

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Семинар по квантовой электронике
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составили:

Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

И.И. Савельев, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

Аннотация

Курс "Семинар по квантовой электронике" предусматривает приобретение студентами знаний в области квантовой электроники, связанных со взаимодействием излучения и вещества и основными принципами построения и работы лазеров.

Задачи курса:

- развитие у студента понимания процессов, происходящих при взаимодействии излучения с веществом с квантовых позиций;
- освещение физики работы лазера;
- классификация лазеров различных типов и объяснение особенностей их работы.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- основы теории физики, строения, применения лазеров.

Уметь:

- на основании полученных знания проектировать лазерные системы для различных применений, анализировать их работу и практическую полезность для применения в области квантовой электроники.

Владеть:

- физико-математическим аппаратом, описывающим основные физические явления, происходящие в материалах и объектах квантовой электроники.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Элементарная квантовая теория.
2. Квантовая теория излучения.
3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля.
4. Взаимодействие поля излучения с атомными и молекулярными средами.
5. Основные принципы работы лазера.
6. Различные типы лазеров.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- приобретение студентами знаний в области квантовой электроники, связанных со взаимодействием излучения и вещества и основными принципами построения и работы лазеров.

Задачи дисциплины

- развитие у студента понимания процессов, происходящих при взаимодействии излучения с веществом с квантовых позиций;
- освещение физики работы лазера;
- классификация лазеров различных типов и объяснение особенностей их работы.

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-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	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-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы теории физики, строения, применения лазеров.

уметь:

- на основании полученных знаний проектировать лазерные системы для различных применений, анализировать их работу и практическую полезность для применения в области квантовой электроники.

владеть:

- физико-математическим аппаратом, описывающим основные физические явления, происходящие в материалах и объектах квантовой электроники.

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	Элементарная квантовая теория.		6		2
2	Квантовая теория излучения.		6		2
3	Квантовая теория свободного электромагнитного поля.		6		2
4	Взаимодействие поля излучения с атомными и молекулярными средами.		4		2
5	Основные принципы работы лазера.		4		4
6	Различные типы лазеров.		4		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: 8 (Весенний)

1. Элементарная квантовая теория.

Вещество как система многих частиц. Уравнение Шредингера и зависимость волновой функции от времени. Современные теоретические методы в квантовой теории излучения. Теория возмущений как основной математический аппарат. Многообразие формулировок теории возмущений. Матричная формулировка теории возмущений на основе алгебры проекторов. Гамильтониан квантовой частицы. Расчет волновых функций состояния частицы.

2. Квантовая теория излучения.

Понятие о квантовом излучении. Формула Планка и коэффициенты Эйнштейна. Гармонический осциллятор (квантовый и классический). Собственные состояния и вектора. Операторы рождения и уничтожения частиц и их алгебраические свойства.

3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля.

Общая характеристика и свойства электромагнитного поля в стационарном состоянии. Разложение электромагнитного поля по свободным типам колебаний. Понятие электромагнитного вакуума. Состояния квантованного поля излучения.

4. Взаимодействие поля излучения с атомными и молекулярными средами.

Поглощение, переизлучение, рассеяние. Функции пропускания и прямые методы расчета прозрачности среды. Влияние среды на параметры распространяющегося излучения (спектральное распределение интенсивности и ширина излучения, форма контура линии излучения). Фазовые соотношения в процессах поглощения и испускания. Матричный элемент оператора в базисе волновых функций – основа математического формализма фундаментальной квантовой теории. Правила отбора для матричных элементов. Вероятности мультипольных переходов. Операторы взаимодействия.

5. Основные принципы работы лазера.

Введение в теорию лазеров. Лазер как оптический генератор. Физика работы лазера. Режимы работы лазера.

6. Различные типы лазеров.

Описание лазеров различных типов. Различие в принципах их работы. Области применения различных лазеров.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. - М.: Наука, 1988. - 336 с.
2. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника. - М.: Высшая школа, 2001. - 573 с.
3. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Панченко В. Я., Голубев В. С., Васильцов В. В., Галушкин М. Г. [и др.]; под ред. В.Я. Панченко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
4. Тарасов Л. В. Четырнадцать лекций о лазерах. - изд. 2-е, перераб. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. - 176 с.

Дополнительная литература

1. Зверев Г. М., Голяев Ю. Д.. Лазеры на кристаллах и их применение. М. - Радио и Связь, 1994 - 312 с.
2. Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В. Прикладная нелинейная оптика. - М.: Наука, 2004

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

1. <http://www.ru.wikipedia.org>
2. <http://www.qwuantum-electron.ru>
3. <http://www.exp.window.edu.ru>

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

на семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

- 1) посещение всех семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

Ю.А. Кротов, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

И.И. Савельев, канд. физ.-мат. наук, доцент

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-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	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-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Семинар по квантовой электронике» обучающийся должен:

знать:

- основы теории физики, строения, применения лазеров.

уметь:

- на основании полученных знаний проектировать лазерные системы для различных применений, анализировать их работу и практическую полезность для применения в области квантовой электроники.

владеть:

- физико-математическим аппаратом, описывающим основные физические явления, происходящие в материалах и объектах квантовой электроники.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

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

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Операторное исчисление, бра и кет векторы.
2. Уравнение Шредингера и зависимость волновой функции от времени.
3. Теория возмущений.
4. Гамильтониан квантовой частицы.
5. Формула Планка, график функции.
6. Коэффициенты Эйнштейна.
7. Гармонический осциллятор (квантовый и классический)..
8. Квантование свободного электромагнитного поля.
9. Энергетический спектр и стационарные состояния свободного электромагнитного поля.
10. Понятие электромагнитного вакуума.
11. Понятие фотона. Свойства фотона.
12. Операторы рождения и уничтожения для фотонов.
13. Матрица плотности в квантовой теории и ее свойства.
14. Когерентность в ансамблях квантовых излучателей.
15. Основные физические механизмы взаимодействия излучения с веществом.
16. Поглощение, переизлучение, рассеяние.
17. Фазовые соотношения в процессах поглощения и испускания.
18. Правила отбора.

19. Операторы взаимодействия.
20. Лазер как генератор.
21. Закон Бугера.
22. Непрерывный режим работы лазера.
23. Генерация импульсов.
24. Зависимость мощности излучения лазера от накачки.
25. Получение импульсов в лазере.
26. Лазеры различных типов.
27. Волоконно-оптические лазеры и усилители и используемые в них материалы.
28. Особенности лазеров с диодной накачкой.
29. Твердотельные лазеры.
30. Газовые лазеры.
31. Полупроводниковые лазеры.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;

- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.