

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:

Дополнительные главы методов математической физики

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: доцент к.ф.м.н. доцент Коновко Андрей Андреевич. Физический факультет МГУ

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Дополнительные главы методов математической физики

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Дисциплина обеспечивает подготовку студентов в области математической физики. В курсе рассматриваются математические модели, основанные на дифференциальных уравнениях различного типа, формулируются основные математические задачи для таких уравнений, описываются основные свойства решений рассматриваемых задач и некоторые методы их решения. Особое внимание уделяется нелинейным дифференциальным уравнениям в частных производных. Кратко излагается история развития методов решения линейных и нелинейных уравнений математической физики и связанных с ними физических идей.

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (20 часов занятия лекционного типа, 14 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося. Дисциплина является курсом по выбору и читается на 1ом году обучения в 1-и семестре.

5. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области математической физики.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области математической физики.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области математической физики, и решать их с помощью современного инструментария.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.

- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Механика», «Оптика», «Электромагнетизм» и теоретической физики «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», а также дисциплин «Математический анализ», «Теория функций комплексного переменного», «Дифференциальные уравнения». Желательно предварительное освоение материала вариативной части программы бакалавриата: дисциплин профиля «Теория волн» и «Нелинейные волны и нелинейная оптика».

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Обыкновенные дифференциальные уравнения §1. Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) первого порядка. Задача Коши. Теоремы существования и	12	4	2		6	2 час Решение обыкновенных дифференциальных уравнений [1, Глава 2]		6

<p>единственности решения. Линейные однородные и неоднородные ОДУ. Интегрирование дифференциальных уравнений при помощи рядов. Метод малого параметра. Системы ОДУ. Основы теории устойчивости.</p>								
--	--	--	--	--	--	--	--	--

<p>2. Линейные уравнения математической физики</p> <p>§2. Основные уравнения математической физики и постановка начально-краевых задач.</p> <p>§3 Классификация дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Классификация уравнений с двумя независимыми переменными. Приведение уравнения с двумя независимыми переменными к каноническому виду. Классификация уравнений в случае многих независимых переменных.</p> <p>§4 Метод разделения переменных. Разложение по собственным функциям задачи Штурма—Лиувилля. Постановка начально-краевых задач. Первая и вторая формулы Грина. Полные и</p>	12	4	4		8	<p>3 часа Исследование дисперсионных свойств плазмонного резонанса, локализованного на сферической частице [8, Глава 12], [6, Глава 5]. Вывод поправок к частоте плазмонного резонанса, связанных с нелокальным откликом [16]</p> <p>1 час Исследование дисперсионных свойств поверхностного плазмонного поляритона [8, Глава 12].</p> <p>3 час Разложение электромагнитного поля по мультиполям, исследование резонансов Ми сферической частицы [8, Глава 8]</p> <p>3 час Вывод формулы Бруса, вывод выражения для плотности состояний [9, Глава 10]</p>		6
---	----	---	---	--	---	---	--	---

<p>замкнутые системы функций. Общая схема метода разделения переменных для однородного уравнения. Метод разделения переменных для неоднородного уравнения. Неоднородные граничные условия. Метод функции Грина.</p> <p>§5 Уравнения эллиптического типа. Уравнения параболического типа. Уравнения гиперболического типа.</p>								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

<p>3. Нелинейные уравнения математической физики</p> <p>§6. Нелинейное уравнение колебаний. Метод последовательных приближений. Метод медленно меняющихся амплитуд. Нелинейные эффекты при распространении волн в диспергирующих средах. Фазовая и групповая скорости волн. Нелинейное уравнение Шредингера для огибающей волнового пакета. Уравнение Кортевега – де Вриза (КдВ). Уравнение Кадомцева – Петвиашвили (КП). Уравнение Буссинеска. Уравнение Гинзбурга – Ландау (ГЛ). Уравнение Синус-Гордона (СГ). Нелинейное уравнение переноса и уравнение Бюргера. Уравнение Курамото – Сивашинского для описания волновых процессов. Уравнение Колмогорова – Петровского – Пискунова – Фишера (КППФ). Нелинейное уравнение теплопроводности. Модель Хенона – Хейлеса. Система Лоренца.</p>	18	4	4	2 часа Коллоквиум	8	<p>2 час Исследование дисперсионных свойств плазмонных мод, локализованных на цепочке сфер [2, Глава 2].</p> <p>3 час Исследование дисперсионных свойств фотонных кристаллов [8, Глава 11].</p> <p>4 час Исследование дисперсионных свойств волн Тамма и волн Дьяконова [3].</p> <p>1 час вывод обобщённого закона Снеллиуса [15]</p> <p>4 часа Подготовка к коллоквиуму</p>		10
---	----	---	---	----------------------	---	--	--	----

<p>4. Элементы группового анализа дифференциальных уравнений</p> <p>§7. Однопараметрическая группа преобразований Ли. Инварианты. Инфинитезимальный оператор группы преобразований. Групповой анализ дифференциальных уравнений. Группы преобразований, допускаемые обыкновенным дифференциальным уравнением 2-го порядка. Интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений, допускающих группы преобразований.</p>	12	4	4		8	<p>3 час Исследование динамики спазирования [2, Глава 3].</p> <p>3 час Исследование дисперсионных свойств плазменной волны в цепочке спазеров [2, Глава 3]</p> <p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Элементы квантовой теории метаматериалов».</p>		2
<p>5. Аналитические свойства нелинейных дифференциальных уравнений</p> <p>§8. Классификация особых точек функций комплексной переменной. Неподвижные и подвижные особые точки. Уравнения, не имеющие решений с критическими подвижными особыми точками. Определение свойства Пенлеве</p>	16	4	2		6	<p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Основы нелинейной оптики метаматериалов».</p>		8

<p>и уравнения Пенлеве. Алгоритм Ковалевской анализа дифференциальных уравнений. Локальные представления решений уравнений типа Пенлеве. Трансцендентная зависимость решений первого уравнения. Преобразования Бэклунда для решений второго уравнения Пенлеве. Рациональные и специальные решения второго уравнения Пенлеве. Дискретные уравнения Пенлеве. Пары Лакса для уравнений Пенлеве. Алгоритм Конта – Форди – Пикеринга для анализа уравнений на тест Пенлеве. Преобразование Миуры. Тест Абловица – Рамани – Сигура для нелинейных уравнений в частных производных. Метод Вайса – Табора – Карневейля (ВТК) для анализа нелинейных уравнений.</p>								
<p>Итоговая аттестация -</p>								

экзамен								
Итого	64	20	16		36			36

* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.

8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через сайт кафедры: http://ofvp.phys.msu.ru/science_education/lections/detail.php?ID=2732

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Модель эффективной среды и расчёт эффективных диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости.
2. Объёмный плазмон, плазменная частота.
3. Плазмоны, локализованные на частицах. Частота плазмонного резонанса на металлической наносфере.
4. Гидродинамическая модель электронного газа в металлических наночастицах.
5. Поверхностный плазмонный поляритон. Дисперсионные свойства. Способы возбуждения.
6. Резонансы Ми.
7. Полупроводниковые квантовые точки. Плотность состояний. Возбуждение экситонов.
8. «Тёмные» и «светлые» плазмонные резонансы
9. Фотонные кристаллы и метаматериалы.
10. Гиперболические материалы.
11. Волны Дьяконова
12. Волны Тамма
13. Обобщенный закон Снеллиуса
14. Полуклассическая теория спазера.
15. Гигантское комбинационное рассеяние света.

Типовые вопросы к экзамену:

1. Металлические наночастицы. Поверхностные плазмоны, локализованные на частицах. Нелокальный оптический отклик наночастиц.
2. Полупроводниковые квантовые точки. Возбуждение. Лазеры на полупроводниковых квантовых точках. Когерентный контроль экситонов.
3. Оптические свойства наноантенн и нанорезонаторов.
4. Оптические свойства нанорешеток. Метаповерхности.
5. Оптические свойства гиперболических метаматериалов.

6. Электрические, магнитные и магнитоэлектрические нелинейности наноструктурированных материалов.

7. Поверхностные плазмоны-поляритоны на плоских границах раздела. Свойства поверхностных плазмонов-поляритонов. Возбуждение поверхностных плазмонов-поляритонов. Датчики на основе поверхностных плазмонов.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области математической физики и нелинейной оптики (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области математической физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, 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 математической физики и нелинейной оптики (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области математической физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области математической физики и нелинейной оптики
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики (В2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области математической физики и нелинейной оптики
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы приме-	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических

их проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики (В3, СПК-3).		проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики	методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики	нение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики	ческих проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики
<i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).	Отсутствия умения	Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов

<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области математической физики и нелинейной оптики (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области математической 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 математической 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 математической физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области математической физики и нелинейной оптики</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области математической физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области математической 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 математической 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 математической физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области математической физики и нелинейной оптики, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области математической физики и нелинейной оптики (31, 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 математической 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 математической 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 математической 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 математической физики и нелинейной оптики</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики (32, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области математической физики и нелинейной оптики</p>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области математической физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ЗЗ, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области математической 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 математической 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 математической 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 математической физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
--	-------------------	--	--	--	---

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Россовский Л. Е., Скубачевский А. Л. «Введение в теорию дифференциальных уравнений с частными производными», М.: МЦНМО, 2021.
2. Колоколов И. В., Кузнецов Е.А., Мильштейн А. И., Подивилов Е. В., «Задачи по математическим методам физики», М.:ЛЕНАНД, 2021.
3. Филиппов А. Ф., «Сборник задач по дифференциальным уравнениям», М.: Едиториал УРСС, 2019.
4. Эльсгольц Л. Э. «Дифференциальные уравнения», М.: Едиториал УРСС, 2021.
5. Карчевский М. М., Павлова М. Ф. «Уравнения математической физики. Дополнительные главы», М.: "Лань", 2016.

Дополнительная литература

6. Кудряшов Н. А. «Методы нелинейной математической физики», ИД Интеллект, 2010.
7. Свешников А. Г., Боголюбов А. Н., Кравцов В. В. «Лекции по математической физике», М.: Наука, 2004.
8. Тихонов А. Н., Самарский А. А., «Уравнения математической физики», М.: МГУ, Наука, 2004.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/methods/meth-pde.htm>

- <https://www.elibrary.ru>
- <https://e.lanbook.com/books/926>

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте кафедры. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

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

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Взаимодействие излучения с наноструктурированными материалами» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.