

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:**

ТЕРАГЕРЦОВАЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Лазерная нелинейная оптика и фотоника

---

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**

### **«Терагерцовая оптоэлектроника»**

---

В курсе изучаются основы современной оптоэлектроники с конечной целью развития методов диагностики вещества с помощью электромагнитного излучения терагерцового диапазона частот и создания аппаратуры практического применения этого излучения. Курс состоит из двух разделов. Первый раздел курса посвящен обсуждению основ взаимодействия электромагнитного излучения с веществом с общей направленностью на специфичность терагерцового частотного диапазона, 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. Второй раздел курса посвящен изложению основ и методик генерации и детектирования терагерцового излучения импульсного и непрерывного типа. Существенное внимание уделяется мощным источникам терагерцового излучения, включая ускорительные и мощные лазерные системы. В этой части курса излагаются физические основы ключевых приложений излучения терагерцового диапазона частот. Лекционный курс включает в себя обзор основ терагерцовой связи и локации, дистанционного зондирования и основных медико-биологических приложений терагерцового излучения.

Дисциплина читается на 2м году обучения в 1 ом семестре

#### **Разделы рабочей программы**

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

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

В результате освоения дисциплины «Терагерцовая оптоэлектроника» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач. Освоение данной дисциплины базируется на изучении студентом дисциплин: Математики, Общей физики, Теории поля, Статистической физики, Физика полупроводников, Введение в современные нанотехнологии и современную спектроскопию.

Дисциплина относится к вариативной части программы и читается в 3 семестре.

## 2. 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 у обучающихся должны быть сформированы:

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):

**(СПК-1).** Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники в своей научно-исследовательской деятельности.

**(СПК-3).** Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

### **ЗНАТЬ**

- основные законы и направления современных научных исследований в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники **(СПК-1)**.
- основные направления инновационного развития в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники **(СПК-3)**.

### **УМЕТЬ**

- на основе фундаментальных знаний в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники, определять возможные направления научных исследований **(СПК-1)**.
- проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов **(СПК-3)**.

### **ВЛАДЕТЬ**

- необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники **(СПК-1)**.
- методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области лазерной физики, нелинейной оптики и фотоники **(СПК-3)**.

4. **Форма обучения:** очная
5. **Язык обучения:** русский
6. **Содержание дисциплины:**

<b>Темы занятий / Содержание</b>
<p><b>1. История появления, основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники, генерация и детектирование терагерцового излучения.</b> 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><b>2. Основные элементы терагерцовой оптики и основы построения терагерцовых оптических систем.</b> Особенности оптики ТГц диапазона частот. Гауссовы оптические пучки и идеальные оптические системы. Терагерцовые оптические элементы: зеркала, линзы, делительные и поляризационные элементы. Амплитудная и фазовая терагерцовая дифракционная оптика. Расчет и дизайн терагерцовых оптических систем. Аберрации, искажения пучков, частичная когерентность и многомодовые терагерцовые системы.</p>
<p><b>3. Диэлектрические свойства среды в терагерцовом диапазоне частот. Комплексный показатель преломления среды в ТГц диапазоне спектра.</b> Микроскопические и макроскопические модели. Модель Лоренца оптических свойств диэлектриков. Модель Друде оптических свойств металлов. Проводимость Друде. Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления. Комплексный коэффициент пропускания и отражения. Амплитуда и фаза. Модели эффективной среды, модифицированные дисперсионные соотношения Крамерса – Кронига при анализе терагерцовых спектров.</p>
<p><b>4. Рассеяние в терагерцовом диапазоне частот.</b> 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><b>5. Фазово-пространственная обработка терагерцового излучения.</b> Параметры, используемые для характеристики терагерцовых полей. Функция распределения Вигнера и ее приложения в обработке сигналов. Вейвлет-преобразование и оконное преобразование Фурье и их приложения в обработке терагерцовых сигналов.</p>
<p><b>6. Терагерцовая спектроскопия кристаллических и некристаллических твердых тел. Вычислительные методы моделирования кристаллических материалов.</b> Постановка измерительной задачи: учет рассеяния, предварительные приготовления образцов. Расчет оптических констант. Спектроскопия кристаллических твердых тел. Биомолекулы и малые органические молекулы. Моделирование одиночной молекулы и переход к периодическому кристаллу. Теория кристаллических фононов в одномерном кристалле. Нормальные молекулярные колебания в вакууме и в конденсированном состоянии. Фононы в трехмерном кристалле. Квантово-механическая модель. Расчеты полной структуры.</p>
<p><b>7. Терагерцовая спектроскопия жидкостей, биомолекул, жидких кристаллов и полимеров.</b> Модель жидкости. Особенности терагерцового диэлектрического отклика для</p>

жидкостей. Расчет пропускания жидкостей. Биомолекулы в терагерцовом диапазоне частот. Жидкие кристаллы и их применение в ТГц диапазоне частот. Фазы жидких кристаллов. 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.

**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. 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 волоочными поляризаторами. 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 терагерцовом диапазоне. Пропускание, зависящее от интенсивности. ТГц нелинейная оптика. Нелинейная ТГц спектроскопия полупроводников. Пондеромоторная сила в ТГц поле. ТГц баллистический транспорт. Нелинейная колебательная спектроскопия. ТГц возбуждение сильно коррелированных материалов.

**9. Техника и приложения терагерцовых изображений. Терагерцовая визуализация ближнего поля. Биомедицинская визуализация. Терагерцовая томография.**

Ближнее поле, дальнее поле и дифракционный предел. Безапертурная микроскопия ближнего поля. Апертурные методы. Визуализация ближнего поля ТГц диапазона. Биотканевая (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 ТГц излучения. Структурная и спектроскопическая информация. Экспериментальная геометрия на пропускание и отражение. Медицинские применения: рак молочной железы, рак кожи, рак толстой кишки, кариез. 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.

**10. Терагерцовая спектроскопия высокого разрешения. Спектроскопия газов, паров. Атмосферные маркеры.**

Типовые схемы абсорбционных спектрометров высокого разрешения. Основные представления квантовой физики. Колебательно- вращательные переходы в молекулах. Приближения Борна- Оппенгеймера. Колебания. Обертоны и комбинационные частоты.

**11. Метаматериалы и функциональные материалы ТГц диапазона частот. Терагерцовая связь и передача информации. Дистанционное зондирование с помощью терагерцового излучения. Лидары. Терагерцовая локация.**

**12. Диагностика плазмы и экстремальных состояний вещества. Импульсная и непрерывная терагерцовая спектроскопия вещества в различных фазовых состояниях.**

## 7. Объем дисциплины

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

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

Изучение курса «Терагерцовая оптоэлектроника» 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 занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	История появления и основные тенденции развития терагерцовой фотоники и оптоэлектроники.	4	1		1	2	

2	Источники и детекторы терагерцового диапазона частот. Терагерцовая оптика Источники терагерцового излучения. Детектирование терагерцового излучения.	8	2	-	2	4	Собеседование, опрос
3	Основы оптики на терагерцовых частотах.	4	1		1	2	
4	Диэлектрические свойства вещества в терагерцовом диапазоне частот.	4	1		1	2	
5	Рассеяние терагерцового излучения	4	1		1	2	Собеседование, опрос
6	Представление терагерцового излучения в фазовом пространстве.	4	1		1	2	
7	Вычислительные методы для интерпретации спектральных особенностей в ТГц диапазоне частот в кристаллических материалах.	8	2		2	4	
8	Терагерцовая спектроскопия Терагерцовая спектроскопия кристаллических и Некристаллических Тел	4	1		1	2	
9	Терагерцовая спектроскопия жидкостей и биомолекул. Системы регистрации и анализа ТГц изображений	8	2		2	4	
10	Терагерцовая спектроскопия с временным разрешением- "накачка-зондирование" Нелинейная Терагерцовая Спектроскопия.	8	2		2	4	
11	Терагерцовая спектроскопия: эллипсометрия и управление составным поляризацией терагерцового излучения	8	2		2	4	
12	Прикладные аспекты ТГц фотоники Жидкие кристаллы и их применение в ТГц диапазоне частот. Терагерцовая спектроскопия полимеров.	4	1		1	2	
	Промежуточная аттестация	<b>4</b>				<b>4</b>	
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	

**9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.**



Текущий контроль по дисциплине «Терагерцовая оптоэлектроника» 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 «Терагерцовая оптоэлектроника» проводится в форме экзамена. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## 10. 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
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
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
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5

<p><i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (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><i>УМЕТЬ:</i> 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 (СПК-1)</p>	<p>Отсутствия 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><i><b>ЗНАТЬ:</b></i> 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 (СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление 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>

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

*Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:*

*Примеры вопросов для опроса:*

1. Особенности терагерцового диапазона частот.
2. Основные методы генерации и детектирования ТГц излучения
3. Какие параметры характеризуют пучек 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 полиметров.
9. Терагерцовые изображения.
10. Нелинейная терагерцовая фотоника.

**13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

*Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме экзамена:*

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. Пирозлектрические 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, сверхпроводникового 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

#### **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

##### Основная литература

1. Волькенштейн М.В., Грибов Л.А., Ельшевич 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.