

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Экстремальная терагерцевая оптика

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма
и аттосекундная физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

Д.ф.-м.н., профессор, Шкуринов Александр Павлович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Экстремальная терагерцевая оптика»

В курсе изучаются основы современной терагерцовой фотоники и оптоэлектроники с конечной целью развития методов диагностики вещества с помощью электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот большой интенсивности. Курс начинается с вводной лекции, в которой рассказывается история появления нового раздела фотоники и оптоэлектроники, который использует электромагнитное излучение терагерцового диапазона частот. В вводной лекции анализируются основные свойства этого излучения, обосновывается его специфичность для применения в различных областях знаний, в том числе и в оптике сверхсильных электромагнитных полей. Далее в курсе проводится обсуждение основ взаимодействия электромагнитного излучения с веществом с общей направленностью на специфичность частотного диапазона. Важной частью курса является изложение диэлектрической теории среды для различных типов материалов и частотных диапазонов электромагнитного излучения. Анализируются специфические особенности частотно-зависимого взаимодействия ТГц излучения с проводниками, изоляторами и полупроводниками. В курсе излагаются основы молекулярной спектроскопии веществ в терагерцовом и соседних с ним частотных диапазонах применительно к веществам в различных фазовых состояниях, от газов и плазмы до твердого тела.

Далее в курсе обсуждаются основы генерации и детектирования терагерцового излучения импульсного и непрерывного типа, а также обсуждению основных приложений терагерцового излучения в различных областях науки и техники. Существенное внимание уделяется мощным источникам терагерцового излучения, включая ускорительные и мощные лазерные системы. Эта часть курса включает освящение технологических основ создания элементной базы терагерцовой оптоэлектроники и оптических элементов терагерцового диапазона частот. Последняя лекция первой части второго раздела посвящена современным системам двумерного анализа изображений объектов в терагерцовом диапазоне частот при анализе пассивного излучения объекта или при его активной подсветке. Знания, полученные при освоении первого раздела второй части курса, позволят осознанно подходить к созданию практических систем, использующих излучение терагерцового диапазона частот.

Заключительная часть курса посвящена изложению физических основ ключевых приложений излучения терагерцового диапазона частот связанных с применением сверхсильных полей. Лекционный курс включает в себя обзор основ терагерцовой связи и локации, дистанционного зондирования и основных медико-биологических приложений терагерцового излучения. Излагаемый материал сочетает в себе как классические фундаментальные основы соответствующих методов, так и изложение новейших достижений развития методов современной спектроскопии различных частотных диапазонов, но с основной направленностью на применение излучения терагерцового диапазона частот.

Разделы рабочей программы

1. Цели освоения учебной дисциплины.
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).

3. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
4. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
5. Форма обучения.
6. Язык обучения.
7. Содержание дисциплины.
8. Объем дисциплины
9. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
10. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
11. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
12. Шкала оценивания.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
14. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
15. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Цели освоения учебной дисциплины.

Цель преподавания данной дисциплины состоит в получении студентами необходимых знаний и формирование у них практических навыков необходимых для освоения современной экспериментальной техники и аналитических методик в радиофизике, физической и квантовой электронике, нелинейной оптике и лазерной физике.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Экстремальная терагерцевая оптика» реализуется на 1-ом курсе в 2-ом семестре и относится к вариативной части программы обучения. В результате освоения дисциплины «Экстремальная терагерцевая оптика» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

3. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	<p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и	<p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p>

аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).	ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.
<ul style="list-style-type: none"> Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3). 	ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики. УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Темы занятий / Содержание
<p>1. История появления, основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники, генерация и детектирование терагерцового излучения. Терагерцовое излучение. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение. Генерация и детектирование терагерцового излучения. Общая схема генерации и детектирования широкополосного ТГц излучения с помощью фемтосекундных лазеров. Фотопроводящие антенны, оптическое выпрямление и электро-оптическое детектирование. Непрерывные источники терагерцового излучения. Газовые лазеры, фотосмесители, электро-ламповые источники. Лазерные терагерцовые источники с оптической накачкой, квантово-каскадные лазеры. Детектирование терагерцового излучения, тепловые и гетеродинные детекторы.</p>
<p>2. Основные элементы терагерцовой оптики и основы построения терагерцовых оптических систем. Особенности оптики ТГц диапазона частот. Гаусовы оптические пучки и идеальные оптические системы. Распространение, фокусирование и расчет гаусовых систем методами ABCD матриц. Терагерцовые оптические элементы: зеркала, линзы, делительные и поляризационные элементы. Амплитудная и фазовая терагерцовая дифракционная оптика. Расчет и дизайн терагерцовых оптических систем. Режимы гауссовых пучков высших порядков. Аберрации, искажения пучков, частичная когерентность и многомодовые терагерцовые системы.</p>
<p>3. Диэлектрические свойства среды в терагерцовом диапазоне частот. Комплексный показатель преломления среды в ТГц диапазоне спектра. Микроскопические и макроскопические модели. Модель Лоренца оптических свойств диэлектриков. Поляризация. Модель Друде оптических свойств металлов. Проводимость Друде. Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления. Определение комплексного показателя преломления с использованием передаточных функций плоского и сходящегося пучка. Комплексный коэффициент пропускания и отражения. Амплитуда и фаза. Модели эффективной среды, модифицированные</p>

<p>дисперсионные соотношения Крамерса – Кронига при анализе терагерцовых спектров. Метод максимальной энтропии в ТГц спектроскопии отражения во временной области.</p>
<p>4. Рассеяние в терагерцовом диапазоне частот. Отражение и пропускание Терагерцового излучения в системе с гладкими плоскими границами раздела. Случайные среды, объемное рассеяние и поглощение. Терагерцовое отражение от случайных шероховатых поверхностей. Рассеяние на отдельных частицах. Рассеяние на случайно распределенных ансамблях частиц, численные расчеты и моделирование методом Монте-Карло.</p>
<p>5. Фазово-пространственная обработка терагерцового излучения. Параметры, используемые для характеристики ТГц полей. Функция распределения Вигнера и ее приложения в обработке сигналов. Функция неоднозначности, спектрограмма и их приложения в обработке сигналов. Вейвлет-преобразование и оконное преобразование Фурье и их приложения в обработке ТГц сигналов.</p>
<p>6. Терагерцовая спектроскопия кристаллических и некристаллических твердых тел. Вычислительные методы моделирования кристаллических материалов. Постановка измерительной задачи: учет рассеяния, предварительные приготовления образцов. Расчет оптических констант. Динамический диапазон измерительной процедуры. Спектроскопия кристаллических твердых тел. Биомолекулы. Малые органические молекулы. Моделирование одиночной молекулы и переход к периодическому кристаллу. Расчеты структуры. Теория кристаллических фононов в одномерном кристалле. Нормальные молекулярные колебания в вакууме и в конденсированном состоянии. Фононы в трехмерном кристалле. Метод атомно-атомного потенциала (силового поля). Квантово-механическая модель. Расчеты полной структуры.</p>
<p>7. Терагерцовая спектроскопия жидкостей, биомолекул, жидких кристаллов и полимеров. Модель жидкости. Особенности терагерцового диэлектрического отклика для жидкостей. Расчет пропускания жидкостей. Биомолекулы в терагерцовом диапазоне частот. Жидкие кристаллы и их применение в ТГц диапазоне частот. Фазы жидких кристаллов. Положительная и отрицательная диэлектрическая анизотропия. ТГц спектроскопия жидких кристаллов. Макроскопические ТГц свойства жидких кристаллов. Терагерцовая спектроскопия полимеров. Диэлектрические свойства полимеров в терагерцовом диапазоне частот. Происхождение спектральных характеристик. Проверка пластиковых сварных швов. Определение ориентации волокна в армированных пластмассах.</p>
<p>8. Техника терагерцовой спектроскопии: нелинейная терагерцовая спектроскопия, спектроскопия «накачка-зондирование» на терагерцовых частотах, эллипсометрия и активный поляризационный контроль. Техника спектроскопии «накачка-зондирование» на терагерцовой частотах. Описание схем эксперимента. Определение параметров вещества. Модели динамической проводимости. Исследование неорганических полупроводников. Объемные эффекты. Экситонные системы и наноструктуры. Исследование органических полупроводников. Графит, графен и углеродные нанотрубки. Полупроводниковые полимеры. Эллипсометрия во временной области в режиме пропускания. Метод измерения состояния поляризации с проволочными поляризаторами, примеры измерения поляризации. Расчет тензора диэлектрической проницаемости. Магнитооптический режим эллипсометрии во временной области с режимом отражения. Активное управление поляризацией терагерцовой волны. Генерация терагерцовых импульсов большой интенсивности. Терагерцовая генерация в газовой плазме. Генерация мощных терагерцовых импульсов с помощью оптического выпрямления. Методы нелинейной спектроскопии в ТГц диапазоне. Пропускание, зависящее от интенсивности. Двумерная ТГц спектроскопия. ТГц нелинейная оптика. Нелинейная ТГц спектроскопия полупроводников. Пондеромоторная сила в ТГц поле. ТГц баллистический транспорт. Управление экситонами с помощью терагерцовых полей. Нелинейная колебательная спектроскопия. Влияние терагерцовых импульсов на магнитное поле. ТГц возбуждение сильно коррелированных материалов.</p>

<p>9. Техника и приложения терагерцовых изображений. Терагерцовая визуализация ближнего поля. Биомедицинская визуализация. Терагерцовая томография.</p> <p>Ближнее поле, дальнее поле и дифракционный предел. Безапертурная микроскопия ближнего поля. Апертурные методы. Волноводы, динамические апертуры и квазиапертуры. Визуализация ближнего поля ТГц диапазона. Почему терагерцовое излучение подходит для исследования биомедицинских систем. Чувствительность к межмолекулярным взаимодействиям, безопасность. Базовые приготовления образцов для визуализации. Тканевая (де-)гидратация. Повторяемость измерений для тонких и толстых образцов. Особенности исследования гомогенных и неоднородных образцов. Полоса пропускания и осевое разрешение. Отношение сигнал / шум и глубина проникновения. Структурная и спектроскопическая информация. Визуализация против спектроскопии. Экспериментальная геометрия на пропускание и отражение. Медицинские применения: рак молочной железы, рак кожи, рак толстой кишки, Кариес. Принцип Компьютерной томографии (КТ). Примеры применения ТГц-КТ. Время-пролетная терагерцовая томография. Терагерцовые камеры и системы двумерного сканирования объекта. Создание, обработка и применение терагерцовых изображений.</p>
<p>10. Терагерцовая спектроскопия высокого разрешения. Спектроскопия газов, паров. Атмосферные маркеры.</p> <p>Типовые схемы абсорбционных спектрометров высокого разрешения. Основные представления квантовой физики. Колебательно- вращательные переходы в молекулах. Приближения Борна- Оппенгеймера. Колебания. Обертоны и комбинационные частоты.</p>
<p>11. Метаматериалы и функциональные материалы ТГц диапазона частот. Терагерцовая связь и передача информации. Дистанционное зондирование с помощью терагерцового излучения. Лидары. Терагерцовая локация.</p>
<p>12. Диагностика плазмы и экстремальных состояний вещества. Импульсная и непрерывная терагерцовая спектроскопия вещества в различных фазовых состояниях.</p>

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Семинаров	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Экстремальная терагерцовая оптика	2	72	36	18	18	36	

9. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Экстремальная терагерцевая оптика» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям, выполнения домашних заданий. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	История появления и основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники. Терагерцовая область частот спектра электромагнитного излучения. История Терагерцовых исследований от конца 19 века до наших дней. Причины повышенного интереса к этой области в наши дни. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение.	4	1		1	2	Собеседование, опрос
2	Источники и детекторы терагерцового диапазона частот. Терагерцовая оптика Источники терагерцового излучения. Источники, основанные на тепловом излучении: Глобар, плазмо-разрядные источники излучения; Газовые Лазеры с электрической и оптической накачкой; Полупроводниковые лазеры на «объемном» кремнии и германии.	8	2	-	2	4	

	<p>Квантово-каскадные лазеры Оптические смесители. Источники, использующие низкотемпературный арсенид галлия. Оптические антенны. Диоды Шоттки; Генераторы гармоник; Лампа обратной волны, гиротроны; Источники Смита-Перселла . Терагерцовые источники на основе Релятивистских электронов. Когерентное Синхротронное излучение электрона из накопительного кольца. Когерентное Синхротронное Излучение от линейных ускорителей. Лазеры на свободных электронах. Параметрические генераторы ТГц излучения Детектирование терагенцового излучения. Основные принципы и специфические особенности детектирования терагерцового излучения. Теория терагерцовых детекторов, параметры Детектора и взаимосвязь между параметрами детектора. Источники шума детектора в терагерцовом диапазоне частот. Тепловых детекторы, Детектор Голая, Пирозлектрические Детекторы, Термопилы Измерители мощности. Полупроводниковые и сверхпроводящие Боллометры. Микроболлометры комнатной температуры. Фотопроводящие детекторы различного типа. Системы детектирования на основе гетеродина. Теория Гетеродинного Обнаружения. Смесители на основе Диода Шоттки, сверхпроводникового смесителя типа изолятор- Сверхпроводник и боллометра на горячих Электронах.</p>						
--	--	--	--	--	--	--	--

3	<p>Основы оптики на терагерцовых частотах. Распространение и фокусировка терагерцового Гауссова пучка в идеальных оптических системах. Терагерцовые оптические элементы и системы: зеркала, линзы, интерферометры и т.п. Системы и элементы управления терагерцовым излучением. Основные принципы построения ТГц оптических систем. Критерии выбора основных элементов.</p>	4	1		1	2	
4	<p>Диэлектрические свойства вещества в терагерцовом диапазоне частот. Особенности свойства комплексной диэлектрической проницаемости. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициенты пропускания и отражения. Модель эффективной среды в ТГц частотах. Модифицированные дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига в терагерцовом спектральном анализе. Метод максимальной энтропии при решении задач спектроскопии отражения.</p>	4	1		1	2	
5	<p>Рассеяние терагерцового излучения Отражение и пропускание терагерцового излучения от образцов с гладкими плоскими границами Отражение и пропускание от полубесконечной одиночной границе. Отражение и пропускание от слоя. Модель шероховатой среды. Отражение терагерцового излучения от поверхности со случайной шероховатостью.</p>	4	1		1	2	

	<p>Объемное рассеяние и поглощение терагерцового излучения</p> <p>Рассеяние от единичных частиц</p> <p>Рассеяние из случайно распределенного распределения</p> <p>Численные расчеты и моделирование с помощью метода Монте-Карло.</p>						
6	<p>Представление терагерцового излучения в фазовом пространстве.</p> <p>Введение</p> <p>Параметры, используемые для характеристики ТГц полей</p> <p>Формализм фазового пространства для определения свойств и преобразования терагерцовых пучков</p> <p>Функция распределения Вигнера и ее применения в обработке сигнала.</p> <p>Функция неопределенности и ее приложения в обработке сигналов.</p> <p>Спектрограмма и ее применение в обработке терагерцовых сигналов.</p> <p>Вейвлет-преобразование и его приложения в обработке сигналов.</p> <p>Дробное преобразование Фурье и его применения в обработке сигнала.</p>	4	1		1	2	
7	<p>Вычислительные методы для интерпретации спектральных особенностей в ТГц диапазоне частот в кристаллических материалах.</p> <p>Введение.</p> <p>Изолированная Молекула по сравнению с периодическим кристаллом</p> <p>Теория кристаллических фононов.</p> <p>Фонон в Одномерном кристалле.</p> <p>Нормальные моды в вакууме и в конденсированном состоянии.</p>	8	2		2	4	

	Фононы в 3D кристалле. Различные метода методы расчета. потенциал Атом- Атом, квантово-механические расчеты электронной структуры, молекулярная динамика.					
8	Терагерцовая спектроскопия Терагерцовая спектроскопия кристаллических и Некристаллических Тел Введение Вопросы проведения измерений Влияние рассеяние Подготовка образцов Расчет оптических констант при ТГц измерениях. Динамический диапазон измерительной системы Спектроскопия кристаллических твердых тел Биомолекулы Малые Органические Молекулы Взрывчатые вещества Другие Кристаллические Материалы Спектроскопия Некристаллических твердых тел Стекла Упорядоченные Углеродсодержащих Материалов.	4	1	1	2	
9	Терагерцовая спектроскопия жидкостей и биомолекул. Жидкости. Терагерцовый отклик жидкостей. Пропускание жидкостей Биомолекулы. Терагерцовый отклик Биомолекул. Системы регистрации и анализа ТГц изображений Терагерцовое изображение Ближнего Поля. Биомедицинская Визуализация ТГц томография	8	2	2	4	

<p>10</p>	<p>Терагерцовая спектроскопия с временным разрешением- "накачка-зондирование" Введение Техника терагерцовой спектроскопии с временным разрешением. Особенности получения экспериментальных данных, модели электропроводности. Неорганические Полупроводники Объемные полупроводники Экситонные системы Наноструктуры Органические Полупроводники Графит и Графен Углеродные Нанотрубки. Полупроводниковые Полимеры. 10.5 Различные гибридные системы Нелинейная Терагерцовая Спектроскопия. Генерация импульсов ТГц высокой интенсивности. Методы Нелинейной ТГц Спектроскопии ТГц Нелинейная Оптика Нелинейная ТГц спектроскопия полупроводников Нелинейная Колебательная Спектроскопия эффекты магнитного поля импульсов ТГц. ТГц возбуждение сильно Коррелированных материалов.</p>	<p>8</p>	<p>2</p>	<p>2</p>	<p>4</p>	
<p>11</p>	<p>Терагерцовая спектроскопия: эллипсометрия и управление составными поляризация терагерцового излучения Введение. Эллипсометрия с временным разрешением на пропускание Метод измерения состояния поляризации с помощью пленочного поляризатора.</p>	<p>8</p>	<p>2</p>	<p>2</p>	<p>4</p>	

	<p>Расчет Тензора диэлектрической восприимчивости. Режим Отражения при поляризационных измерениях с временным разрешением. Магнитооптическая Эллипсометрия. Активное управление состоянием поляризации терагерцового излучения</p>						
12	<p>Прикладные аспекты ТГц фотоники Жидкие кристаллы и их применение в ТГц диапазоне частот. жидкие кристаллы на ТГц частотах Современное состояние исследований. Фазы Жидких Кристаллов и их основные свойства Положительная и отрицательная диэлектрическая анизотропия. Чистые и смесевые жидкие кристаллы. Макроскопические свойства жидких кристаллов - от кГц до УФ ТГц спектроскопия жидких кристаллов. Терагерцовая спектроскопия полимеров. Диэлектрические свойства полимеров в Терагерцовом диапазоне частот. Происхождение спектральных особенностей. Контроль температуры стеклования. Полимерные Соединения. Применения ТГц систем полимерной промышленности Диагностика пластиковых сварных соединений и ориентации волокон.</p>	4	1		1	2	
	Промежуточная аттестация	4				4	Экзамен в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

10. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Экстремальная терагерцевая оптика» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Экстремальная терагерцевая оптика» проводится в форме экзамена. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

11. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену

12. Шкала оценивания.

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (ПК-1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-3).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (ПК-1, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ПК-1, СПК-3).

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики

<p>ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-3).</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>

<p>УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (ПК-1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>
<p>УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>

<p>УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (ПК-1, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>
<p>ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (ПК-1, СПК-1).	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики
ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ПК-1, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Особенности терагерцового диапазона частот.
2. Основные методы генерации и детектирования ТГц излучения
3. Какие параметры характеризуют пучок импульсного ТГц излучения
4. Каковы основные математические методы обработки результатов ТГц исследований
5. Основные методы ТГц спектроскопии с временным разрешением.
6. Свойства молекул и кристаллов в ТГц диапазоне частот.
7. Спектроскопия жидкостей и газов в ТГц диапазоне частот.
8. Терагерцовые свойства жидких кристаллов и полимеров.
9. Терагерцовые изображения.
10. Нелинейная терагерцовая фотоника.

14. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме экзамена:

Типовые вопросы:

1. История появления и основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники.
2. Терагерцовая область частот спектра электромагнитного излучения. История Терагерцовых исследований от конца 19 века до наших дней. Причины повышенного интереса к этой области в наши дни.
3. Особенности терагерцового диапазона частот, тепловое излучение. Космическое излучение.
4. Источники терагерцового излучения, основанные на тепловом излучении: Глобар, плазмо-разрядные источники излучения;
5. Газовые Лазеры с электрической и оптической накачкой. Полупроводниковые лазеры на «объемном» кремнии и германии.
6. Квантово-каскадные лазеры. Оптические смесители. Источники, использующие низкотемпературный арсенид галлия. Оптические антенны.
7. Диоды Шоттки; Генераторы гармоник;
8. Ламповые и вакуумные источники. Лампа обратной волны, гиротроны; Источники Смита-Перселла. Терагерцовые источники на основе Релятивистских электронов. Когерентное Синхротронное излучение электрона из накопительного кольца. Когерентное Синхротронное Излучение от линейных ускорителей. Лазеры на свободных электронах.
9. Нелинейно-оптические источники ТГц излучения. Параметрические генераторы ТГц излучения
10. Основные принципы и специфические особенности детектирования терагерцового излучения. Теория терагерцовых детекторов, параметры Детектора и взаимосвязь между параметрами детектора. Источники шума детектора в терагерцовом диапазоне частот. Тепловых детекторы.
11. Детектор Голая. Пироэлектрические Детекторы. Термопилы. Измерители мощности. Полупроводниковые и сверхпроводящие Болометры. Микроболометры комнатной температуры. Фотопроводящие детекторы различного типа. Системы детектирования на основе гетеродина. Теория Гетеродинного Обнаружения. Смесители на основе Диода Шоттки, сверхпроводящего смесителя типа изолятор-Сверхпроводник и болометра на горячих Электронах.

12. Распространение и фокусировка терагерцового Гауссова пучка в идеальных оптических системах. Терагерцовые оптические элементы и системы: зеркала, линзы, интерферометры и т.п.
13. Системы и элементы управления терагерцовым излучением. Основные принципы построения ТГц оптических систем. Критерии выбора основных элементов.
14. Параметры, используемые для характеристики ТГц полей Формализм фазового пространства для определения свойств и преобразования терагерцовых пучков
Функция распределения Вигнера и ее применения в обработке сигнала. Функция неопределенности и ее приложения в обработке сигналов Спектрограмма и ее применение в обработке терагерцовых сигналов. Вейвлет-преобразование и его приложения в обработке сигналов.
15. Вычислительные методы для интерпретации спектральных особенностей в ТГц диапазоне частот в кристаллических материалах. Изолированная Молекула по сравнению с периодическим кристаллом. Теория кристаллических фононов. Фонон в Одномерном кристалле. Нормальные моды в вакууме и в конденсированном состоянии. Фононы в 3D кристалле.
16. Терагерцовая спектроскопия кристаллических и Некристаллических Тел. Влияние рассеяние на характер спектров. Расчет оптических констант при ТГц измерениях. Динамический диапазон измерительной системы.
17. Спектроскопия кристаллических твердых тел. Спектры биомолекул. Малые Органические Молекулы. Взрывчатые вещества. Другие Кристаллические Материалы. Спектроскопия Некристаллических твердых тел и стекол. Упорядоченные Углеродсодержащие Материалы.
18. Терагерцовая спектроскопия жидкостей и биомолекул.
19. Терагерцовая спектроскопия с временным разрешением- "накачка-зондирование". Техника терагерцовой спектроскопии с временным разрешением.
20. Терагерцовая спектроскопия: эллипсометрия и управление состоянием поляризации терагерцового излучения. Активное управление состоянием поляризации терагерцового излучения.
21. Терагерцовая спектроскопия полимеров и кристаллов.
22. Нелинейная Терагерцовая Спектроскопия. Генерация терагерцовых импульсов высокой интенсивности. Методы Нелинейной ТГц Спектроскопии.
23. Нелинейная ТГц спектроскопия полупроводников. Нелинейная Колебательная Спектроскопия. Эффекты магнитного поля импульсов ТГц. ТГц возбуждение сильно Коррелированных материалов.
24. Системы регистрации и анализа ТГц изображений. Терагерцовое изображение Ближнего Поля. Биомедицинская Визуализация. ТГц томография

15. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. Волькенштейн М.В., Грибов Л.А., Ельяшевич М.А., Степанов Б.И., Колебания молекул. Наука 1972.
2. Ю.А.Пентин, Г.М.Курамшина. Основы молекулярной спектроскопии, БИНОМ, МИР, 2008
3. К.Бенуэлл, Основы молекулярной спектроскопии, МИР, 1985
4. Н.Н.Кудрявцев, Основы Молекулярной спектроскопии, Москва, Издательство ВЗПИ, 1990.
5. Ю.И.Сирпотин, М.П.Шаскольская, Основы кристаллофизики, Москва, Наука, 1979.
6. Харт Х. Введение в измерительную технику. М. Мир, 1999.

Дополнительная литература

1. В. Демтредер Лазерная Спектроскопия, Москва, Наука, 1985
2. Ф.Ф.Сизов Фото-электроника для систем видения. Киев, Академперіодика, 2008.
3. Ф.И.Федоров Оптика анизотропных сред, Москва, УРСС, 2004
4. Максимычев А.В. Физические методы исследования. 1. Погрешности измерений. М., МФТИ, 2006.
5. Стариковская С.М. Физические методы исследования. Семинарские занятия. 1.1. Учет погрешностей при обработке результатов измерений: М: МФТИ, 2003
6. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М. Мир, 1985.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. Высшая школа, 2002.
8. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М. Постмаркет, 2000.
9. Худсон Д. Статистика для физиков. М.Мир, 1970

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, интерактивной доской, и управляющим компьютером. Также необходимо наличие экрана и обычной учебной доски.