

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ**

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

**Кострома 2021**

Рабочая программа дисциплины «Кантовая теория» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработал: Попов Дмитрий Евдокимович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент: Мухачева Татьяна Леонидовна, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н.

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики  
Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью дисциплины, как составной части основной образовательной программы, является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой и педагогической деятельности в научно-исследовательских институтах, высших и средних учебных заведениях, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях.

В результате изучения учебной дисциплины «Квантовая теория» у обучаемых должны сформироваться следующие общепрофессиональные компетенции:

Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности (ОПК-1).

Задачи дисциплины:

- ознакомление с общей постановкой проблем описания состояния квантовых систем;
- решение уравнений Шредингера, Паули, Клейна-Гордона, Дирака и интерпретация этих решений;
- рассмотрение области применения квантовой теории, принципа дополнительности и предельных переходов от квантового к классическому описанию.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Освоить компетенцию:

**ОПК-1:** способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Код и содержание индикаторов компетенции

**ОПК-1.3.** Использует базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**знать**

– основные понятия квантовой теории; аппарат операторов физических величин; уравнения Шредингера для стационарных и нестационарных систем; стационарную и нестационарную теорию возмущений; полуклассическую теорию излучения; основы описания многоэлектронных систем.

– основные литературные источники, в том числе интернет-ресурсы, отражающие состояние изученности проблем квантовой теории;

**уметь**

– решать простые квантовые задачи, анализировать состояние квантовых систем.  
– самостоятельно разработать стратегию поиска необходимой научной информации, а также индивидуальный план освоения дополнительного материала;

**владеть**

– методами решения задач квантовой механики;  
– навыками решения задач, методами и приемами аппарата квантовой механики для описания квантовых физических явлений.

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Данная дисциплина изучается в шестом семестре и входит в обязательную часть Блока 1 образовательной программы подготовки бакалавров физики. Содержание дисциплины охватывает основные понятия, аксиомы, принципы и методы квантовой теории.

Изложение материала по дисциплине начинается с рассмотрения кризиса классической физики при изучении объектов и явлений атомного масштаба. Далее, излагаются: дуализм явлений микромира; дискретные свойства волн; волновые свойства

частиц; принцип неопределенностей; принцип суперпозиции; наблюдаемые состояния; чистые и смешанные состояния; эволюция состояний и физических величин; соотношения между классической и квантовой механикой; теория представлений; общие свойства одномерного движения; гармонический осциллятор; туннельный эффект; квазиклассическое приближение; теория возмущений; теория момента; движение в центрально-симметричном поле; спин; принцип тождественности одинаковых частиц; релятивистская квантовая механика; атом водорода; периодическая система элементов Менделеева; химическая связь; молекулы; квантование электромагнитного поля; общая теория переходов; вторичное квантование, системы с неопределенным числом частиц; теория рассеяния.

Перед изучением дисциплины «Квантовая теория» обучающийся должен иметь четкие представления о законах квантовой оптики, строении атома, описании одноэлектронных и многоэлектронных атомов, электромагнитных переходах в атомах, поведении атома в поле внешних сил, молекулах и макроскопических квантовых явлениях. Требуемые знания, умения и навыки формируются в рамках ранее изучаемых дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Линейная алгебра», «Теория вероятности и математическая статистика», «Теория поля», «Оптика» «Атомная и ядерная физика».

Понятия и законы, изучаемые в рамках дисциплины «Квантовая теория» активно используются в современной физике, поэтому освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее и для последующих курсов «Физика твердого тела», «Физика поверхности», «Астрофизика», для продолжения образования в магистратуре, а также для формирования мировоззренческого образовательного уровня бакалавров физики.

#### 4. Объем дисциплины (модуля)

##### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	4
Общая трудоемкость в часах	144
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	98
Лекции	38
Практические занятия	60
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	46
Форма промежуточной аттестации	Экзамен 6 семестр

##### 4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	38
Практические занятия	60
Лабораторные занятий	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–
Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	–

Всего	100,35
-------	--------

**5.Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий**

**5.1 Тематический план учебной дисциплины**

№	Название раздела, темы	Всего з.е/час	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа
			Лекц.	Практ.	Лаб.	
1	Предмет и метод квантовой механики.	6	2	4	–	–
2	Физические основы квантовой механики.	6	2	4	–	–
3	Уравнение Шредингера.	6	2	4	–	–
4	Собственные функции и собственные значения	7	2	4	–	1
5	Элементы теории представлений.	7	2	4	–	1
6	Дискретные собственные значения. Уровни энергии.	7	2	4	–	1
7	Приближенные методы решения стационарных и нестационарных задач.	7	2	4	–	1
8	Полуклассическая теория излучений.	9	4	4	–	1
9	Элементы квантовой теории рассеяния.	9	4	4	–	1
10	Основы релятивистской квантовой механики.	11	4	6	–	1
11	Основы квантовой механики многих частиц.	11	4	6	–	1
12	Движение электрона в периодическом поле.	11	4	6	–	1
13	Вторичное квантование электромагнитного поля.	11	4	6	–	1
14	Экзамен	36				36
	<b>Итого:</b>	<b>144</b>	<b>38</b>	<b>60</b>	–	<b>46</b>

**5.2. Содержание:**

**ТЕМА 1. Предмет и метод квантовой механики.** Неполнота классической физики. Фундаментальные эксперименты квантовой механики и следствия из них вытекающие. Роль и значение курса квантовой механики для развития прикладных отраслей и для теоретической физики.

**ТЕМА 2. Физические основы квантовой механики.** Ранние квантовые теории.

Правила квантования Бора-Зоммерфельда. Практические и логические трудности ранних квантовых теорий. Принцип неопределенности и принцип дополнительности. Пределы возможностей эксперимента. Измерения координаты и импульса. Дифракционные эксперименты. Пространственные и временные волновые пакеты.

**ТЕМА 3. Уравнение Шредингера.** «Вывод» волнового уравнения. Бегущие гармонические волны и необходимость поиска волнового уравнения. Одномерное волновое уравнение и его обобщение на трехмерную область. Учет действия сил.

Интерпретация волновой функции. Статистическая интерпретация волновой функции. Нормировка волновой функции. Плотность тока вероятности. Среднее значение. Теоремы Эренфеста.

Волновые функции оператора энергии. Разделение переменных в волновом уравнении. Смысл константы разделения  $E$ . Граничные условия на бесконечности. Условия непрерывности. Граничные условия в точках, где потенциальная энергия обращается в бесконечность. Собственные значения оператора энергии в одномерном случае. Дискретные и непрерывные уровни энергии. Дискретные и непрерывные собственные значения в трехмерном случае.

**ТЕМА 4. Собственные функции и собственные значения.** Основные постулаты квантовой механики и собственные функции оператора энергии. Представление динамических переменных с помощью операторов. Разложение по собственным функциям. Оператор полной энергии. Нормировка в ящике. Свойство ортонормированности собственных функций оператора энергии. Вещественность собственных значений оператора энергии. Разложение по собственным функциям оператора энергии. Условие полноты. Вероятность и среднее значение. Общее решение уравнения Шредингера.

Собственные функции оператора импульса. Аналитический вид собственных функций. Нормировка в ящике.  $\psi$ -функция Дирака. Представление, нормировка и свойства  $\psi$ -функции. Условие полноты. Разложение по собственным функциям оператора импульса.

**ТЕМА 5. Элементы теории представлений.** Унитарные преобразования в квантовой механике. Координатное и импульсное представления. Матричная формулировка квантовой механики. Энергетическое представление. Описание временной эволюции системы в картине Гейзенберга.

**ТЕМА 6. Дискретные собственные значения. Уровни энергии.** Линейный гармонический осциллятор. Уровни энергии. Нулевая энергия. Четность. Полиномы Эрмита. Волновые функции гармонического осциллятора. Соответствие с классической теорией.

Сферически симметричные потенциалы в трехмерном пространстве. Разделение переменных в волновом уравнении. Полиномы Лежандра. Сферические функции. Четность. Момент импульса. Перестановочные соотношения для операторов компонент углового момента. Собственные значения операторов квадрата углового момента и его проекции на данное направление. Собственные функции оператора орбитального момента. Сложение моментов. Трехмерная потенциальная яма.

Атом водорода. Приведенная масса. Разделение переменных. Радиальное уравнение Шредингера. Полиномы Лагерра. Энергетический спектр. Волновые функции атома водорода.

**ТЕМА 7. Приближенные методы решения стационарных и нестационарных задач.** Стационарная теория возмущений. Поправки первого и второго порядка в случае невырожденных уровней. Теория возмущений при наличии вырождения.

Нестационарная теория возмущений. Вероятность квантовых переходов под действием возмущения. Возмущения, действующие в течение конечного времени. Периодические возмущения. Переходы в непрерывном спектре. Эффект Штарка у атома водорода. Элементарная квантовая теория дисперсии. Комбинационное рассеяние.

Вариационный метод. Среднее значение энергии. Применение вариационного

метода к возбужденным состояниям. Основное состояние атома гелия. Энергия взаимодействия электронов. Вариация параметра  $Z$ . Силы Ван-дер-Ваальса.

Квазиклассическое приближение. Предельный переход к классической механике. Приближенные и асимптотические решения. Решения и формулы связи около точек поворота. Уровни энергии в потенциальной яме. Правила квантования. Особые граничные условия. Туннельный эффект.

**ТЕМА 8. Полуклассическая теория излучений.** Вынужденное излучение и поглощение. Спонтанное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Излучение осциллятора, ротатора, атома водорода. Правила отбора для дипольного излучения. Мультипольные излучения высшего порядка.

**ТЕМА 9. Элементы теории рассеяния.** Общая теория упругого рассеяния. Амплитуда рассеяния и дифференциальное сечение рассеяния. Рассеяние в центральном поле. Парциальные амплитуда и фазы рассеяния. Борновское приближение.

**ТЕМА 10. Основы релятивистской квантовой механики.**

Уравнение Клейна – Фока. Уравнение Паули, матрицы Паули. Уравнение Дирака. Релятивистская инвариантность. Спиновый механический момент электрона и полный момент. Шаровые спиноры. Уравнение Дирака в нерелятивистском приближении, спиновый магнитный момент электрона. Уравнение Дирака с точностью до членов  $v^2/c^2$ . Тонкая структура уровней атома водорода. Эффект Зеемана в слабом и сильном магнитных полях. Сверхтонкая структура уровней атома водорода и ее роль в астрофизике. Решение уравнений Дирака для свободной частицы, отрицательные энергии, позитрон. Понятие об электрон-позитронном и электромагнитном вакууме. Лэмбовский сдвиг уровней. Аномальный магнитный момент электрона.

**ТЕМА 11. Основы квантовой механики многих частиц.** Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции; связь со спином частиц. Принцип Паули. Представление вторичного квантования. Понятие о квазичастицах. Приближенные методы исследования систем, состоящих из многих тождественных частиц. Понятие о методе самосогласованного поля. Строение сложных атомов. Периодическая система элементов.

Молекула как система многих частиц. Адиабатическое приближение. Молекула водорода. Классификация уровней. Химическая связь. Валентность. Принцип Франка-Кондона. Теорема Гельмана-Фейнмана. Теорема вириала. Одноэлектронная модель. Волновая функция многоэлектронной системы в одноэлектронном приближении. Ортогонализация одноэлектронных функций. Средняя энергия в одноэлектронном приближении. Метод Хартри-Фока для замкнутых электронных оболочек. Метод МО ЛКАО. Полуэмпирические варианты метода МО ЛКАО.

**ТЕМА 12. Движение электрона в периодическом поле.** Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни. Приближения сильно и слабой связи. Зоны Бриллюэна. Движение волнового пакета в периодическом поле и эффективная масса. Незаполненные уровни и дырки.

**ТЕМА 13. Вторичное квантование электромагнитного поля.** Квантование электромагнитного поля. Фотон. Состояние фотона с определенным импульсом и поляризацией. Взаимодействие электрона с квантованным электромагнитным полем. Вывод коэффициентов Эйнштейна. Понятие о естественной ширине спектральной линии.

## **6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

Квантовая теория занимает особое место в теоретической физике. Нобелевский лауреат Дэвид Гросс сказал, что весь 20-ый век – это век квантовой механики. Большинство нобелевских премий в области физики получили ученые, занимающиеся квантовой теорией или смежными разделами фундаментальной и прикладной физики.

Поэтому с самого начала изучения этой дисциплины необходима мотивация о чрезвычайно высокой и значительной роли этого раздела теоретической физики. Необходимыми «входными» знаниями являются математический анализ, теория функций комплексного переменного, функциональный анализ. Необходимо также знать основы атомной физики, ядерной физики и физики частиц из соответствующих дисциплин курса «Общей физики».

При изучении квантовой механики особое внимание следует уделить следующим положениям теории: фундаментальные положения и принципы квантовой механики – понятие состояний в квантовой теории, динамические переменные, эволюция векторов состояния со временем, стационарное уравнение Шредингера. Необходимо также усвоить гейзенберговский формализм квантовой теории, основные элементы теории представлений.

Изучение основного уравнения, как фундамента всей квантовой механики, должно привести к освоению широкого класса задач о движении свободных частиц и частиц в связанных состояниях. На этой основе осваиваются линейный гармонический осциллятор, теория водородоподобных атомов, теория моментов.

Следует особое внимание уделить анализу чистых и смешанных состояний и введению понятия матрицы плотности. Завершение рассмотрения нерелятивистской квантовой механики целесообразно проводить анализом приближенных методов квантовой теории: ВКБ - приближения, стационарной и нестационарной теории возмущения, вариационного метода.

Освоение курса должно сопровождаться содержательными физическими примерами, поясняющими общетеоретические положения и прививающие необходимые практические навыки, умение свободно владеть методами квантовой механики.

### 6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
4	Собственные функции и собственные значения	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос
5	Элементы теории представлений	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос
6	Дискретные собственные значения. Уровни	Обзор литературы, решение индивидуальных	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из	Письменный опрос; Выступление с презентацией



	энергии.	ых заданий		списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	
7	Приближенные методы решения стационарных и нестационарных задач.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Защита практического расчета
8	Полуклассическая теория излучений.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос
9	Элементы квантовой теории рассеяния.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,6] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос; Контрольная работа
10	Основы релятивистской квантовой механики.	Обзор литературы. Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос
11	Основы квантовой механики многих частиц.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос
12	Движение электрона в периодическом поле.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из	Письменный опрос; Контрольная работа

				списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	
13	Вторичное квантование электромагнитного поля.	Решение индивидуальных заданий	1	В качестве литературных источников предпочтительнее использовать [1,5] из списка дополнительной литературы и [1,2,4] из списка основной литературы.	Письменный опрос

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

Формой отчетности по данной дисциплине является экзамен. Необходимые условия допуска к экзамену:

- Наличие полного конспекта лекций
- Сдача всех контрольных работ (2 шт) с положительным результатом

Ниже приведены примерные планы практических занятий. Задачи даются по списку приведенному в фонде оценочных средств данной дисциплине.

Ниже приведены примерные планы семинарских занятий.

**Семинар 1. Тема:** Физические основания квантовой механики. Решение задач № 1-6.

**Семинар 2. Тема:** Математический аппарат квантовой механики. Собственные функции и собственные значения. Решение задач № 7-17.

**Семинар 3. Тема:** Уравнение Шредингера. Дискретные собственные значения. Уровни энергии. Решение задач № 17-25.

**Семинар 4. Тема:** Некоторые точно решаемые задачи в квантовой механике. Решение задач № 26-31.

**Семинар 5. Тема:** Некоторые точно решаемые задачи в квантовой механике. Решение задач № 32-35.

**Семинар 6. Тема:** Некоторые точно решаемые задачи в квантовой механике. Решение задач № 36-39.

**Семинар 7. Тема:** Стационарная теория возмущений. Решение задач № 40-41.

**Семинар 8. Тема:** Квантовая теория рассеяния. Решение задачи № 42.

**Семинар 9. Тема:** Полуклассическая теория излучения. Решение задачи № 43.

**Семинар 10. Тема:** Движение электрона в периодическом поле. Расчет зонного спектра энергии в модели Кронига-Пенни.

## 7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### а) основная

1. Ландау, Л. Д. Краткий курс теоретической физики / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва : Наука, 1972. – Книга 2. Квантовая механика. – 368 с. : ил. – (Краткий курс теоретической физики). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494680> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

2. Соболев, С. В. Основы нерелятивистской квантовой механики : учебное пособие / С. В. Соболев. – Москва : Физматлит, 2017. – 143 с. : граф. – Режим доступа: по

подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485503> (дата обращения: 10.06.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9221-1710-4. – Текст : электронный.

3. Сборник задач по теоретической физике : [учеб. пособие для физ. спец. высш. учеб. заведений]. - Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1984. – 319 с. (10 экз.)

4. Ведринский, Р. В. Квантовая механика : учебник / Р. В. Ведринский ; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2009. – 384 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240937> (дата обращения: 10.06.2021). – библиогр. с: С. 382 – ISBN 978-5-9275-0706-1. – Текст : электронный.

#### **б) дополнительная**

1. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев ; под ред. Л.Л. Енковского. - Изд. 3-е, доп., перераб. - Москва : Наука, 1970. - Т. 3. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. - 527 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483316> (11.11.2018).

2. Пинский, А. А. Основы физики : учебник / А. А. Пинский, Б. М. Яворский ; ред. Ю. И. Дик. – 5-е изд., стереот. – Москва : Физматлит, 2003. – Том 2. Колебания и волны. Квантовая физика. Физика ядра и элементарных частиц. – 551 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82665> (дата обращения: 10.06.2021). – ISBN 5-9221-0383-0. – Текст : электронный.

3. Флюгге З. Задачи по квантовой механике = Practical Quantum Mechanics I. Т. 1 / пер. с англ. Б. А. Лысова ; под ред. А. А. Соколова. - М. : Мир, 1974. - 341 с. (9 экз.)

4. Флюгге З. Задачи по квантовой механике = Practical Quantum Mechanics II. Т. 2 / пер. с англ. Б. А. Лысова ; под ред. А. А. Соколова. - М. : Мир, 1974. - 315 с. (9 экз.)

5. Карлов, Н.В. Начальные главы квантовой механики / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. - Москва : Физматлит, 2006. - 360 с. - ISBN 5-9221-0538-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68397> (11.11.2018).

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

### **1. Система дистанционного обучения университета MOODLE**

<http://sdo.ksu.edu.ru/курсы/квантовая теория>

### **2. Университетская библиотека ONLINE**

Самостоятельный поиск: [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub)

2а: Глузман С. А. [Квантовая эволюция жизни: путешествие за линию горизонта](#)

Санкт-Петербург. Издатель: Алетейя, 2014, 312 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233004&sr=1>

2б: Ведринский Р. В. [Квантовая механика: учебник](#) Издательство Южного федерального университета, 2009 Объем (стр): 384

[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=240937](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=240937)

### **3. Элементы большой науки:**

4а: квантовая механика <http://elementy.ru/trefil/20?context=20442>

4б: уравнение Шредингера <http://elementy.ru/trefil/21>

4в: принцип дополнительности <http://elementy.ru/trefil/28>

4г: библиотека <http://elementy.ru/lib>

4д: видеотека <http://elementy.ru/video>

4. Сайт Учебно-методического Совета по физике Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию  
<http://foroff.phys.msu.su/phys/>
5. Журнал «Успехи физических наук» <http://ufn.ru/ru/>поиск
6. Российский квантовый центр <http://www.rqc.ru/>

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

### **Аудитория для лекций**

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

### **Аудитория для практических занятий:**

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

### **Аудитории для самостоятельной работы:**

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.