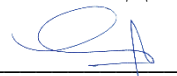


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ Ч.2

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Общий профиль

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:

К.ф.-м.н., доцент Головнин Илья Владимирович, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Специальный физический практикум Ч.2»

Изучение магистерской программы «Специальный физический практикум Ч.2» предполагает изучение основ нелинейной оптики, кристаллооптики и выполнение задач практикума, во время которого студенты приобретают знания, умения и навыки по принципам работы лазеров, основным методам измерения и управления параметрами лазерного излучения, преобразованию частот лазерного излучения.

Практикум включает в себя выполнение следующих задач:

1. Модуляция оптического излучения
2. Измерение пространственных характеристик лазерного пучка
3. Кинетика излучения лазера на гранате с неодимом
4. Генерация оптических гармоник
5. Параметрический генератор света
6. Оптические свойства дифракционных решеток и призм
7. Генерация фемтосекундных импульсов
8. Преобразование частот фемтосекундных импульсов

Выполнение задач практикума подразделяется на следующие этапы:

- 1) изучение теоретического материала и заданий;
- 2) составление конспекта изученного материала;
- 3) получение допуска к выполнению практической части работы;
- 4) изучение техники безопасности при работе на установке;
- 5) выполнение практической части работы;
- 6) запись результатов измерений в тетрадь;
- 7) обработка и анализ результатов измерений;
- 8) защита работы.

К выполнению задач практикума допускаются студенты, имеющие четкие представления об изучаемых физических процессах. В тетради для практических работ должен быть оформлен отчет, в который включается название работы, дата ее выполнения, краткое описание изучаемых процессов и эффектов, основные результаты в виде таблиц, схем, графиков и выводы по работе. Выполнение и защита работы фиксируется подписью преподавателя в тетради студента.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Специальный физический практикум Ч.2» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре и относится к обязательной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Специальный физический практикум Ч.2» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

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:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ОПК-3.Б	<p>З-6 Знать: свойства лазерного излучения, методы измерений параметров лазерного излучения, основы нелинейной и когерентной оптики, методы управления параметрами лазерного излучения</p> <p>У-6 Уметь: работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания</p> <p>В-1 Владеть: базовыми знаниями фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физики лазеров, когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в области лазеров, когерентной и нелинейной оптики,</p>

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Практикум. Модуляция оптического излучения.

Изучение принципов модуляции оптического излучения на основе модуляторов двух типов: электрооптического и акустооптического. В первой части работы студенты получают статическую и динамическую характеристики электрооптического модулятора, измеряют полуволновое напряжение и, по результатам измерений, рассчитывают величину электрооптической константы. Во второй части работы для акустооптического модулятора

необходимо измерить угол Брэгга и его зависимость от частоты акустической волны, изучить зависимость интенсивности дифрагированного пучка от угла падения лазерного пучка, измерить зависимость эффективности дифракции от мощности акустической волны.

Тема 2. Практикум. Пространственные характеристики лазерного пучка.

Изучение различных методов измерения и расчета основных параметров лазерного пучка, таких, как центр и диаметр пучка, угол расходимости, параметр качества пучка M^2 , пространственная стабильность.

Тема 3. Практикум. Кинетика излучения лазера на гранате с неодимом.

Освоение юстировки оптического резонатора, зоны устойчивости линейного резонатора. Изучение основных элементов и кинетики излучения твердотельного лазера на кристалле алюмо-иттриевого граната с примесью неодима (АИГ: Nd³⁺), работающего в режимах свободной генерации и модуляции добротности.

Тема 4. Практикум. Генерация оптических гармоник.

Экспериментальное изучение процессов каскадного умножения частоты излучения импульсного твердотельного лазера на алюмо-иттриевом гранате с неодимом методами нелинейной оптики. В первой части задачи изучаются факторы, влияющие на эффективность оптического удвоителя частоты, для чего экспериментально исследуется зависимость его к.п.д. от мощности основного излучения для различных нелинейных кристаллов. По результатам измерений рассчитывается величина относительной эффективной нелинейности нескольких кристаллов. Во второй части работы изучается работа двухкаскадного генератора третьей, либо четвертой оптической гармоники, измеряется его к.п.д.

Тема 5. Практикум. Параметрический генератор света.

Изучение одного из явлений нелинейной оптики — параметрической генерацией света, использование которого позволяет получать плавно перестраиваемое в широком спектральном диапазоне когерентное излучение. В работе производится юстировка резонатора ПГС, измерение порога генерации и снятие его перестроенной кривой зависимости длины волны выходного излучения от угла установки нелинейного кристалла.

Тема 6. Практикум. Оптические свойства дифракционных решеток и призм.

Изучение оптических свойств таких диспергирующих оптических элементов, как призмы и дифракционные решетки, которые широко применяются в лазерных установках — источниках высокоинтенсивного фемтосекундного излучения.

Задача состоит из трех частей. В первой части исследуются оптические свойства нарезной дифракционной решетки. По угловому распределению отраженных от решетки пучков и соответствующих различным порядкам дифракции определяется такой параметр решетки как число штрихов на мм. А по угловому распределению интенсивности дифрагированных пучков — угол блеска. Во второй части исследуется угловой чирп широкополосного излучения прошедшего через призму. А также пространственный чирп излучения прошедшего через комплементарную пару призм, образующих призмный стретчер/компрессор. Измерения производятся с помощью спектрометра. Аналогичное исследование проводится для одиночной голографической дифракционной решетки и для комплементарной пары голографических решеток образующих решеточный стретчер/компрессор.

Тема 7. Практикум. Генерация фемтосекундных импульсов.

Изучение принципов построения и работы генератора фемтосекундных лазерных импульсов на примере Ti:Sapphire лазера со встроенным компенсатором дисперсии. Методы синхронизации мод на нелинейности третьего порядка. Перестройка центральной длины волны. Изучение факторов, влияющих на длительность импульсов. Измерение длительности импульсов различными методами.

Тема 8. Практикум. Преобразование частот фемтосекундных импульсов.

Принцип выбора типа и параметров кристаллов для преобразования частот сверхкоротких лазерных импульсов. Генерация второй гармоники различными кристаллами. Измерение эффективности преобразования и длительности получаемых импульсов от свойств нелинейного кристалла. Каскадная генерация третьей гармоники. Параметрическое преобразование сверхкоротких импульсов. Генерация континуума в поле сверхкоротких импульсов.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					
		Общая трудоёмкость	в том числе ауд. занятий				Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	Практикум	
Лазерный практикум «Физика лазеров и нелинейная оптика»	3	108	64	16	48		38

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

Изучение курса «Специальный физический практикум Ч.2» 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 и в подготовке к выполнению задач практикума. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях и в практикуме.

№ 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	Модуляция оптического излучения	13		2	6	4	
2	Пространственные характеристики лазерного пучка	13		2	6	4	
3	Кинетика излучения лазера на гранате с неодимом	13		2	6	4	
4	Генерация оптических гармоник	13		2	6	4	
5	Параметрический генератор света	13		2	6	4	
6	Оптические свойства дифракционных решеток и призм	13		2	6	4	
7	Генерация фемтосекундных импульсов	13		2	6	4	
8	Преобразование частот фемтосекундных импульсов	13		2	6	4	
	Промежуточная аттестация	6				6	Зачет в устной форме
ИТОГО:		108		16	48	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Специальный физический практикум Ч.2» 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 «Специальный физический практикум Ч.2» проводится в форме зачета.

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
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 зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: свойства лазерного излучения, методы измерений параметров лазерного излучения, основы нелинейной и когерентной оптики, методы управления параметрами	Отсутствие знаний: свойств лазерного излучения, методов измерений параметров лазерного излучения, основ нелинейной и когерентной оптики, методов управления параметрами лазерного излучения	В целом успешные, но не систематические знания: свойств лазерного излучения, методов измерений параметров лазерного излучения, основ нелинейной и когерентной	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания свойств лазерного излучения, методов измерений параметров лазерного излучения, основ нелинейной и	Успешные и систематические знания свойств лазерного излучения, методов измерений параметров лазерного излучения, основ нелинейной и когерентной оптики, методов

лазерного излучения ОПК-3.Б 3-6		оптики, методов управления параметрами лазерного излучения	когерентной оптики, методов управления параметрами лазерного излучения	управления параметрами лазерного излучения
УМЕТЬ: работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания ОПК-3.Б У-6	Отсутствие умения работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания	В целом успешное, но не систематическое умение работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания	Успешное и систематическое умение работать с научными приборами и оборудованием для исследования свойств лазерного излучения, рассчитывать и использовать нелинейно-оптические кристаллы для преобразования частоты лазерного излучения, использовать лазеры и когерентное оптическое излучение в различных задачах естествознания
ВЛАДЕТЬ: базовыми знаниями фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физики лазеров,	Отсутствие/фрагментарное владение базовыми знаниями фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физики лазеров, когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в	В целом успешное, но не систематическое владение базовыми знаниями фундаментальных разделов физики в объеме,	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение базовыми знаниями фундаментальных разделов	Успешное и систематическое владение базовыми знаниями фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения

когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в области лазеров, когерентной и нелинейной оптики ОПК-3.Б В-6	области лазеров, когерентной и нелинейной оптики	необходимом для освоения физики лазеров, когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в области лазеров, когерентной и нелинейной оптики	физики в объеме, необходимом для освоения физики лазеров, когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в области лазеров, когерентной и нелинейной оптики	физики лазеров, когерентной и нелинейной оптики, методами научных исследований в области лазеров, когерентной и нелинейной оптики
--	--	--	---	---

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Рассчитать резонансную частоту электрооптического модулятора из ниобата лития. Размеры ЭО модулятора: 3x3x28 мм.
2. Оценить минимальную длительность импульса, которую может сформировать из непрерывного излучения акустооптический модулятор.
3. Оценить сколько продольных мод будет генерировать лазер на алюмо-иттриевом гранате с неодимом при длине резонатора порядка 50 см.
4. Оценить эффективность преобразования во вторую гармонику излучения YAG:Nd лазера с длиной волны 1064 нм в кристалле KDP длиной 2 см. Пиковая мощность основной гармоники – 200 МВт, диаметр пучка – 1 мм.
5. Аппаратная функция идеального и реального монохроматора. Зависимость формы и ширины аппаратной функции от ширины щелей и параметра решетки.

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

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Понятие области прозрачности. Линейная восприимчивость, дипольный момент, поляризация среды, диэлектрическая проницаемость. Модель гармонического осциллятора. Вывод материального уравнения.
2. Слабые и сильные электромагнитные поля, Отклонение от линейной зависимости в выражении материального уравнения. Определение силы или слабости электромагнитного поля. Влияние симметрии вещества на возникновение четных и нечетных гармоник.
3. Нелинейная поляризация. Уравнения Максвелла и материальное уравнение для нелинейной среды. Понятие линейной и нелинейной оптической восприимчивости. Волновое уравнение для нелинейной изотропной среды.

4. Взаимодействие трех волн. Нелинейная поляризация среды для квадратичной нелинейности в одномерном скалярном приближении. Части квадратичной нелинейной поляризации соответствующие разным частотам: $P(2\omega_1)$, $P(2\omega_2)$, $P(\omega_1 \pm \omega_2)$, $P(0)$. Классификация нелинейных эффектов на квадратичной нелинейности.
5. Система укороченных уравнений для амплитуд поля в квадратичной среде. Волновое уравнение в приближении плоских волн. Метод медленно меняющихся амплитуд.
6. Генерация второй гармоники в приближении заданного поля. Общий случай. $\Delta k \neq 0$. Понятие когерентной длины $l_{\text{ког}}$. Случай фазового синхронизма. $\Delta k = 0$. Понятие нелинейной длины $L_{\text{нл}}$. Понятие качества нелинейного материала: d^2/n^3 .
7. Согласование фаз. Изотропные среды. Анизотропные среды. Отрицательные и положительные одноосные кристаллы. Типы взаимодействия. Понятие 90-градусного синхронизма.
8. Генерация второй гармоники в незаданном поле. Решение укороченных уравнений в случае отсутствия поглощения. Анализ полученных соотношений, сравнение со случаем приближения заданного поля.
9. Факторы, ограничивающие эффективность преобразования во вторую гармонику в реальных пучках: конечная расходимость пучков, угловая ширина синхронизма, частотная ширина синхронизма. конечная апертура пучков – снос пучков и апертурная длина, длительность импульса. Методы повышения эффективности преобразования излучения во вторую гармонику.
10. Соотношения Менли-Роу. Получение соотношений Менли-Роу из укороченных уравнений для амплитуд в среде с квадратичной нелинейностью.
11. Вырожденный случай параметрического взаимодействия. Решение укороченных уравнений для действительных амплитуд и фаз при условии фазового синхронизма. Отличия от генерации второй гармоники.
12. Параметрическое усиление света. Решение укороченных уравнений в приближении заданного поля при условии фазового синхронизма. Параметрический генератор света. Принципы перестройки частоты излучения параметрического генератора света.
13. Описание распространения электромагнитных волн в анизотропной среде. Система уравнений Максвелла для анизотропной среды. Преобразование тензора при повороте системы координат.
14. Оптическая индикатриса. Свойство оптической индикатрисы. Обыкновенная и необыкновенная волны в одноосном кристалле.
15. Распространение света в одноосном кристалле. Линейный электрооптический эффект.
16. Синхронизм при генерации второй гармоники в одноосных кристаллах и вычисление эффективной нелинейности.
17. Коноскопическая картина. Условия проявления первичного (или «истинного») и вторичного линейного электрооптического эффекта. Принцип работы электро-оптического модулятора.
18. Фотоупругий эффект. Отличие дифракции Брэгга от дифракции на плоской дифракционной решетке. Принцип работы акустооптического модулятора.
19. Физический смысл длины Рэлея и параметра качества пучка M^2 . Технология измерения центра пучка, диаметра пучка, угла расходимости, параметра качества пучка M^2 .
20. Однородное и неоднородное уширение линии усиления. Модовый состав лазерного резонатора. Частотное и пространственное «выжигание» инверсной населенности в лазерном резонаторе.
21. Динамика инверсной населенности и интенсивности выходного излучения лазера в непрерывном режиме и режиме модуляции добротности. Релаксационные колебания интенсивности.
22. Условие применимости приближения заданного поля при удвоении частоты. Зависимость мощности второй гармоники от угла в реальных пучках.

23. Факторы, влияющие на диапазон перестройки параметрического генератора света. Факторы ограничивающие эффективность параметрического генератора света.
24. Дифракционная решетка. Постоянная решетки. Угол блеска. Принцип действия решеточного компрессора сверхкоротких импульсов.
25. Принцип действия призмленного компенсатора дисперсии.
26. Активная и пассивная синхронизация мод. Методы и устройства для синхронизации мод. Факторы, влияющие на длительность импульса при синхронизации мод.
27. Особенности генерации оптических гармоник для сверхкоротких лазерных импульсов.

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

Основная литература.

1. Ф.Цернике, Дж.Мидвинтер. Прикладная нелинейная оптика. М.Мир. 1976.
2. В.Г.Дмитриев, Л.В.Тарасов Прикладная нелинейная оптика, М, ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. А.Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. М, Мир, 1987.
4. Дж.Най. Физические свойства кристаллов, М, Мир, 1967.
5. А. Ярив, Введение в оптоэлектронику. М.: «Высшая школа», 1983
6. Е.Р.Мустель, В.Н.Парыгин. Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1965
7. Л.Н.Магдич, В.Я.Молчанов. Акустооптические устройства и их применение. М.: Сов. радио, 1978.
8. С.А.Ахманов, В.А.Выслоух, А.С.Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.:Наука, 1988.
9. А.П.Сухоруков. Оптика сверхкоротких импульсов. Соросовский образовательный журнал №7, 1997
10. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев, Е.А.Шалаев, А.А.Шокин, Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М.: Радио и связь, 1985
11. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев, Лазеры на кристаллах и их применение. М.:Рикел, 1994.
12. О.Звелто, Принципы лазеров, 4-е издание, М,Лань, 2008.
13. П.Г.Крюков, Лазеры ультракоротких импульсов. Обзор. Квантовая электроника, 31, №2, 2001, с.95
14. М.Б.Виноградова, О.В.Руденко, А.П.Сухоруков, Теория волн. Изд.2-е, доп. М.:Наука, 1990
15. Ю.А. Ананьев, Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.:Наука, 1990
16. Test method for laser beam parameters: Beam width, divergence angle and beam propagation factor, Document ISO/DIS 11146, International Organization for Standardization; 1996.

Дополнительная литература.

1. Справочник по лазерам. Под редакцией А.М.Прохорова Т. 2, М, Советское радио 1978.
2. И.Р. Шен, Принципы нелинейной оптики, под ред. С.А.Ахманова, М: Наука, 1989
3. В.А. Алешкевич. Курс общей физики. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.
4. С.А.Ахманов, С.Ю.Никитин, Физическая оптика. М, Изд-во МГУ, Наука, 2004.
5. Н.Б.Делоне. Нелинейная оптика. М.:ФИЗМАТЛИТ, 2003
6. Г.Агравал. Нелинейная волоконная оптика. М.:Мир, 1996
7. С.А.Ахманов, Р.В.Хохлов. Проблемы нелинейной оптики. М, ВИНТИ, 1964.
8. Г.Г.Гудзарян, В.Г.Дмитриев, Д.Н.Никогосян, Нелинейно-оптические кристаллы. Свойства и применение в квантовой электронике: Справочник. М.: Радио и связь, 1991

Интернет-ресурсы.

Материально-техническое обеспечение

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