

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Лазерные измерения
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.Н. Деркач, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем инерционного термоядерного синтеза 04.04.2022

Аннотация

Дисциплина "Лазерные измерения" рассматривает вопросы по основным методам измерения характеристик лазерного излучения, техникой и практической работой приборов и устройств для измерения параметров лазерного излучения.

В изложении рассматривается физика явлений, процессов положенных в основу измерительных приборов и методик, даются спектральные чувствительности приборов и их разрешающие способности: точность и погрешность измерения.

Студенты на действующих лазерных установках знакомятся с приборами и методиками измерения характеристик лазеров: энергии, длительности, мощности излучения, расходимости, пространственно-временных характеристик, спектрального состава излучения.

В рамках курса даются определения основных понятий и обоснования методов и принципов проведения измерений. Рассматриваются основные типы приемников лазерного излучения. Рассматривается постановка задач измерения и разъясняются принципы регистрации того или иного физического параметра. Обсуждаются принципы согласования оптической измерительной схемы. Рассматривается обоснование выбора средств регистрации, средств защиты от шумов и наводок. Показываются основные алгоритмы и способы представления экспериментальной информации и методы ее математической обработки.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами основных методов измерения характеристик лазерного излучения, умение работать с приборами и устройствами для измерения параметров лазерного излучения.

Задачи дисциплины

Изучение физики явлений, процессов положенных в основу измерительных приборов и методик. Ознакомление с характеристиками измерительных приборов: спектральными чувствительностями, разрешающими способностями, точностями и погрешностями измерений. Освоение методик измерения характеристик лазеров: энергии, длительности, мощности излучения, расходимости, пространственно-временных характеристик, спектрального состава излучения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- характеристики основных типов устройств для проведения измерений;
- иметь представление о концепции совместного построения лазерных систем и систем измерения ее параметров;
- иметь представление о физических принципах проведения измерений различных лазерных параметров;
- иметь представление о принципах организации и обработки измерений.

уметь:

- рассчитывать согласованную диагностическую схему для проведения измерения заданных в эксперименте параметров;
- выбирать соответствующее приборное оснащение для проведения измерений с требуемым пространственным, временным спектральным и т.д. разрешением;
- проводить обработку измеряемых величин и их математический анализ.

владеть:

методологией выбора адекватных методов исследования;
 навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
 культурой постановки и моделирования физических задач;
 основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
 навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
 основными навыками написания научных статей.
 математическим моделированием физических задач.
 практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
 методами диагностики лазерных параметров.

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	Характеристики лазерного излучения.	1	1		
2	Приемники на фотонных эффектах.	2	2		15
3	Внешний фотоэффект, фотокатоды.	1	1		
4	Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).	2	2		
5	Приемники на тепловых эффектах.	1	1		
6	Калориметры.	1	1		
7	Оптические фильтры: основные характеристики.	1	1		
8	Регистрация квазиимпульсного излучения.	1	1		
9	Измерение временных характеристик излучения.	1	1		
10	Измерение контраста моноимпульса.	1	1		
11	Принципы построения оптических измерительных схем.	2	2		
12	Математическая обработка изображений.	1	1		
Итого часов		15	15		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Характеристики лазерного излучения.

Монохроматичность, когерентность, спектральные характеристики, поляризация, энергия, временные характеристики. Характеристики приемников излучения: спектральная чувствительность, уровень шумов, обнаружительная способность, динамический диапазон, переходная характеристика. Методы и измерения экспериментальных величин. Теория ошибок.

2. Приемники на фотонных эффектах.

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость собственная и примесная. Фоторезисторы и их характеристики: спектральные, временные, шумовые, условия работы. Фотодиоды. Основные характеристики. Типы фотодиодов, спектральный диапазон, рабочее напряжение, чувствительность и быстродействие.

3. Внешний фотоэффект, фотокатоды.

Частотные характеристики, спектральная чувствительность, квантовая эффективность. Типы фотокатодов и их характерные параметры. Фотоэлементы. Типы конструкций и их характеристики. Фотоумножители, принцип работы, характерные параметры ФЭУ.

4. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).

Принцип работы и элементы электронной оптики. Типовые люминофоры для экранов ЭОП. Характеристики ЭОП: коэффициент преобразования, пространственное разрешение, неравномерность свечения по экрану. Виды ЭОП. Режим щелевой развертки. Многокадровый режим регистрации. Блок-схема универсального фотохронографа.

5. Приемники на тепловых эффектах.

Болометрический эффект. Типы болометров, их характеристики и принцип работы. Термопары. Принцип работы. Пироэлектрический эффект, физика явления, пироэлектрические материалы, особенности пироэлектрических приемников.

6. Калориметры.

Главные элементы калориметров. Виды поглотителей. Примеры используемых калориметров. Приемники двумерного изображения. Фотоматериалы и их спектральные характеристики, светочувствительность, контрастность. Микрофотометрирование. Регистратор на термофотоплёнке. Приборы с зарядной связью. ПЗС – матрица. Основные виды ПЗС – матриц. Основные характеристики ПЗС – матриц.

7. Оптические фильтры: основные характеристики.

Типы фильтров: абсорбционные, отражательные, интерференционные, дисперсионные и интерференционно-поляризационные. Измерение энергетических характеристик излучения. Виды измерений характеристик излучения. Измерение импульсного излучения. Способы ослабления энергии пучка. Согласование размеров пучка с приемной площадкой регистратора. Измерение энергии в заданном угле излучения. Защита от излучения накачки и паразитной подсветки.

8. Регистрация квазиимпульсного излучения.

Измерение излучения длительностью $(10^{-1} \div 10)$ с., способы реализации измерений. Регистрация импульсно-периодического излучения в ИК – диапазоне $\lambda=1-11$ мкм. Особенности регистрации, приемники излучения. Прецизионные измерения энергии лазера. Основные погрешности калориметров. Погрешности оптической схемы измерения. Калибровка измерителей и схем регистрации.

9. Измерение временных характеристик излучения.

Регистрация формы импульса до 10^{-9} с в видимой и ближней ИК – области спектра. Требования к фотоприемникам и регистраторам излучения по чувствительности и быстродействию. Электрические схемы осциллографической регистрации. Характеристики скоростных осциллографов типа СРГ. Особенность пиродетекторов. Регистрация импульсов пикосекундной длительности ($10^{-10} \div 10^{-12}$)с. Времена анализирующий ЭОП в режиме щелевой развертки. Методы регистрации с помощью нелинейной оптики. Двухфотонная люминесценция. Регистрация формы импульса с большим динамическим диапазоном. Многоканальное ранжирование.

10. Измерение контраста моноимпульса.

Требования к приемным детекторам: их чувствительности, динамическому диапазону, быстродействию. Оптические измерительные схемы. Методика измерения энергетического контраста. Измерение пространственных параметров лазера. Регистрация ближней зоны (БЗ) излучения. Пространственно-временная регистрация БЗ: многокадровая регистрация, в режиме щелевой развертки. Измерение расходимости излучения. Получение изображения пучка в дальней зоне (ДЗ). Особенности регистрации ДЗ. Регистрация ДЗ в ИК – области.

11. Принципы построения оптических измерительных схем.

Основные оптические элементы. Расчет характеристик схем.

12. Математическая обработка изображений.

Алгоритмы и способы представления экспериментальной информации.

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. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов» под ред. Р.Киеса, 1985.
3. А.В. Павлов, А.И. Черников «Приемники излучения автоматических оптико-электронных приборов», 1972.
4. В.А. Зубов «Методы измерения характеристик лазерного излучения», 1973.

Дополнительная литература

1. Л.С. Кременчугский, О.В. Ройцина «Пироэлектрические приемники излучения», 1979.
2. О.А. Геращенко и др. «Температурные измерения», справочник, 1984.
3. А.Н. Зайдель и др. «Техника и практика спектроскопии», 1976.
4. И.В. Скоков «Оптические спектральные приборы», 1984.
5. В.В. Лебедева. Экспериментальная оптика. М., МГУ, 1994.

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

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://ufn.ru/> «Успехи физических наук» обзоры по актуальным физическим проблемам

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

Skype, Zoom

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

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные понятия и подходы к измерению лазерных параметров, знать основные модели и их недостатки и достоинства, применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

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

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра проблем инерционного термоядерного синтеза
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: В.Н. Деркач, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лазерные измерения» обучающийся должен:

знать:

- характеристики основных типов устройств для проведения измерений;
- иметь представление о концепции совместного построения лазерных систем и систем измерения ее параметров;
- иметь представление о физических принципах проведения измерений различных лазерных параметров;
- иметь представление о принципах организации и обработки измерений.

уметь:

- рассчитывать согласованную диагностическую схему для проведения измерения заданных в эксперименте параметров;
- выбирать соответствующее приборное оснащение для проведения измерений с требуемым пространственным, временным спектральным и т.д. разрешением;
- проводить обработку измеряемых величин и их математический анализ.

владеть:

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами диагностики лазерных параметров.

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

1. Классификация лазерных параметров
2. Тепловые приемники.
3. Призменные системы.
4. Интерферометр Майкельсона
5. Эшелон Майкельсона
6. Классификация пространственных и временных характеристик.
7. Принципы организации временных характеристик лазерного излучения в различных диапазонах длительности.
8. Осциллография
9. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Принцип работы и элементы электронной оптики. Виды ЭОП.
10. Измерение глубокого фронта импульса.
11. Измерение энергетического и мощностного контраста.
12. Измерение ближней зоны излучения.
13. Измерение дальней зоны излучения.
14. Микрофотометрирование. Приборы с зарядной связью.
15. Способы ослабления энергии пучка. Светофильтры.
16. Согласование размеров пучка с приемной площадкой регистратора.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Лазерные измерения» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Зачет проводится в письменной и устной форме.
промежуточный – домашнее задания, итоговый – дифференцированный зачет (экзаменационный билет содержит 2 вопроса и 1 задачу).

Перечень контрольных вопросов

1. Когерентность излучения, степень когерентности. Пространственная и временная когерентность.
2. Фотоэлектронные приемники. Приемники с внутренним фотоэффектом.
3. Анализ состояния поляризации, поляризационные устройства,
4. Фурье спектрометрия
5. Принципы построения измерительных систем.

Примеры контрольных заданий и билетов представлены в прикрепленном файле.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Дифференцированный зачет проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено один теоретический вопрос, одна задача и один уточняющий вопрос по теме курса. При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.