полупроводниковых квантовых структур и биологических объектов;
- методом спектроскопии насыщенного поглощения в ячейке с парами атомного газа;
- принципами фурье-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света;
- принципами лазерного охлаждения и захвата атомов в магнитооптическую ловушку;
- навыками работы на современных экспериментальных установках.

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

Не предусмотрено.

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

Примеры контрольных вопросов:

5 семестр:

1. Квантование энергетических уровней в прямоугольной потенциальной яме, граничные условия в реальных системах.
2. Энергетические схемы объёмного полупроводника и квантовой ямы. Электроны и дырки. Понятие эффективной массы.
3. Процесс фотолюминесценции в полупроводниках. Форма линии излучения для электронно-дырочной плазмы в объёмном и двумерном полупроводниках.
4. Зависимость положения линии фотолюминесценции квантовой ямы от толщины ямы, толщины барьера и количества примеси.
5. Принципы работы оптического квантового генератора.
6. Устройство и принципы работы полупроводникового лазера.
7. Основные характеристики диодного лазера: пороговый ток, коэффициент усиления, ширина линии, спектральный состав излучения. Фундаментальный предел ширины линии генерации лазера.
8. Схемы обратной связи диодных лазеров.

6 семестр:

1. Физические основы АСМ: потенциал Ленарда-Джонса, вынужденные колебания, фазовый контраст.
2. Основные режимы работы АСМ.

3. Система регистрации изгиба кантилевера.
4. Принцип работы системы обратной связи.
5. Принципы лазерного охлаждения атомов.
6. Устройство и принцип работы магнито-оптической ловушки.
7. Измерение температуры атомов методом баллистического разлёта.
8. Субдоплеровское охлаждение атомов.

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

Дифференцированный зачёт проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.