Министерство просвещения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет
имени И. Н. Ульянова»
(ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет физико-математического и технологического образования
Кафедра физики и технических дисциплин

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
_____ С.Н. Титов
«25» июня 2021 г.

ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Программа учебной дисциплины Предметно-методического модуля

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки),

направленность (профиль) образовательной программы
Физика. Информатика

(очная форма обучения)

Составитель: Алтунин К. К.,
к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования, протокол от 21 июня 2021 г. № 7.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 01D77C644FC1E54000000006381D0002
Владелец: Титов Сергей Николаевич
Действителен: с 19.07.2021 до 19.07.2022

Ульяновск, 2021

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы теоретической физики» относится к дисциплинам обязательной части Блока 1. Дисциплины (модули) Предметно-методического модуля учебного плана основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы «Физика. Информатика», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на результаты обучения, сформированные в рамках школьного курса «Физика» или соответствующих дисциплин среднего профессионального образования, а также ряда дисциплин учебного плана, изученных обучающимися в 1-4 семестрах: Элементарная физика, Общая и экспериментальная физика.

1. Перечень планируемых результатов обучения (образовательных результатов) по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Основы теоретической физики» является формирование систематизированных знаний в области теоретической физики, понимание внутренней логики современных физических теорий, овладение студентами методами решения задач теоретической физики и подготовка бакалавра к работе учителем физики в общеобразовательной школе. Дисциплина предназначена дать будущим учителям профессиональную (теоретическую и практическую) подготовку в области физики.

Задачей освоения дисциплины является формирование у студента целостного представления об основных этапах развития теоретической физики и её структуре, об основных категориях, общих понятиях, принципах и законах теоретической физики; научить студентов применять эти принципы и законы для анализа конкретных физических процессов и явлений; ознакомить студентов с основными методами теоретической физики, обращая внимание на методологические обобщения и связь изучаемых физических теорий с современной техникой; развитие теоретического мышления; формирование представления о роли и месте теоретической физики в профессиональной подготовке учителя физики, сформировать готовность будущего учителя физики к эффективному преподаванию пропедевтического, базового и профильных курсов по физике. Поэтому внимание должно быть сосредоточено не столько на расчётных методах теоретической физики, сколько на мировоззренческих проблемах, связанных с формированием физической картины мира, и качественном их обсуждении. Дисциплину «Основы теоретической физики» можно рассматривать как курс физических теорий.

В отличие от курса общей физики, который опирается на феноменологическое описание явлений, курс теоретической физики является аксиоматичным. Этот курс позволяет раскрыть перед студентом глубину и строгость математического описания физической картины мира, исходящего из единых принципов практически для всех физических явлений. Естественно, что без знания основ общей физики и высшей математики данный курс будет бесполезным. Однако в свою очередь он дополняет курс общей физики, показывая альтернативный строго аксиоматический подход к описанию явлений.

В результате освоения программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине «Основы теоретической физики» (в таблице представлено соотнесение образовательных результатов обучения по дисциплине с индикаторами достижения компетенций):

Компетенция и индикаторы её достижения в дисциплине	Образовательные результаты дисциплины (этапы формирования дисциплины)		
	знает	умеет	владеет
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач УК.1.1. Выбирает источники информации, адекватные	ОР-1 знает общую структуру и базисные элементы теоретической физики;	ОР-2 умеет применять принципы и законы теоретической физики при анализе	ОР-3 владеет основными методами решения задач теоретической физики.

поставленным задачам и соответствующие научному мировоззрению УК.1.2. Демонстрирует умение осуществлять поиск информации для решения поставленных задач в рамках научного мировоззрения УК.1.3. Демонстрирует умение рассматривать различные точки зрения на поставленную задачу в рамках научного мировоззрения УК.1.4. Выявляет степень доказательности различных точек зрения на поставленную задачу в рамках научного мировоззрения УК.1.5. Определяет рациональные идеи для решения поставленных задач в рамках научного мировоззрения ПК-11. Способен использовать теоретические и практические знания для постановки и решения исследовательских задач в предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения) и в области образования. ПК-11.1. Знает основные научные понятия и особенности их использования, методы и приёмы изучения и анализа литературы в предметной области; основы организации исследовательской деятельности; основные информационные технологии поиска, сбора, анализа и обработки данных; интерпретирует явления и процессы в контексте общей динамики и периодизации исторического развития предмета, с учетом возможности их использования в ходе постановки и решения исследовательских задач. ПК-11.2. Умеет самостоятельно и в составе научного коллектива решать конкретные задачи профессиональной деятельности; самостоятельно и под научным руководством осуществлять сбор и обработку информации; способен применять полученные знания для объяснения актуальных проблем и тенденций развития предмета; проводить исследовательскую работу в соответствии с индивидуальным	наиболее общие понятия, принципы и законы теоретической физики;	конкретных физических процессов и решении задач теоретической физики;	

планом. ПК-11.3. Владеет базовыми представлениями о принципах организации и осуществления исследований, практическими навыками осуществления исследований; применяет навыки комплексного поиска, анализа и систематизации информации по изучаемым проблемам с использованием научной и учебной литературы, информационных баз данных. ПК-12 - Способен выделять структурные элементы, входящие в систему познания предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения), анализировать их в единстве содержания, формы и выполняемых функций. ПК-12.1. Знает формулировки определений, содержательное значение терминов и понятий предметной области, правила и алгоритмы оперирования с объектами предметной области, понимает взаимосвязь между структурными элементами; имеет представление о функциях и практическом применении изучаемых объектов. ПК-12.2. Умеет выделять и анализировать структурные элементы, входящие в систему познания предметной области; определять логическую взаимосвязь между компонентами предметной области; строить логически верные и обоснованные рассуждения; решать задачи предметной области. ПК-12.3. Владеет профессиональной терминологией и основами профессиональной речевой культуры; методами доказательных рассуждений; методами анализа изучаемых объектов, методами систематизации и структурирования знаний в предметной области, основами моделирования в предметной области.			

2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Номер семестра	Учебные занятия						Форма промежуточной аттестации
	Всего		Лекции, час	Практические занятия, час	Лабораторные занятия, час	Самостоятельная работа, час	
	Трудоемк.						
	Зач. ед.	Часы					
5	3	108	18	0	30	33	экзамен (27)
6	4	144	24	0	40	53	экзамен (27)
7	3	108	18	0	30	33	экзамен (27)
8	3	108	18	0	30	33	экзамен (27)
9	3	108	18	0	30	33	экзамен (27)
Итого:	16	576	96	0	160	212	135

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

3.1.Указание тем (разделов) и отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Наименование раздела и тем	Количество часов по формам организации обучения			
	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Раздел 1. Классическая механика (5 семестр)				
1.1. Предмет классической механики.	1	0	0	1
1.2. Кинематика.	1	0	6	2
1.3. Основания динамики Ньютона.	1	0	2	4
1.4. Динамика частицы.	1	0	2	4
1.5. Динамика системы частиц.	6	0	4	6
1.6. Основы аналитической механики.	2	0	8	8
1.7. Некоторые задачи классической механики.	2	0	8	8
Итого по 5 семестру	**18**	**0**	**30**	**33**
Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр)				

2.1. Электрический заряд и электромагнитное поле в вакууме.	2	0	4	5
2.2. Релятивистская формулировка электродинамики.	2	0	2	6
2.3. Электростатическое поле в вакууме.	2	0	2	4
2.4. Стационарное магнитное поле в вакууме.	2	0	4	6
2.5. Электромагнитные волны.	2	0	4	8
2.6. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.	16	0	24	24
Итого по 6 семестру	**24**	0	**40**	**53**
Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр)				
3.1. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.	2	0	2	2
3.2. Динамические уравнения и законы сохранения.	2	0	2	2
3.3. Одномерное движение.	2	0	6	3
3.4. Движение в центрально-симметричном поле.	2	0	4	4
3.5. Приближённые методы квантовой механики.	2	0	8	5
3.6. Элементы теории излучения.	2	0	2	5
3.7. Спин электрона.	2	0	0	4
3.8. Системы тождественных частиц.	2	0	2	4
3.9. Многоэлектронные атомы и молекулы.	2	0	4	4
Итого по 7 семестру	**18**	**0**	**30**	**33**
Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр)				
4.1. Основные положения статистической физики.	2	0	2	1
4.2. Статистическая термодинамика.	2	0	6	1
4.3. Статистическое распределение для системы в термостате.	2	0	4	4
4.4. Основные применения распределения Гиббса.	2	0	2	6
4.5. Квантовые статистики идеального газа.	6	0	10	8
4.6. Равновесие фаз и фазовые переходы.	0	0	2	4
4.7. Элементы теории флуктуаций.	2	0	2	4

4.8. Основы теории неравновесных процессов.	2	0	2	5
Итого по 8 семестру	**18**	**0**	**30**	**33**
Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр)				
5.1. Методы исследования в ядерной физике.	1	0	2	3
5.2. Свойства атомных ядер.	1	0	4	6
5.3. Ядерные модели.	4	0	2	6
5.4. Ядерные силы и их основные свойства.	2	0	0	2
5.5. Ядерные превращения.	4	0	14	8
5.6. Элементарные частицы.	6	0	8	8
Итого по 9 семестру	**18**	**0**	**30**	**33**
Всего по дисциплине:	**96**	**0**	**160**	**185**

3.2. Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины

Краткое содержание курса (5 семестр)

Раздел 1. Классическая механика.

1.1. Предмет классической механики.

Предмет классической механики, её разделы и методы. Модельные системы классической механики: частица (материальная точка), система частиц, твёрдое тело, сплошная среда. Пространство и время в классической физике. Элементарные события. Системы отсчёта. Инерциальные системы отсчёта и первый закон Ньютона. Принцип относительности.

1.2. Кинематика.

Кинематические характеристики частицы: радиус-вектор и закон движения, скорость, ускорение. Преобразование кинематических характеристик при пространственных и временных сдвигах, при пространственных поворотах и инверсии. Постулат об абсолютности времени. Преобразования Галилея и их кинематические следствия.

1.3. Основания динамики Ньютона.

Принцип причинности и задание состояний системы частиц в классической механике. Закон инерции. Масса и сила. Второй и третий законы Ньютона. Принцип независимости действия сил. Основная задача динамики.

1.4. Динамика частицы.

Импульс, момент импульса и кинетическая энергия частицы. Работа силы. Потенциальные силовые поля и потенциальная энергия. Основные теоремы динамики частицы. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии частицы.

1.5. Динамика системы частиц.

Основные теоремы динамики системы частиц. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени и с симметрией внешнего силового поля.

1.6. Основы аналитической механики.

Связи и реакции связей. Виртуальные перемещения, идеальные связи. Общее уравнение динамики (принцип Даламбера). Обобщённые координаты и обобщённые скорости, число степеней свободы системы частиц.

Функция Лагранжа и действие. Принцип экстремального действия. Уравнения Лагранжа. Обобщенные импульсы.

Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона. Симметрия функций Лагранжа и Гамильтона и законы сохранения. Изменение физических величин во времени, скобки Пуассона.

1.7. Некоторые задачи классической механики.

Одномерное движение, его качественное исследование. Период одномерного финитного движения.

Задача двух тел, её сведение к одночастичной задаче, приведённая масса.

Частица в центрально-симметричном поле. Законы сохранения, закон движения, уравнение траектории. Качественное исследование движения по графику эффективной потенциальной энергии.

Движение частицы в ньютоновском поле (задача Кеплера), её траектории. Законы Кеплера.

Упругие и неупругие столкновения частиц. Рассеяние частиц на силовом центре, сечение рассеяния. Формула Резерфорда.

Одномерный гармонический осциллятор, его фазовые траектории. Свободные малые колебания системы с несколькими степенями свободы, собственные частоты, нормальные координаты.

Краткое содержание курса (6 семестр)

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности.

2.1. Электрический заряд и электромагнитное поле в вакууме.

Введение. Электромагнитное взаимодействие, его характеристики. Предмет и методы классической электродинамики.

Электрический заряд, его свойства. Плотность заряда и плотность тока.

Закон сохранения заряда.

Электромагнитное поле в вакууме, его действие на заряженные частицы, источники поля. Электрическое и магнитное поля. Напряжённость электрического поля, индукция магнитного поля, принцип суперпозиции. Сила Лоренца.

Общие свойства электромагнитного поля в вакууме. Экспериментальные основания электродинамики (закон Кулона, закон Био-Савара-Лапласа, закон электромагнитной индукции Фарадея).

Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме в дифференциальной и интегральной форме. Векторы **E** и **B** как переменные состояния электромагнитного поля. Принцип причинности в классической электродинамике.

Потенциалы **A** и φ электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность, условие Лоренца. Уравнения для потенциалов.

Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Закон сохранения энергии в системе частицы-поле. Понятие об импульсе электромагнитного поля.

2.2. Релятивистская формулировка электродинамики.

4-ток. Относительность разбиения источников поля на заряды и токи.

4-потенциал. Тензор электромагнитного поля. Преобразование электрического и магнитного полей при изменении системы отсчёта. Инварианты электромагнитного поля.

Ковариантная форма уравнений Максвелла в вакууме.

2.3. Электростатическое поле в вакууме.

Уравнения электростатики в вакууме. Общие формулы для потенциала и напряжённости поля системы точечных и объёмно распределённых зарядов. Электростатическое поле в дипольном приближении. Дипольный момент и его свойства.

Плотность энергии электростатического поля. Энергия системы покоящихся зарядов.

Система покоящихся зарядов во внешнем электростатическом поле. Приближение квазиоднородного поля, энергия, сила и момент силы.

2.4. Стационарное магнитное поле в вакууме.

Уравнения магнитостатики в вакууме. Общие формулы для векторного потенциала и индукции магнитного поля системы точечных зарядов, объёмных и линейных токов.

Стационарное магнитное поле в магнитном дипольном приближении. Магнитный момент и его свойства.

Система движущихся заряженных частиц (токов) во внешнем квазиоднородном стационарном магнитном поле: сила, энергия и момент силы.

2.5. Электромагнитные волны.

Волновое уравнение для электромагнитной волны. Скорость распространения электромагнитных волн. Плоские и сферические волны. Плоские монохроматические волны. Эффект Доплера.

Электромагнитная природа света. Давление света.

Излучение электромагнитных волн. Уравнение Даламбера. Запаздывающие потенциалы. Электромагнитное поле системы зарядов в дипольном приближении в волновой зоне.

Интенсивность излучения электромагнитных волн. Простейшие излучающие системы.

2.6. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.

Общие свойства электромагнитного поля в веществе. Уравнения Максвелла-Лоренца для микроскопических полей, их макроскопическое усреднение. Макроскопические поля **E** и **B**. Свободные и связанные заряды; токи проводимости, намагниченности и поляризации. Векторы поляризованности и намагниченности. Поля **D** и **H**.

Система уравнений Максвелла в веществе, граничные условия. Материальные уравнения. Электрическая и магнитная проницаемости.

Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля в веществе.

Постоянные электромагнитные поля в веществе. Уравнения электростатики при наличии проводников, граничные условия. Энергия электростатического поля проводников, ёмкостные коэффициенты.

Уравнения электростатики при наличии диэлектриков, граничные условия. Энергия электростатического поля в диэлектриках.

Постоянный ток в металлах. Законы Ома и Джоуля-Ленца в дифференциальной и интегральной формах.

Уравнения магнитостатики в веществе, граничные условия. Энергия постоянного магнитного поля в магнетиках. Энергия системы токов, индуктивные коэффициенты. Поток энергии в цепи постоянного тока.

Переменные электромагнитные поля в веществе. ЭДС индукции в проводнике, движущемся в магнитном поле.

Волновое уравнение для электромагнитного поля в идеальном однородном диэлектрике, плоские монохроматические волны. Отражение и преломление волн.

Краткое содержание курса (7 семестр)

Раздел 3. Квантовая механика.

3.1. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.

Введение. Предмет и место квантовой механики в курсе физики. Особенности поведения микрообъектов. Корпускулярно-волновой дуализм. Дискретность значений физических величин. Соотношения неопределённостей. Вероятностный характер закономерностей микромира.

Состояния и наблюдаемые в квантовой механике. Состояния микросистем и волновая функция. Квантовомеханический принцип суперпозиции. Квантовомеханические наблюдаемые (динамические переменные) и самосопряжённые операторы.

Собственные значения и собственные функции самосопряженных операторов. Возможные значения наблюдаемых и их вероятность, среднее значение наблюдаемых.

Коммутаторы операторов. Условия совместной измеримости наблюдаемых. Полный набор наблюдаемых.

Операторы координат и импульса. Гамильтониан для частицы и для системы частиц. Операторы орбитального момента импульса.

3.2. Динамические уравнения и законы сохранения.

Принцип причинности в квантовой механике. Уравнение Шрёдингера. Изменение во времени средних значений наблюдаемых. Теоремы Эренфеста. Связь квантовой механики с классической механикой.

Законы сохранения и их связь со свойствами симметрии пространства-времени и внешнего поля.

Стационарное уравнение Шрёдингера. Стационарные состояния, их свойства.

3.3. Одномерное движение.

Общие свойства одномерного движения микрочастицы. Движение свободной частицы, волны де Бройля. Задача о частице в потенциальной яме. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.

3.4. Движение в центрально-симметричном поле.

Общие свойства движения в центрально-симметричном поле, законы сохранения. Собственные значения и собственные функции оператора орбитального момента. Радиальное уравнение Шрёдингера.

Атом водорода, его энергетический спектр. Стационарные состояния атома водорода и их описание с помощью квантовых чисел.

3.5. Приближённые методы квантовой механики.

Приближенные методы квантовой механики. Стационарная теория возмущений. Возмущения, зависящие от времени.

3.6. Элементы теории излучения.

Вероятности оптических переходов в атоме. Правила отбора для излучения и поглощения света атомом. Соотношения неопределенностей для энергии и времени. Естественная ширина энергетических уровней.

3.7. Спин электрона.

Волновая функция электрона с учётом спина. Орбитальный, спиновый и полный момент электрона. Понятие о спин-орбитальном взаимодействии.

3.8. Системы тождественных частиц.

Принцип тождественности частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы, принцип Паули для фермионов. Связь спина со статистикой.

3.9. Многоэлектронные атомы и молекулы.

Атом гелия. Мультиплетность состояний. Обменная энергия. Понятие о методе самосогласованного поля. Классификация состояний электронов в атоме. Периодическая система элементов. Молекула водорода. Природа химической связи. Атом во внешнем поле (эффект Зеемана и магнитный момент атома).

Краткое содержание курса (8 семестр)

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика.

4.1. Основные положения статистической физики.

Введение. Макроскопическая система. Динамический и статистический методы в физике. Принцип микроскопической обратимости и необратимость процессов в макромире. Динамический хаос. Краткий обзор основных понятий и законов термодинамики.

Основные положения статистической физики. Микросостояния квантовой и классической макросистем. Фазовое пространство. Статистический ансамбль и статистическое распределение. Макросостояния. Термодинамические величины как средние по ансамблю и как средние по времени. Понятие о флуктуациях.

Статистическая природа необратимости. Статистическое равновесие. Микроканоническое распределение, принцип равновероятности.

Энтропия в квантовой и классической теориях. Закон возрастания энтропии.

4.2. Статистическая термодинамика.

Внутренняя энергия. Температура. Абсолютный нуль. Отрицательная температура.

Обратимые и необратимые процессы. Адиабатические процессы. Давление.

Статистический смысл теплоты и работы. Первое начало термодинамики.

Второе начало термодинамики. Основное термодинамическое тождество. Максимальная работа процессов. Метод круговых процессов. Теоремы Карно. Эффект Джоуля–Томсона.

Третье начало термодинамики. Свойства вещества вблизи абсолютного нуля.

Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов.

Химический потенциал. Основные термодинамические соотношения для систем с переменным числом частиц.

4.3. Статистическое распределение для системы в термостате.

Каноническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение по энергиям. Статистическая сумма и статистический интеграл. Их связь со свободной энергией и уравнениями состояния макросистемы. Флуктуации энергии в термостате.

Большое каноническое распределение. Ω-потенциал и основные термодинамические соотношения для систем с переменным числом частиц. Флуктуации числа частиц системы.

4.4. Основные применения распределения Гиббса.

Распределение Максвелла. Закон равнораспределения кинетической энергии по степеням свободы. Классическая теория теплоемкостей идеального газа и кристаллов и её трудности. Квантовый подход к проблеме теплоёмкостей.

Теплоёмкость двухатомных газов. Характеристические температуры.

Распределение Больцмана для молекул идеального газа.

Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Статистическая сумма и термодинамические функции газа, слабо отклоняющегося от идеального газа.

4.5. Квантовые статистики идеального газа.

Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Условия перехода к классической статистике, критерий вырождения.

Свободные электроны в металлах как вырожденный Ферми-газ. Внутренняя энергия, теплоемкость и давление электронного газа в металлах. Ферми-газ в астрофизических объектах: белые карлики и нейтронные звезды.

Явление Бозе-конденсации. Понятие о сверхтекучести.

Равновесное тепловое излучение как фотонный газ. Статистический вывод законов равновесного излучения.

4.6. Равновесие фаз и фазовые переходы.

Равновесие фаз и фазовые переходы. Условия равновесия двух фаз вещества и его устойчивости. Фазовые переходы первого рода. Плавление, кристаллизация, испарение, конденсация, сублимация. Кривая равновесия фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Температурная зависимость давления насыщенного пара. Критическая точка.

Зародыши новой фазы. Метастабильные состояния. Явления перегрева и переохлаждения.

Равновесие трёх фаз вещества.

Понятие о фазовых переходах второго рода.

Соотношения Эренфеста. Параметр порядка. Теория фазовых переходов Ландау.

Условия равновесия в многокомпонентных и многофазных системах. Правило фаз Гиббса. Равновесие в химических реакциях. Закон действующих масс.

4.7. Элементы теории флуктуаций.

Формула Эйнштейна для вероятности флуктуаций. Вероятность флуктуаций для системы в термостате. Распределение Гаусса и флуктуации основных термодинамических величин. Броуновское движение. Формула Эйнштейна-Смолуховского. Флуктуационный предел чувствительности измерительных приборов.

4.8. Основы теории неравновесных процессов.

Функция распределения неравновесного макросостояния. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Н-теорема и принцип микроскопической обратимости. Приближение времени релаксации. Явления переноса. Коэффициенты диффузии, теплопроводности и вязкости.

Локальное термодинамическое равновесие. Понятие о диссипативных структурах и самоорганизации.

Краткое содержание курса (9 семестр)

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц.

5.1. Методы исследования в ядерной физике.

Масштабные уровни строения материи. Фундаментальные взаимодействия и их основные характеристики.

Постановка опытов по рассеянию, упругое и неупругое рассеяние, распады. Сечение рассеяния, вероятность распада.

Современные источники и детекторы частиц.

5.2. Свойства атомных ядер.

Состав ядра, его заряд и массовое число. Масса, энергия связи и удельная энергия связи ядер. Спин и магнитный момент ядер. Форма и размеры ядер.

5.3. Ядерные модели.

Капельная модель. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра. Модель ядерных оболочек, магические числа.

5.4. Ядерные силы и их основные свойства.

Ядерные силы. Свойства ядерных сил.

5.5. Ядерные превращения.

Радиоактивность, типы радиоактивных превращений. Механизмы альфа-распада, бета-превращений и гамма-излучения ядер.

Ядерные реакции, их классификация. Деление тяжелых ядер под действием нейтронов, цепная реакция деления. Ядерные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах, воспроизводство ядерного горючего. Реакции синтеза ядер, условия их осуществления. Термоядерная энергия в природе. Проблемы управляемого термоядерного синтеза, практические разработки и перспективы.

5.6. Элементарные частицы.

Общие характеристики частиц (масса, спин, четность, время жизни, электрический заряд). Лептоны, лептонные дублеты, лептонный заряд. Адроны, стабильные адроны и резонансы, мезоны и барионы, изомультиплеты. Характеристики адронов (барионный заряд, изоспин и его проекция, странность, очарование). Адроны как составные частицы. Кварки, их характеристики, аромат и цвет. Кварковый состав мезонов и барионов. Проблема пленения кварков.

Взаимопревращения частиц, законы сохранения. Несохранение пространственной четности в слабом взаимодействии.

Обменный механизм фундаментальных взаимодействий. Электромагнитное взаимодействие и фотон. Природа слабого взаимодействия, промежуточные бозоны. Кварк-глюонная модель сильного взаимодействия. Понятие о современных единых теориях фундаментальных взаимодействий.

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

Самостоятельная работа студентов является особой формой организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательно, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную на достижение конкретного результата, осуществляемую без прямой помощи преподавателя. Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям и зачёту. Она предусматривает, как правило, разработку рефератов, написание и защиту докладов или проектов, выполнение творческих, индивидуальных заданий в соответствии с учебной программой (тематическим планом изучения дисциплины). Тема для такого выступления может быть предложена преподавателем или избрана самим студентом, но материал выступления не должен дублировать лекционный материал. Реферативный материал служит дополнительной информацией для работы на лабораторных занятиях. Основная цель данного вида работы состоит в обучении студентов методам самостоятельной работы с учебным материалом. Для полноты усвоения тем, вынесенных на лабораторные занятия, требуется работа с первоисточниками. Курс предусматривает самостоятельную работу студентов со специальной научной литературой. Следует отметить, что самостоятельная работа студентов результативна лишь тогда, когда она выполняется систематически, планомерно и целенаправленно.

Задания для самостоятельной работы предусматривают использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Общий объём самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме численного решения теоретических задач по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена методическими материалами.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в формах:

- подготовка к устным опросам по теории;
- подготовка к устным докладам по теории;
- численное решение теоретических задач;
- решение домашней контрольной работы;
- подготовка к защите реферата и научных проектов.

Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

Пример контрольной работы

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

Контрольная работа 1. Вариант 1.

1. Даны уравнения движения точки $x = 2A\cos^2\frac{kt}{2}$, $y = A\sin kt$, где A, k - положительные постоянные. Определить траекторию и закон движения точки по траектории, отсчитывая расстояние от начального положения точки.

2. Материальная точка движется по эллипсу с полуосями a и b. Её секторная скорость относительно центра эллипса постоянна. Определить ускорение материальной точки как функцию её положения.

3. Самолёт летит горизонтально. Сопротивление воздуха пропорционально квадрату скорости $F = \alpha \mathrm{v}^2$ и при скорости 1 м/с равно 0.49 Н. Сила тяги постоянна, равна 30215 Н и составляет угол в $\pi/18$ с направлением полёта. Определить наибольшую скорость самолёта.

4. Описать качественно характер движения частицы в поле $U(r) = -\frac{\alpha}{r} - \frac{\gamma}{r^3}$ при различных значениях момента импульса и энергии.

5. Определить эффективное сечение для "падения" частиц в центр поля $U = -\frac{\alpha}{r^2}$.

Критерии оценивания:

за правильное решение 1 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 2 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 3 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 4 задачи – 7 баллов,
за правильное решение 5 задачи – 7 баллов.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

Контрольная работа 1. Вариант 1.

1. Сфера радиуса r заряжена с поверхностной плотностью $\sigma = \mathbf{ar}$, где $\mathbf{a}$ - постоянный вектор, $\mathbf{r}$ - радиус-вектор точки сферы относительно её центра. Найти напряжённость электрического поля в центре сферы.

2. Потенциал поля в некоторой области пространства зависит только от координаты x как $\varphi = -ax^3 + b$, где a и b - положительные постоянные. Найти распределение объёмного заряда $\rho(x)$.

3. Вычислить путём интегрирования уравнения Лапласа в сферических координатах потенциал и напряжённость электростатического поля внутри и вне проводящей сферы радиуса a, по поверхности которой равномерно распределён заряд e.

4. Одна грань прямоугольного параллелепипеда находится под потенциалом V, все прочие грани имеют нулевой потенциал. Найти распределение потенциала внутри параллелепипеда.

5. Сферический конденсатор с радиусами обкладок a и b, где $a < b$, заполнен изотропным диэлектриком, проницаемость которого зависит от расстояния r до центра системы как $\varepsilon(r) = \alpha / r$, α - постоянная. Найти ёмкость такого конденсатора.

6. Прямолинейная бесконечно длинная полоса имеет ширину a. Вдоль полосы течёт ток I, равномерно распределённый по её ширине. Найти магнитное поле $\mathbf{H}$. Проверить результат, рассмотрев предельный случай поля на больших расстояниях.

7. Скорость $\mathbf{v}$ релятивистской частицы в некоторый момент запаздывающего времени t' параллельна её ускорению $\dot{\mathbf{v}}$. Найти мгновенное угловое распределение интенсивности излучения $\frac{dI}{d\Omega}$, полную мгновенную интенсивность излучения I, а также суммарную по всем направлениям скорость потери энергии $\left(-\frac{dW}{dt'}\right)$.

Критерии оценивания:

за правильное решение 1 задачи – 4 баллов,
за правильное решение 2 задачи – 4 баллов,
за правильное решение 3 задачи – 4 баллов,
за правильное решение 4 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 5 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 6 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 7 задачи – 5 баллов.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

Контрольная работа 1. Вариант 1.

1. Для частицы массы m, находящейся в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме ширины ℓ ($0 < x < \ell$), найти собственные значения энергии частицы и её нормированные собственные функции.

2. Частица находится в центрально-симметричном потенциальном поле в состоянии $\psi_{n\ell m}(r,\theta,\varphi) = R_{n\ell}(r) Y_{\ell m}(\theta,\varphi)$. Каков физический смысл функций $\left|Y_{\ell m}(\theta,\varphi)\right|^2$? Вычислить нормированную функцию $Y_{21}(\theta,\varphi)$.

3. Найти волновую функцию частицы, находящейся в центрально-симметричном потенциальном поле атомного ядра, в состоянии $\psi_{200}(r,\theta,\varphi)$.

4. Определить первый потенциал возбуждения и энергию ионизации атома водорода. Показать, что с возрастанием главного квантового числа n интервал между соседними энергетическими уровнями уменьшается. Начертить схему уровней энергии атома водорода.

5. Найти уровни энергии трёхмерного гармонического осциллятора с потенциальной энергией $V = \frac{k_1 x^2}{2} + \frac{k_2 y^2}{2} + \frac{k_3 z^2}{2}$.

6. Атом испустил фотон с длиной волны $\lambda = 0.58$ мкм за время $t = 10^{-8}$ с. Оценить неопределённость Δx, с которой можно установить координату фотона в направлении его движения и относительную неопределённость его длины волны.

Критерии оценивания:

за правильное решение 1 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 2 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 3 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 4 задачи – 5 баллов,
за правильное решение 5 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 6 задачи – 6 баллов.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

Контрольная работа 1. Вариант 1.

1. Определить фазовые траектории для линейного осциллятора с малым трением.

2. Известно, что идеальный газ состоит из N частиц и находится в термостате с температурой T. Найти вероятность того, что газ имеет заданное значение энергии E из интервала $[E, E+dE]$.
3. Найти вероятность того, что кинетическая энергия частицы идеального одноатомного газа не превышает значения ε_0.
4. В вертикальном цилиндрическом сосуде высоты H находится 1 моль одноатомного идеального газа при температуре T. Найти энергию и теплоёмкость газа, учитывая наличие однородного поля силы тяжести.
5. Найти среднюю энергию и теплоёмкость системы N невзаимодействующих частиц, которые могут находиться в двух квантовых невырожденных состояниях ε_0 и ε_1.
6. Найти число частиц на всех возбуждённых орбиталях в случае одномерного газа невзаимодействующих бозонов.
7. Вычислить теплоёмкость вырожденного ультрарелятивистского электронного газа.
8. Найти среднюю энергию Ферми-газа при $T = 98K$, если энергия Ферми при нулевой температуре $\varepsilon_{F0} = 3.5$ эВ.

Критерии оценивания:
за правильное решение 1 задачи – 4 балла,
за правильное решение 2 задачи – 4 балла,
за правильное решение 3 задачи – 4 балла,
за правильное решение 4 задачи – 4 балла,
за правильное решение 5 задачи – 4 балла,
за правильное решение 6 задачи – 4 балла,
за правильное решение 7 задачи – 4 балла,
за правильное решение 8 задачи – 4 балла.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

Контрольная работа 1. Вариант 1.

1. Сколько протонов и нейтронов содержит ядро атома ${}^{8}_{3}Li$? Определить радиус, диаметр и объём атомного ядра ${}^{8}_{3}Li$.

2. Найти с помощью табличных значений избытка массы нуклидов, энергию связи на один нуклон в ядре ${}^{8}_{3}Li$.

3. Определить энергию, которая выделится при образовании из протонов и нейтронов ядер гелия ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ массой 1г. Масса ${}^{4}\mathrm{He}$=4.00260 а.е.м., масса ${}^{1}\mathrm{H}$=1.00783 а.е.м., масса нейтрона=1.00867 а.е.м.

4. При радиоактивном распаде ядер нуклида A_1 образуется радионуклид A_2. Их постоянные распада равны λ_1 и λ_2. Полагая, что в момент $t = 0$ препарат содержал только ядра нуклида A_1 в количестве N_{10}, определить момент времени t_m, когда количество ядер нуклида A_2 оказывается максимальным.

5. Сколько тепла выделяется при образовании 1 г ${}^{4}_{2}He$ из дейтерия? Написать ядерную реакцию.

Критерии оценивания:
за правильное решение 1 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 2 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 3 задачи – 6 баллов,
за правильное решение 4 задачи – 7 баллов,
за правильное решение 5 задачи – 7 баллов.

Перечень тем рефератов

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

1. Модельные системы классической механики: частица (материальная точка), система частиц, твёрдое тело, сплошная среда. Уравнения движения модельных систем.
2. Принцип причинности и задание состояний системы частиц в классической механике.

3. Инерциальные системы отсчёта и первый закон Ньютона.
4. Преобразование кинематических характеристик при пространственных и временных сдвигах (радиус-вектор и закон движения, скорость, ускорение), при пространственных поворотах и инверсии.
5. Второй и третий законы Ньютона. Масса и сила.
6. Принцип независимости действия сил в динамике Ньютона.
7. Основная задача динамики Ньютона.
8. Импульс, момент импульса и кинетическая энергия системы частиц.
9. Потенциальные силовые поля и потенциальная энергия.
10. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии частицы.
11. Основные теоремы динамики системы частиц.
12. Законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.
13. Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени и с симметрией внешнего силового поля.
14. Общее уравнение аналитической динамики (принцип Даламбера).
15. Функция Лагранжа и действие. Принцип наименьшего действия в аналитической динамике.
16. Уравнения Лагранжа в аналитической динамике. Симметрия функции Лагранжа и законы сохранения.
17. Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона в аналитической динамике. Симметрия функции Гамильтона и законы сохранения.
18. Скобки Пуассона в классической механике.
19. Одномерное движение.
20. Проблема двух тел.
21. Частица в центрально-симметричном поле. Законы сохранения, закон движения, уравнение траектории.
22. Движение частицы в ньютоновском поле (задача Кеплера), её траектории. Законы Кеплера.
23. Упругие и неупругие столкновения частиц.
24. Рассеяние частиц на силовом центре. Формула Резерфорда для эффективного дифференциального сечения рассеяния.
25. Классический линейный одномерный гармонический осциллятор.
26. Механические ангармонические колебания.
27. Принцип относительности Эйнштейна.
28. Пространство и время в релятивистской механике.
29. Преобразования Лоренца и их кинематические следствия.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

1. Теория сверхпроводимости Лондонов.
2. Приёмные и передающие антенны.
3. Отражение электромагнитных волн от поверхности металла.
4. Особенности распространения электромагнитных волн в неоднородной среде. **E**, **H** волны.
5. Основные уравнения магнитной гидродинамики.
6. Распространения света. Эйконал. Дифракция Френеля.
7. Распространения света. Эйконал. Дифракция Фраунгофера.
8. Геометрическая оптика в среде. Формулы Френеля.
9. Постоянный ток. Кинетические коэффициенты. Физические эффекты.
10. Ферромагнетизм. Природа магнитного упорядочения. Молекулярное поле Вейса.
11. Пьезоэлектрический эффект.
12. Основы нелинейной оптики.
13. Излучение Черенкова.
14. Синхротронное излучение.
15. Тензор энергии–импульса поля. Пондеромоторные силы.
16. Движение плазмы в поле.

17. Электромагнитное поле движущихся зарядов. Преобразование Лоренца для поля.
18. Поле в движущейся среде. Соотношение Минковского.
19. Теория скин-эффекта.
20. Взаимодействие стационарных токов.
21. Волноводы.
22. Резонаторы.
23. Метод конформного отображения и его использование в задачах электродинамики.
24. Максвелловский тензор натяжений.
25. Эффект Холла.
26. Особенности распространения электромагнитных волн в волноводах.
27. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса–Кронига.
28. Термоэлектрические и термомагнитные явления.
29. Теория дрейфа в неоднородном электромагнитном поле.
30. Уравнения Максвелла и основные соотношения в различных системах единиц.
31. Электромагнитные волны в нелинейных средах: генерация гармоник, самофокусировка, преобразование частот.
32. Проводники в переменных полях.
33. Оптические свойства проводников.
34. Гидродинамическая модель плазмы.
35. Макроскопическое усреднение уравнений Максвелла.
36. Усреднение плотности заряда. Поляризация среды.
37. Усреднение плотности тока.
38. Система уравнений Максвелла в среде. Материальные уравнения.
39. Потенциалы электромагнитного поля в среде.
40. Закон сохранения энергии.
41. Возможные приближения для системы уравнений Максвелла.
42. Граничные условия для кусочно-однородных сред.
43. Электростатика проводников. Граничные условия.
44. Полная энергия электростатического поля заряженных проводников.
45. Связь между потенциалами и зарядами проводников. Коэффициенты связи.
46. Метод решения задач электростатики с применением теоремы Гаусса.
47. Уравнение Пуассона.
48. Метод изображений.
49. Силы, действующие на проводник во внешнем электростатическом поле.
50. Проводник в однородном внешнем электростатическом поле.
51. Диэлектрик во внешнем электростатическом поле.
52. Энергия диэлектрика во внешнем электростатическом поле.
53. Силы, действующие на бесконечно малую плоскость, проведенную внутри диэлектрической среды.
54. Объёмные силы, действующие в диэлектрике.
55. Заряд в кусочно-однородной диэлектрической среде с плоской границей раздела.
56. Магнитное поле, создаваемое токами. Взаимодействие токов.
57. ЭДС и сопротивление для постоянного тока.
58. Магнитная энергия системы контуров постоянного тока. Коэффициенты индукции.
59. Силы в магнитном поле.
60. Диамагнетизм.
61. Парамагнетизм.
62. Ферромагнетизм.
63. Сверхпроводники в магнитном поле.
64. Уравнение квазистационарного поля.
65. Глубина проникновения электромагнитного поля в проводник.
66. Скин–эффект в линейном проводнике.
67. Уравнение для электромагнитного поля в однородной среде.

68. Анализ функции диэлектрической проницаемости.
69. Дисперсия электромагнитного поля в веществе.
70. Соотношение Крамерса-Кронига.
71. Уравнение Лапласа в сферических координатах.
72. Разложение потенциала точечного заряда по мультиполям.
73. Формулы Френеля для интенсивностей отраженных и преломленных волн.
74. Коэффициенты отражения электромагнитных волн на границе раздела сред.
75. Основные уравнения магнитной гидродинамики.
76. Некоторые следствия теории магнитной гидродинамики.
77. Элементы нелинейной электродинамики.
78. 4-тензоры и ковариантная форма записи физических законов.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

1. Принцип неопределённости.
2. Принцип суперпозиции.
3. Собственные значения и собственные функции физических величин. Дискретный и непрерывный спектр собственных значений. Нормировка собственных функций, полная система ортонормированных функций.
4. Среднее значение физической величины и определение оператора. Эрмитовы операторы.
5. Сложение и умножение операторов. Операторы и одновременная измеримость физических величин.
6. Обобщение результатов дискретного спектра на непрерывный. Нормировка на дельта-функцию Дирака. Волновая функция в *f*-представлении.
7. Предельный переход к классической механике. Волновая функция и измерения.
8. Гамильтониан. Дифференцирование операторов по времени. Стационарные состояния.
9. Матричные элементы, их зависимость от времени и частота перехода между состояниями **n** и **m**. Дифференцирование по времени и правило умножения матриц. Нормировка и диагональный вид энергии.
10. Гайзенберговское представление операторов. Матрица плотности.
11. Оператор импульса. Его собственные функции и собственные значения. Разложение волновой функции по собственным функциям импульса.
12. Соотношения неопределённости.
13. Общие свойства уравнения Шрёдингера.
14. Уравнение Шрёдингера. Де-бройлевская длина волны частицы. Суперпозиция волн де Бройля. Плотность потока вероятности.
15. Линейный осциллятор.
16. Момент импульса, правила коммутации. Собственные значения и собственные функции момента. Четность состояния. Сложение моментов.
17. Спин. Оператор спина.
18. Общие свойства одномерного движения. Потенциальная яма.
19. Движение в однородном поле. Коэффициент прохождения.
20. Движение в центрально-симметричном поле. Сферические волны.
21. Разложение плоской волны. Падение частицы на центр.
22. Движение в кулоновом поле.
23. Теория возмущений: стационарная теория, секулярное уравнение. Метод Ритца.
24. Теория возмущений: нестационарная теория. Борновское приближение.
25. Квазиклассическое приближение в квантовой механике, ВКБ решение.
26. Граничные условия в квазиклассическом случае. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.
27. Спин. Оператор спина. Спиновые волновые функции (спиноры).
28. Тождественность частиц: принцип неразличимости одинаковых частиц.
29. Тождественность частиц: обменное взаимодействие и симметрия по отношению к перестановкам.
30. Вторичное квантование.

31. Атомные уровни энергии и состояния электронов в атоме.
32. Состояния атомов: атомные уровни энергии и состояния электронов в атоме.
33. Состояния атомов: водородоподобные уровни энергии и метод самосогласованного поля на примере атома гелия. Уравнение Томаса-Ферми.
34. Эффект Штарка на водороде.
35. Водородоподобные уровни энергии и метод самосогласованного поля на примере атома гелия.
36. Уравнение Томаса-Ферми.
37. Тонкая структура атомных уровней.
38. Периодическая система элементов Менделеева.
39. Состояния атомов: тонкая структура атомных уровней и периодическая система элементов Менделеева.
40. Электронные термы двухатомной молекулы, пересечение электронных термов.
41. Двухатомная молекула: связь молекулярных термов с атомными, валентность.
42. Колебательная и вращательная структура синглетных термов двухатомной молекулы.
43. Классификация молекулярных колебаний и колебательные уровни энергии.
44. Устойчивость симметричных конфигураций молекулы.
45. Квантование вращения волчка.
46. Взаимодействие колебаний и вращения молекулы.
47. Коммутирующие и некоммутирующие операторы в квантовой механике.
48. Коммутаторы операторов.
49. Эрмитовы операторы.
50. Задачи о спектре эрмитовых операторов и их решение в теории квантовой механики.
51. Унитарные операторы. Унитарные матрицы и преобразования.
52. Матричная формулировка квантовой механики. Уравнения движения в матричной форме.
53. Одномерная прямоугольная потенциальная яма с бесконечно высокими стенками.
54. Двумерная прямоугольная потенциальная яма с бесконечно высокими стенками.
55. Трёхмерный прямоугольный потенциальный ящик.
56. Задача о шаровой яме.
57. Туннельный эффект (прямоугольный потенциальный барьер).
58. Туннельный эффект (треугольный потенциальный барьер).
59. Туннельный эффект (потенциальный барьер произвольной формы).
60. Векторная модель многоэлектронного атома.
61. Сложение векторов момента.
62. Атомные мультиплеты.
63. Уравнение Шрёдингера.
64. Уравнение Шрёдингера и задача Штурма-Лиувилля.
65. Стационарное уравнение Шрёдингера.
66. Атом водорода (дискретный спектр).
67. Атом водорода (непрерывный спектр).
68. Уравнение Шрёдингера для электрона в атоме водорода.
69. Собственные значения и собственные функции оператора орбитального момента.
70. Радиальное уравнение Шрёдингера.
71. Тонкая структура спектров.
72. Лэмбовский сдвиг.
73. Сверхтонкая структура спектров.
74. Волновые функции одномерного квантового гармонического осциллятора.
75. Волновые функции двумерного квантового гармонического осциллятора.
76. Волновые функции трёхмерного квантового гармонического осциллятора.
77. Волновые функции одномерного квантового ангармонического осциллятора.
78. Волновые функции двумерного квантового ангармонического осциллятора.
79. Волновые функции трёхмерного квантового ангармонического осциллятора.
80. Атом гелия (дискретный спектр).

81. Атом гелия (непрерывный спектр).
82. Молекула водорода.
83. Квантовая природа химической связи.
84. Теория многих тел в квантовой механике.
85. Периодическая система элементов.
86. Квантовомеханическое обоснование периодического закона.
87. Спин-орбитальное взаимодействие.
88. Квантовая теория эффекта Штарка.
89. Квантовая теория эффекта Зеемана.
90. Аномальный эффект Зеемана.
91. Квадратичный эффект Зеемана.
92. Эффект Пашена-Бака.
93. Рассеяние кулоновским полем.
94. Приближение Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна.
95. Вариационный метод.
96. Квантовая теория столкновений. Рассеяние сферически-симметричным полем.
97. Трёхмерные столкновения.
98. Квантовая теория рассеяния.
99. Стационарная теория возмущений. Метод Ритца.
100. Нестационарная теория возмущений. Борновское приближение.
101. Нестационарная теория возмущений. Адиабатическое приближение и аппроксимация внезапных возмущений.
102. Нестационарная теория возмущений. Приближённые методы решения задачи о неупругих столкновениях.
103. Теория возмущений для системы двух электронов.
104. Методы инвариантной теории возмущений.
105. Релятивистское уравнение Шрёдингера.
106. Уравнение Дирака.
107. Спиноры и биспиноры.
108. Уравнение Дирака для электрона в атоме водорода.
109. Уравнение Дирака для электрона в водородоподобном атоме.
110. Уравнение Дирака для электрона в атоме гелия.
111. Уравнение Дирака для молекулы водорода.
112. Теория излучения в квантовой механике. Спонтанное дипольное излучение.
113. Дипольные переходы в квантовой теории излучения.
114. Релятивистское уравнение Дирака для частицы в центральном поле с учётом спин орбитального взаимодействия.
115. Принцип тождественности частиц.
116. Симметричные и антисимметричные волновые функции.
117. Бозоны и фермионы, принцип Паули для фермионов.
118. Тождественные частицы и спин.
119. Теория спина Паули.
120. Уравнение Паули.
121. Квантовая механика атомных ядер.
122. Каоны.
123. Квантовая механика элементарных частиц.
124. Нейтрино и несохранение чётности.
125. Квантование электромагнитного поля в вакууме.
126. Теория излучения в квантовой электродинамике.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

1. Математические методы в термодинамике.
2. Квазистатические процессы.
3. Соотношения между производными термодинамических величин: метод смешанных производных и метод якобианов.

4. Первый закон термодинамики.
5. Второй закон термодинамики.
6. Простые идеальные газы.
7. Эффект Джоуля–Томсона.
8. Термодинамические циклы.
9. Третий закон термодинамики.
10. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью.
11. Фазовое пространство механических систем.
12. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема.
13. Микроканоническое распределение.
14. Распределение Гиббса – каноническое распределение.
15. Распределения Максвелла в декартовых и криволинейных координатах.
16. Распределение вероятностей для осциллятора.
17. Статистическая сумма и статистический интеграл.
18. Распределение Ферми и Бозе. Неравновесные ферми- и бозе-газы.
19. Ферми- и бозе-газы элементарных частиц.
20. Вырожденный электронный газ.
21. Теплоёмкость вырожденного электронного газа.
22. Релятивистский вырожденный электронный газ.
23. Вырожденный бозе-газ.
24. Распределение Гаусса. Распределение Гаусса для нескольких величин.
25. Флуктуации основных термодинамических величин.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

1. Радиоактивность, типы радиоактивных превращений
2. Естественная радиоактивность
3. Искусственная радиоактивность
4. Закон радиоактивного распада
5. Физические механизмы α-распада
6. Физические механизмы β-превращений
7. Физические механизмы γ-излучения ядер
8. Ядерные реакции
9. Трансурановые элементы
10. Деление тяжелых ядер под действием нейтронов
11. Цепная реакция деления
12. Ядерные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах, воспроизводство ядерного горючего
13. Реакции синтеза ядер
14. Термоядерная энергия в природе
15. Проблемы управляемого термоядерного синтеза, практические разработки и перспективы
16. Систематика частиц. Фундаментальные частицы
17. Основные узлы фундаментальных взаимодействий. Кварковые диаграммы
18. Законы сохранения в мире частиц
19. Античастицы
20. Супермультиплеты
21. Кварки. Кварковая модель строения адронов
22. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов
23. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков
24. Глюоны. Квантовая хромодинамика
25. Кварк-глюонная модель сильного взаимодействия
26. Сравнение квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики. Экранировка и антиэкранировка заряда. Асимптотическая свобода
27. Внутри протона
28. Отсутствие кварков в свободном состоянии

29. Эксперименты, подтверждающие наличие кварков в адронах
30. Тяжёлые кварки
31. Слабые взаимодействия
32. Типы нейтрино
33. Слабые распады
34. Закон сохранения чётности и зеркальная симметрия
35. Несохранение чётности в слабом взаимодействии
36. Спиральность
37. Диаграммы Фейнмана для электромагнитных взаимодействий
38. Кванты других полей. Фундаментальные бозоны
39. Зарядовое сопряжение. CP-преобразование
40. Зарядовая чётность. Истинно нейтральные каоны
41. Обращение времени. Нарушение CP-инвариантности. CPT-теорема
42. Константы взаимодействий. Пропагатор. Переопределение константы слабого взаимодействия
43. Количество поколений фундаментальных фермионов. Масса нейтрино
44. Общие характеристики элементарных частиц (масса, спин, четность, время жизни, электрический заряд)
45. Классификация элементарных частиц
46. Лептоны, лептонные дублеты, лептонный заряд
47. Адроны, стабильные адроны и резонансы
48. Мезоны и барионы
49. Изомультиплеты
50. Характеристики адронов (барионный заряд, изоспин и его проекция, странность, очарование)
51. Адроны как составные частицы
52. Взаимопревращения частиц, законы сохранения. Частицы и античастицы
53. Фундаментальные взаимодействия. Обменный механизм фундаментальных взаимодействий
54. Частицы участники и частицы переносчики взаимодействий. Электромагнитное взаимодействие и фотон. Природа слабого взаимодействия, промежуточные бозоны
55. Космические лучи

Перечень вопросов для самоконтроля обучающимися

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

1. Покажите, что уравнения Ньютона инвариантны относительно преобразований Галилея, а уравнения движения точечной частицы в релятивистской механике ковариантны относительно преобразований Лоренца.
2. Приведите вывод законов сохранения энергии, импульса и момента импульса точечной частицы в нерелятивистской и релятивистской механике; сформулируйте условия, которым должны удовлетворять силы.
3. Получите выражение для силы гравитационного взаимодействия частицы с силовым центром, считая известными законы Кеплера.
4. Покажите, что общее выражение для силы Лоренца вместе с первой парой уравнений Максвелла может быть получено из уравнений Лагранжа для обобщенно-потенциальных сил.
5. Покажите, что функция Лагранжа определена с точностью до полной производной по времени от произвольной скалярной функции координат и времени. Установите связь таких преобразований функции Лагранжа с калибровочными преобразованиями потенциалов электромагнитного поля.
6. Исследуйте одномерное движение в консервативном поле; получите формулу для периода нелинейных колебаний. Найдите функцию Лагранжа для одномерного финитного движения частицы во внешнем поле в приближении линейных колебаний, линейное уравнение движения при наличии диссипативной силы, пропорциональной скорости и общее решение неоднородного уравнения движения.

7. Приведите вывод уравнений, определяющих изменение со временем импульса, энергии, и момента импульса системы взаимодействующих частиц, находящихся во внешнем поле при наличии диссипативных сил. Получите уравнение движения тела с переменной массой (уравнение Мещёрского).
8. Приведите доказательство теоремы о вириале для системы частиц с парным потенциалом взаимодействия, зависящим только от расстояний между частицами, и, в частности, для частиц с кулоновским взаимодействием.
9. Считая заданными уравнения голономных идеальных связей, приведите вывод уравнений Лагранжа с реакциями связей (первого рода); получите уравнение для изменения полной энергии системы при наличии связей.
10. Приведите вывод уравнений Лагранжа для системы N частиц с s степенями свободы из уравнений Даламбера.
11. Приведите вывод уравнений Лагранжа из принципа наименьшего действия.
12. Получите выражение для функции Лагранжа и уравнения движения системы взаимодействующих частиц в неинерциальной системе отсчёта.
13. Приведите формулировку и доказательство теоремы Нётер. Установите связь законов сохранения энергии, импульса и момента импульса со свойствами симметрии пространства и времени.
14. Получите в квадратурах общее решение задачи о движении точечной частицы в центральном поле. При каких условиях траектория является замкнутой?
15. Найдите траекторию частицы, совершающей финитное движение под действием центральной силы притяжения, $U(r) = -\alpha/r$, а также выражение для периода обращения частицы по эллиптической орбите.
16. Найдите траекторию и угол рассеяния частицы при её инфинитном движении в поле центральной силы отталкивания с потенциалом $U(r) = \alpha/r$, а также силы притяжения с потенциалом $U(r) = -\alpha/r$.
17. Получите общее решение (в квадратурах) задачи двух тел.
18. Приведите вывод формулы Резерфорда для дифференциального сечения рассеяния легких заряженных частиц на первоначально неподвижных тяжелых ядрах.
19. Получите формулу для дифференциального эффективного сечения рассеяния жестких сфер.
20. Найдите компоненты угловой скорости твёрдого тела как функции углов Эйлера и их производных по времени.
21. Приведите вывод функции Лагранжа твёрдого тела, принимая в качестве обобщенных координат декартовы координаты центра масс тела и углы Эйлера.
22. Приведите формулы преобразования тензора инерции твёрдого тела при поворотах и параллельных переносах координатных осей. Покажите, каким образом тензор инерции твёрдого тела приводится к главным осям инерции.
23. Приведите вывод уравнений Эйлера движения твёрдого тела с одной неподвижной точкой. Найдите частоту прецессии свободного симметричного твёрдого тела.
24. Исследуйте движение тяжёлого симметричного волчка с одной неподвижной точкой.
25. Найдите общее решение уравнений движения консервативной системы в малой окрестности положения равновесия. При каких условиях система будет все время оставаться в этой окрестности?
26. Преобразуйте функцию и уравнения Лагранжа системы со многими степенями свободы в приближении линейных колебаний к нормальным координатам.
27. В приближении линейных колебаний найдите общее решение уравнений движения системы частиц с s степенями свободы при наличии диссипативных сил.
28. Найдите общее решение для вынужденных колебаний системы с s степенями свободы под действием периодической внешней силы, а также диссипативных сил.
29. Получите общее решение задачи о линейных колебаниях линейной симметричной трёхатомной молекулы.
30. Методом Крылова-Боголюбова получите формулы первого приближения для асимптотических решений уравнений движения систем, близких к линейным.

31. Исследуйте автоколебания на примере маятника с вращающейся муфтой подвеса при наличии сухого трения (маятник Фроуда).
32. Получите формулы первого приближения метода Крылова-Боголюбова для нелинейных систем с медленно меняющимися параметрами. Приведите примеры адиабатических инвариантов.
33. Найдите выражение для эффективной потенциальной энергии "медленного" одномерного движения системы при наличии высокочастотных возмущений.
34. Получите канонические уравнения Гамильтона для системы с s степенями свободы при наличии диссипативных сил, исходя из лагранжевой формы уравнений движения.
35. Приведите вывод канонических уравнений Гамильтона из вариационного принципа.
36. Приведите определение скобок Пуассона. Покажите, что множество динамических функций образует алгебру Ли. Докажите теорему Пуассона.
37. Покажите, что эволюция во времени динамической функции может быть представлена в виде итерационного ряда и что каждый элемент алгебры динамических функций порождает однопараметрическую группу Ли автоморфизмов алгебры.
38. Покажите, что для любого канонического преобразования существует производящая функция. Получите формулы канонических преобразований в терминах четырёх возможных типов производящих функций.
39. Приведите вывод уравнения Гамильтона-Якоби и доказательство теоремы Якоби.
40. Сформулируйте метод разделения переменных в уравнении Гамильтона-Якоби и его особенности для консервативных систем. Продемонстрируйте эффективность этого метода на примере.
41. Введите переменные "действие-угол" для системы, совершающей условно-периодическое движение. Сформулируйте, основанный на этих переменных, метод вычисления собственных частот колебаний системы с s степенями свободы.
42. Приведите доказательство теоремы Лиувилля.
43. Приведите вывод уравнения непрерывности.
44. Найдите общий вид уравнения баланса импульса для системы частиц с парным потенциалом взаимодействия, зависящим только от расстояний между частицами.
45. Приведите вывод уравнений баланса импульса для жидкостей и газов (короткодействующие потенциалы взаимодействия между частицами).
46. Приведите вывод уравнения баланса энергии.
47. Сформулируйте условия применимости приближения идеальной жидкости и идеального газа. Получите в этом приближении уравнение Эйлера.
48. Получите интеграл Бернулли для стационарного движения идеальной жидкости.
49. Получите интеграл Лагранжа-Коши для безвихревого движения идеальной жидкости.
50. Приведите вывод уравнения Навье-Стокса.
51. Приведите полную систему уравнений гидродинамики.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

1. Преобразования Лоренца. Преобразование скорости. 4-мерный волновой вектор. Законы преобразования для частоты и волнового вектора электромагнитной волны. Релятивистский эффект Доплера и аберрация света.
2. Четырёхмерные векторы и тензоры в пространстве Минковского. Дуальные тензоры. Элементы векторного и тензорного анализа в пространстве Минковского.
3. Четырёхмерная скорость и четырёхмерное ускорение частицы. Л- и Ц-системы. Дефект масс.
4. Применение законов сохранения для описания реакций упругого и неупругого столкновения релятивистских асимптотически свободных частиц. Релятивистские встречные пучки.
5. 4-мерный вектор-потенциал и действие для заряженной частицы. Уравнение движения частицы в поле.
6. Движение релятивистской заряженной частицы в постоянном электрическом и магнитном полях.

7. Движение релятивистской заряженной частицы в поле неподвижного кулоновского центра.
8. Уравнение Пуассона в электростатике. Поле равномерно движущегося заряда.
9. Потенциал электростатического поля системы зарядов на удалении. Мультипольные разложения потенциалов: дипольное приближение. Дипольный момент.
10. Потенциал электростатического поля в квадрупольном приближении. Квадрупольный момент. Система зарядов во внешнем электростатическом поле.
11. Мультипольное разложение потенциала по полиномам Лежандра и по сферическим функциям. Примеры.
12. Уравнение для вектор-потенциала постоянного магнитного поля. Магнитное поле системы движущихся зарядов. Магнитный момент.
13. Дипольное излучение движущейся системы зарядов. Поляризация излучения.
14. Дипольное излучение при кулоновском взаимодействии. Тормозное излучение и его спектр.
15. Квадрупольное и магнитно-дипольное излучение.
16. Особенности излучения релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение.
17. Торможение излучением (радиационное трение). Рассеяние электромагнитной волны свободным зарядом. Формула Томсона.
18. Энергия электростатического поля системы проводников. Ёмкостные коэффициенты. Незаряженный проводник во внешнем электрическом поле.
19. Решение электростатических задач методом изображений.
20. Решение электростатических задач методом конформных отображений.
21. Использование эллиптических координат для решения задачи о заряженном проводящем эллипсоиде. Поле заряженного диска.
22. Силы, действующие на заряженный или незаряженный проводник во внешнем электрическом поле.
23. Электростатическое поле в диэлектрических средах. Граничные условия.
24. Диэлектрик во внешнем квазиоднородном электростатическом поле. Диэлектрическая проницаемость (её вывод для газа, для диэлектрической эмульсии).
25. Пондеромоторные силы в изотропном диэлектрике. Формула Гельмгольца. Электрострикция изотропных диэлектриков.
26. Электрическое поле и пондеромоторные силы в анизотропных диэлектриках. Тензор диэлектрической проницаемости.
27. Постоянный ток в проводящей среде.
28. Постоянное магнитное поле в магнетиках. Граничные условия на границе магнетика. Скалярный магнитный потенциал.
29. Вектор-потенциал и магнитное поле системы линейных токов. Система токов во внешнем магнитном поле. Самоиндукция линейных проводников.
30. Сверхпроводник в электромагнитном поле. Уравнение Лондонов.
31. Глубина проникновения квазистационарного электромагнитного поля в проводник. Скин-эффект.
32. Формулы Крамерса-Кронига. Уравнения электромагнитных волн с большой частотой в прозрачных средах. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Распространение электромагнитных волн в неоднородной среде. Рассеяние и поглощение электромагнитных волн в веществе. Рэлеевское рассеяние на малых частицах, в газах и жидкостях.
33. Фазовая и групповая скорости в диспергирующей среде. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе реальных сред. Поверхностный импеданс металлов.
34. Черенковское излучение.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

1. Состояние микросистемы и волновая функция. Собственные значения и собственные функции физических величин.
2. Операторы физических величин и их свойства в квантовой механике.

3. Оператор импульса. Его собственные функции и собственные значения. Разложение волновой функции по собственным функциям импульса.
4. Задача на собственные функции и собственные значения.
5. Волновая функция свободной частицы и её свойства.
6. Основные свойства уравнение Шрёдингера. Де-бройлевская длина волны частицы. Суперпозиция волн де Бройля. Плотность потока вероятности.
7. Эволюция состояний квантовой системы в представлении Шрёдингера.
8. Импульс и координата свободной частицы и их свойства.
9. Решение уравнений Гейзенберга для гармонического осциллятора.
10. Движение в центрально-симметричном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Падение частицы на центр. Движение в кулоновом поле.
11. Специальные и обобщённые функции в квантовой механике и их свойства.
12. Квазиклассическое приближение в квантовой механике, ВКБ решение. Квазиклассическое движение в центрально-симметричном поле.
13. Спин. Оператор спина. Спиновые волновые функции (спиноры).
14. Спин электрона. Задача на собственные функции и собственные значения.
15. Электрон в неоднородном магнитном поле.
16. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса–Ферми. Тонкая структура атомных уровней.
17. Стационарная теория, секулярное уравнение. Метод Ритца. Борновское приближение.
18. Вторичное квантование. Случай статистики Ферми. Случай статистики Бозе.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

1. Математические методы в термодинамике.
2. Квазистатические процессы.
3. Соотношения между производными термодинамических величин: метод смешанных производных и метод якобианов.
4. Первый закон термодинамики.
5. Второй закон термодинамики.
6. Простые идеальные газы.
7. Эффект Джоуля–Томсона.
8. Термодинамические циклы.
9. Третий закон термодинамики.
10. Идеальный газ с постоянной теплоёмкостью.
11. Основные понятия статистической физики. Основные принципы статистики: фазовое пространство механических систем; функция статистического распределения; подсистема; основная задача статистики.
12. Статистическая независимость. Теорема об относительной флуктуации физических величин.
13. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объёма.
14. Матрица плотности в координатном и энергетическом представлении.
15. Роль энергии. Микроканоническое распределение.
16. Статистическое распределение в квантовой статистике. Квантовое микроканоническое распределение.
17. Энтропия. Энтропия в квантовой статистике. Закон возрастания энтропии. Статистический вес макроскопического состояния подсистемы и её энтропия.
18. Роль времени в определении энтропии. Физический смысл энтропии. Закон возрастания энтропии.
19. Температура. Макроскопическое движение.
20. Адиабатический процесс. Вычисление средних значений чисто термодинамическим путем.
21. Давление. Работа и количество тепла.
22. Тепловая функция; свободная энергия и термодинамический потенциал; их уточнение при наличии дополнительных внешних параметров; теорема о малых добавках.

23. Микроканоническое распределение. Аддитивные интегралы движения и статистические свойства замкнутой системы. Функция распределения для замкнутой системы - микроканоническое распределение.
24. Неполное (частичное) равновесие системы. Макроскопическое состояние системы. Эргодические системы.
25. Распределение Гиббса – каноническое распределение.
26. Свободная энергия в распределении Гиббса. Статистическая сумма и статистический интеграл.
27. Распределения Максвелла в декартовых и криволинейных координатах.
28. Распределение вероятностей для осциллятора.
29. Большое каноническое распределение – распределение Гиббса с переменным числом частиц.
30. Идеальный газ. Распределение Больцмана в квантовой и классической статистике. Столкновение молекул.
31. Уравнение состояния идеального газа.
32. Идеальный газ с постоянной теплоёмкостью.
33. Закон равнораспределения.
34. Распределение Ферми и Бозе.
35. Распределение Гаусса.
36. Формула Пуассона.
37. Микроканоническое распределение. Неполное (частичное) равновесие системы. Макроскопическое состояние системы. Эргодические системы.
38. Матрица плотности в координатном и энергетическом представлении.
39. Статистическое распределение в квантовой статистике.
40. Энтропия в квантовой статистике. Статистический вес макроскопического состояния подсистемы и её энтропия.
41. Роль времени в определении энтропии. Физический смысл энтропии. Закон возрастания энтропии.
42. Вывод формулы распределения Гиббса.
43. Термодинамическая теория возмущений. Классический и квантовый случай.
44. Разложение по степеням h.
45. Распределение Гиббса для вращающихся тел.
46. Распределения Гиббса с переменным числом частиц.
47. Неравновесный идеальный газ. Н-теорема Больцмана. Свободная энергия больцмановского идеального газа.
48. Уравнение состояния идеального газа. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Закон равнораспределения.
49. Распределение Ферми и Бозе. Вывод распределений Ферми и Бозе. Неравновесные Ферми- и Бозе-газы.
50. Ферми- и Бозе-газы элементарных частиц.
51. Вырожденный электронный газ.
52. Теплоёмкость вырожденного электронного газа.
53. Релятивистский вырожденный электронный газ.
54. Вырожденный Бозе-газ.
55. Излучение абсолютно чёрного тела. Распределение и формула Планка. Формула Рэлея-Джинса. Формула Вина и закон смещения. Закон Больцмана.
56. Отклонение газов от идеальности. Разложение по степеням плотности. Вывод формулы уравнения Ван-дер-Ваальса.
57. Неидеальный газ. Отклонение газов от идеальности. Разложение по степеням плотности. Вывод формулы уравнения Ван-дер-Ваальса.
58. Распределение Гаусса. Распределение Гаусса для нескольких величин.
59. Флуктуации основных термодинамических величин.
60. Флуктуации в идеальном газе. Флуктуация энергии излучения абсолютно чёрного тела. Флуктуации в растворах.

61. Формула Пуассона. Её вывод из распределения Гиббса.
62. Метод корреляционных функций.
63. Равновесие фаз: условия равновесия; формула Клапейрона-Клаузиуса.
64. Критическая точка. Закон соответственных состояний.
65. Корреляционные функции. Пространственная корреляция флуктуаций плотности.
66. Корреляция флуктуаций плотности в вырожденном газе.
67. Броуновское движение и случайные процессы.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

1. Радиоактивность, типы радиоактивных превращений
2. Естественная радиоактивность
3. Искусственная радиоактивность
4. Закон радиоактивного распада
5. Физические механизмы α-распада
6. Физические механизмы β-превращений
7. Физические механизмы γ-излучения ядер
8. Ядерные реакции
9. Трансурановые элементы
10. Деление тяжелых ядер под действием нейтронов
11. Цепная реакция деления
12. Ядерные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах, воспроизводство ядерного горючего
13. Реакции синтеза ядер
14. Термоядерная энергия в природе
15. Проблемы управляемого термоядерного синтеза, практические разработки и перспективы
16. Систематика частиц. Фундаментальные частицы
17. Основные узлы фундаментальных взаимодействий. Кварковые диаграммы
18. Законы сохранения в мире частиц
19. Античастицы
20. Супермультиплеты
21. Кварки. Кварковая модель строения адронов
22. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов
23. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков
24. Глюоны. Квантовая хромодинамика
25. Кварк-глюонная модель сильного взаимодействия
26. Сравнение квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики. Экранировка и антиэкранировка заряда. Асимптотическая свобода
27. Внутри протона
28. Отсутствие кварков в свободном состоянии
29. Эксперименты, подтверждающие наличие кварков в адронах
30. Тяжёлые кварки
31. Слабые взаимодействия
32. Типы нейтрино
33. Слабые распады
34. Закон сохранения чётности и зеркальная симметрия
35. Несохранение чётности в слабом взаимодействии
36. Спиральность
37. Диаграммы Фейнмана для электромагнитных взаимодействий
38. Кванты других полей. Фундаментальные бозоны
39. Зарядовое сопряжение. CP-преобразование
40. Зарядовая чётность. Истинно нейтральные каоны
41. Обращение времени. Нарушение CP-инвариантности. CPT-теорема
42. Константы взаимодействий. Пропагатор. Переопределение константы слабого взаимодействия
43. Количество поколений фундаментальных фермионов. Масса нейтрино

44. Общие характеристики элементарных частиц (масса, спин, четность, время жизни, электрический заряд)
45. Классификация элементарных частиц
46. Лептоны, лептонные дублеты, лептонный заряд
47. Адроны, стабильные адроны и резонансы
48. Мезоны и барионы
49. Изомультиплеты
50. Характеристики адронов (барионный заряд, изоспин и его проекция, странность, очарование)
51. Адроны как составные частицы
52. Взаимопревращения частиц, законы сохранения. Частицы и античастицы
53. Фундаментальные взаимодействия. Обменный механизм фундаментальных взаимодействий
54. Частицы участники и частицы переносчики взаимодействий. Электромагнитное взаимодействие и фотон. Природа слабого взаимодействия, промежуточные бозоны
55. Космические лучи

Для самостоятельной подготовки к занятиям по дисциплине рекомендуется использовать учебно-методические материалы:

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

1. Алтунин, К. К. Классическая механика: учебное пособие / К. К. Алтунин. - 3-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 87 с. - ISBN 978-5-4475-0319-2. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240550.
2. Алтунин, К. К. Классическая механика в рамках изучения основ теоретической физики: методические рекомендации для направления подготовки 44.03.05 педагогическое образование, профиль Физика. Математика / ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова". - Ульяновск : ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова", 2017. - 56 с. (Библиотека УлГПУ)

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

1. Алтунин, К. К. Электродинамика, специальная теория относительности и электродинамика сплошных сред: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 109 с. - ISBN 978-5-4475-0326-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240549.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

1. Алтунин, К. К. Квантовая механика: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 86 с. - ISBN 978-5-4475-0324-6. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240551.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

1. Алтунин, К. К. Статистическая физика и термодинамика: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 83 с. - ISBN 978-5-4475-0325-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240555.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

1. Алтунин, К. К. Теоретическая физика атомного ядра и элементарных частиц: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 71 с. - ISBN 978-5-4475-0321-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240556.

5. Примерные оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Организация и проведение аттестации студента

ФГОС ВО в соответствии с принципами Болонского процесса ориентированы преимущественно не на сообщение обучающемуся комплекса теоретических знаний, но на выработку у бакалавра компетенций – динамического набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволят выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда и успешно профессионально реализовываться.

В процессе оценки бакалавров используются как традиционные, так и инновационные типы, виды и формы контроля. При этом постепенно традиционные средства совершенствуются в русле компетентностного подхода, а инновационные средства адаптированы для повсеместного применения в российской вузовской практике.

Цель проведения аттестации – проверка освоения образовательной программы дисциплины через сформированность образовательных результатов.

Типы контроля:

Текущая аттестация: представлена следующими работами: отчётность по лабораторным занятиям.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины; помогает оценить более крупные совокупности знаний и умений, формирование определённых компетенций.

Оценочными средствами текущего оценивания являются: устные опросы по теории, решение задач, физические диктанты, эвристическая беседа по теме занятия, групповое обсуждение темы занятия, защита реферата или проекта, контрольная работа. Контроль усвоения материала ведётся регулярно в течение всего семестра на лабораторных занятиях.

№ п/п	**СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ,** используемые для текущего оценивания показателя формирования компетенции	Образовательные результаты дисциплины
1	**Оценочные средства для текущей аттестации** **ОС-1** устный опрос по теории, **ОС-2** разноуровневые задачи и задания, **ОС-3** физический диктант, **ОС-4** эвристическая беседа, **ОС-5** групповое обсуждение, **ОС-6** защита реферата или проекта, **ОС-7** контрольная работа	ОР-1 знает общую структуру и базисные элементы теоретической физики; наиболее общие понятия, принципы и законы теоретической физики; ОР-2 умеет применять принципы и законы теоретической физики при анализе конкретных физических процессов и решении задач теоретической физики; ОР-3 владеет основными методами решения задач теоретической физики.
2	**Оценочные средства для промежуточной аттестации** **экзамен** **ОС-8** Экзамен в устной форме	

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а так же процедуры и критерии оценивания индикаторов достижения компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения образовательной программы представлены в Фонде оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине «Основы теоретической физики».

Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

Материалы для организации текущей аттестации представлены в п. 5 программы.

Материалы, используемые для промежуточного контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

ОС-8 Экзамен в устной форме

Примерные вопросы к экзаменам

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

1. Кинематика материальной точки. Координаты и радиус-вектор материальной точки. Скорость и ускорение материальной точки. Кинематика материальной точки: радиус-вектор, скорость и ускорение в декартовой, цилиндрической и сферической системе координат.
2. Секторная скорость. Естественный трёхгранник. Скорость и ускорение в естественной системе координат. Радиус кривизны траектории. Кинематика материальной точки в естественной системе координат: дуговая координата, скорость, тангенциальная и нормальная составляющая ускорения. Полярная система координат. Скорость, секторная скорость и ускорение материальной точки в полярной системе координат.

3. Кинематика твёрдого тела. Сложное движение материальной точки: теорема сложения скоростей. Сложное движение материальной точки: теорема сложения ускорений. Число степеней свободы твёрдого тела. Разложение произвольного движения твёрдого тела на поступательное и вращательное движение с одной неподвижной точкой. Углы Эйлера.
4. Вращение твёрдого тела с одной неподвижной точкой. Угловая скорость. Мгновенная ось вращения.
5. Инерциальные системы отсчёта. Принцип относительности и преобразования Галилея. Понятие о силе и массе. Законы Ньютона.
6. Одномерная задача динамики. Работа в одномерной задаче динамики. Прямая и обратная задачи динамики материальной точки. Принцип причинности в классической механике.
7. Потенциальные силовые поля. Потенциальная энергия точки. Классификация одномерного движения в потенциальной яме. Общий вид решения задачи об одномерном движении. Период финитного одномерного движения.
8. Сохранение момента импульса при движении в центрально-симметричном поле
9. Сохранение полной энергии при движении в центрально-симметричном поле.
10. Эффективная потенциальная энергия при движении в центрально-симметричном поле.
11. Анализ движения материальной точки в центрально-симметричном поле.
12. Общий вид решения задачи о движении точки в центрально-симметричном поле.
13. Движение материальной точки в кулоновском поле. Эффективный потенциал кулоновского поля.
14. Общий вид уравнения движения частицы в кулоновском поле.
15. Анализ движения в кулоновском поле. Орбиты (траектории) точки в кулоновском поле с положительной энергией.
16. Орбиты точки в кулоновском поле с отрицательной энергией.
17. Задача Кеплера с притягивающим центром.
18. Задача Кеплера с отталкивающим центром.
19. Классическая теория рассеяния частиц в центрально-симметричном поле. Прицельный параметр и угол рассеяния. Сечение рассеяния.
20. Рассеяние частиц на силовом центре. Эффективное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
21. Движение материальной точки в неинерциальной системе отсчёта. Угловая скорость материальной точки в неинерциальной системе отсчёта.
22. Абсолютная и относительная скорости материальной точки в неинерциальной системе отсчёта.
23. Абсолютное и относительное ускорения материальной точки в неинерциальной системе отсчёта.
24. Силы инерции, их виды. Принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс.
25. Уравнение движения системы материальных точек.
26. Импульс системы материальных точек. Теорема об изменении импульса системы. Закон сохранения импульса.
27. Момент импульса системы материальных точек. Теорема об изменении момента импульса. Закон сохранения момента импульса.
28. Потенциальная энергия системы материальных точек.
29. Кинетическая энергия системы материальных точек. Теорема об изменении кинетической энергии.
30. Энергия системы материальных точек. Законы изменения и сохранения полной механической энергии.
31. Теорема о вириале сил.
32. Система материальных точек в системе центра инерции. Система центра инерции. Теорема о движении центра масс системы.
33. Собственный момент системы материальных точек в системе центра инерции.
34. Собственная (внутренняя) энергия системы материальных точек в системе центра инерции.
35. Распад системы материальных точек.

36. Система двух материальных точек. Движение замкнутой системы двух тел. Задача двух тел и её сведение к задаче о движении одной частицы в центрально-симметричном поле. Приведённая масса.
37. Влияние массы Солнца на период обращения Земли.
38. Абсолютно неупругое соударение частиц.
39. Кинематика упругих столкновений в системе двух материальных точек.
40. Упругое столкновение в системе центра инерции. Импульсные диаграммы упругого соударения частиц.
41. Тензор инерции. Главные оси и главные моменты инерции. Теорема Гюйгенса–Штейнера. Кинетическая энергия вращательного движения твёрдого тела.
42. Кинетическая энергия твёрдого тела с одной неподвижной точкой.
43. Динамические уравнения Эйлера для твёрдого тела.
44. Кинематические уравнения Эйлера для абсолютно твёрдого тела. Углы Эйлера.
45. Вращение твёрдого тела с постоянной угловой скоростью. Кинетическая энергия симметричного волчка. Теорема Кёнига.
46. Законы сохранения при свободном вращении.
47. Момент импульса твёрдого тела с одной неподвижной точкой.
48. Преобразование момента импульса при изменении системы отсчёта.
49. Механическая работа. Работа при вращательном движении твёрдого тела. Момент силы.
50. Объёмные и поверхностные силы. Принцип равновесия Коши.
51. Тензор напряжений.
52. Обобщённый закон Гука.
53. Тензор напряжений для изотропного упругого тела.
54. Тензор деформации.
55. Лагранжев способ описания движения сплошной среды.
56. Эйлеров способ описания движения сплошной среды.
57. Изменение объёма элемента сплошной среды при движении.
58. Закон сохранения массы.
59. Уравнение движения сплошной среды.
60. Тензор плотности тока импульса.
61. Уравнение для плотности энергии. Уравнение для плотности энергии сплошной среды с учётом теплопереноса.
62. Вектор плотности потока энергии.
63. Уравнение движения идеальной жидкости.
64. Линии тока и траектории.
65. Интеграл Бернулли.
66. Безвихревой поток (потенциальное течение).
67. Звуковые волны в жидкостях и газе.
68. Тензор вязких напряжений.
69. Уравнение Навье-Стокса.
70. Гидродинамическое подобие и число Рейнольдса.
71. Уравнение движения упругого тела.
72. Упругие волны в изотропном теле.
73. Связи и реакции связей. Понятие о степенях свободы и связях. Классификация связей. Идеальные связи.
74. Виртуальные перемещения. Действительные, возможные и виртуальные перемещения. Принцип виртуальных перемещений. Виртуальная работа. Принцип Даламбера.
75. Уравнение Лагранжа первого рода. Машина Атвуда.
76. Виртуальные траектории. Принцип наименьшего действия или принцип Гамильтона-Остроградского. Принцип экстремального действия, его вывод из уравнений Лагранжа. Принцип экстремального действия, уравнения Лагранжа как следствие этого принципа.
77. Обобщённые координаты и скорости. Конфигурационное и координатно-импульсное фазовое пространство. Фазовое пространство и теорема Лиувилля.

78. Обобщённые импульсы, циклические координаты. Обобщённые силы. Общее уравнение динамики.
79. Уравнение Лагранжа второго рода для потенциальных систем. Вывод уравнений Лагранжа второго рода.
80. Функция Лагранжа. Свойства функции Лагранжа.
81. Уравнения Лагранжа второго рода для систем с потенциальными и обобщённо-потенциальными силами и систем с жидким трением. Функция Рэлея.
82. Кинетическая энергия системы в обобщённых координатах.
83. Обобщённая механическая энергия. Функция Гамильтона. Канонические уравнения Гамильтона. Канонические преобразования. Функция Рауса.
84. Действие и импульс. Действие и энергия. Действие и укороченное действие.
85. Уравнение Гамильтона-Якоби. Скобки Пуассона. Метод разделения переменных. Условно-периодическое движение.
86. Уравнение движения и интегральные вариационные принципы. Теорема Эмми Нётер.
87. Однородность пространства и закон сохранения импульса механической системы.
88. Однородность времени и закон сохранения энергии механической системы.
89. Изотропность пространства и закон сохранения момента импульса механической системы.
90. Интегральный инвариант Пуанкаре-Картана. Адиабатические инварианты. Точность сохранения адиабатического инварианта.
91. Теория малых колебаний системы. Уравнение малых колебаний системы. Собственные частоты системы. Малые колебания систем с одной степенью свободы. Линейный гармонический осциллятор.
92. Затухающие колебания линейного осциллятора.
93. Вынужденные гармонические колебания без затухания.
94. Вынужденные гармонические колебания с затуханием.
95. Малые колебания систем с несколькими степенями свободы. Собственные частоты системы. Нормальные координаты.
96. Уравнение Лагранжа для абсолютно твёрдого тела. Функция Лагранжа для уравновешенного волчка.
97. Уравнение Лагранжа для абсолютно твёрдого тела. Функция Лагранжа для неуравновешенного волчка в однородном поле силы тяжести.
98. Уравнение движения волчка в поле силы тяжести. Энергия и момент импульса волчка в поле силы тяжести.
99. Выражение энергии через функцию Лагранжа в неинерциальной системе отсчёта. Энергия частицы в равномерно вращающейся неинерциальной системе отсчёта.
100. Функция Лагранжа в неинерциальной системе отсчёта. Уравнение Лагранжа для частицы в произвольной инерциальной системе отсчёта.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

1. Электромагнитное поле в вакууме, его действие на заряженные частицы, источники поля. Электрическое и магнитное поля. Напряжённость электрического поля, индукция магнитного поля, принцип суперпозиции. Сила Лоренца. Электрический заряд, его свойства. Плотность заряда и плотность тока. Закон сохранения заряда.
2. Электромагнитное взаимодействие, его характеристики. Общие свойства электромагнитного поля в вакууме. Экспериментальные основания электродинамики (закон Кулона, закон Био-Савара-Лапласа, закон электромагнитной индукции Фарадея). Уравнения Максвелла для электромагнитного поля, порождаемого зарядами и токами в вакууме, и их физическое обоснование. Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля в вакууме в дифференциальной и интегральной форме.
3. Закон сохранения энергии электромагнитного поля в системе частицы-поле в микроскопической электродинамике. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойнтинга. Понятие об импульсе электромагнитного поля.

4. Электростатическая энергия зарядов. Границы применимости классической электродинамики.
5. Уравнения электростатики в вакууме. Общие уравнения для потенциалов статических полей системы точечных и объёмно распределённых зарядов. Общее решение уравнения Пуассона. Калибровочная инвариантность. Условие Лоренца.
6. Электростатическое поле в дипольном приближении. Электрический дипольный момент и его свойства. Поле диполя.
7. Электрический квадрупольный момент. Поле квадруполя. Мультипольное разложение.
8. Система зарядов во внешнем электростатическом поле. Плотность энергии электростатического поля. Энергия системы покоящихся зарядов.
9. Система покоящихся зарядов во внешнем электростатическом поле. Приближение квазиоднородного поля, энергия, сила и момент силы.
10. Уравнения магнитостатики в вакууме. Общие формулы для векторного потенциала и индукции магнитного поля системы точечных зарядов, объёмных и линейных токов.
11. Стационарное магнитное поле в магнитном дипольном приближении. Магнитный дипольный момент и его свойства. Поле магнитного диполя.
12. Система движущихся заряженных частиц (токов) во внешнем квазиоднородном стационарном магнитном поле: сила, энергия и момент силы.
13. Плоские электромагнитные волны. Волновые уравнения. Уравнение Даламбера. Скорость распространения электромагнитных волн.
14. Запаздывающие потенциалы.
15. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
16. Электрическое дипольное излучение электромагнитных волн. Угловое распределение и полная интенсивность. Электромагнитное поле системы зарядов в дипольном приближении в волновой зоне.
17. Магнитное дипольное излучение электромагнитных волн. Угловое распределение и полная интенсивность.
18. Интенсивность излучения электромагнитных волн. Простейшие излучающие системы.
19. Радиационное трение.
20. Рассеяние электромагнитных волн свободными зарядами. Формула Томсона.
21. Постулаты специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей.
22. "Классические" эффекты специальной теории относительности.
23. Четырёхмерный формализм Минковского. 4-векторы, 4-тензоры: определение, законы преобразования, примеры. 4-импульс. преобразование энергии и импульса. 4-ток. Относительность разбиения источников поля на заряды и токи. 4-потенциал.
24. Свободная релятивистская частица. Действие, функции Лагранжа и Гамильтона, энергия, импульс. Энергия покоя.
25. Заряд в электромагнитном поле. Действие, функция Лагранжа, уравнения движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле в 4-мерной формулировке. Уравнения движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле в форме Лагранжа.
26. Тензор электромагнитного поля. Преобразования Лоренца для компонент тензора электромагнитного поля при изменении системы отсчёта. Инварианты электромагнитного поля.
27. Действие для электромагнитного поля. Вывод уравнений Максвелла из принципа наименьшего действия (четырёхмерная формулировка).
28. Уравнения Максвелла в четырёхмерной формулировке. Первая пара уравнений Максвелла в четырёхмерной формулировке. Переход к трёхмерным обозначениям.
29. Функция Лагранжа для электромагнитного поля при заданных зарядах и токах.
30. Вторая пара уравнений Максвелла в четырёхмерной формулировке. Переход к трёхмерным обозначениям.

31. Уравнение непрерывности (закон сохранения заряда). Ковариантная запись закона сохранения заряда. Четырёхмерный вектор тока. Законы преобразования плотностей заряда и тока.
32. Уравнения для потенциалов в ковариантной форме. Релятивистская ковариантность уравнений электромагнитного поля в потенциалах. Калибровочное условие Лоренца. Ковариантная запись калибровочного условия Лоренца и уравнений для потенциалов. Закон преобразования потенциалов.
33. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Ковариантная запись законов сохранения. Плотность и поток энергии, импульса и момента импульса электромагнитного поля. Тензор напряжений Максвелла.
34. Уравнения Максвелла-Лоренца для микроскопических полей. Усреднение уравнений Максвелла-Лоренца для микроскопического электромагнитного поля в веществе. Макроскопические поля **E** и **B**. Свободные и связанные заряды; токи проводимости, намагниченности и поляризации. Векторы поляризованности и намагниченности. Поля **D** и **H**. Векторы **E** и **B** как переменные состояния электромагнитного поля. Граничные условия для векторов напряжённости электрического поля и напряжённости магнитного поля.
35. Система уравнений Максвелла в сплошной среде. Материальные уравнения. Электрическая и магнитная проницаемости.
36. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля в веществе.
37. Уравнения для потенциалов в случае однородной покоящейся сплошной среды. Калибровочная инвариантность. Запаздывающие потенциалы.
38. Граничные условия для векторов электромагнитного поля и потенциалов в покоящейся кусочно-однородной среде.
39. Электростатическое поле проводников. Уравнения электростатики при наличии проводников, граничные условия.
40. Электростатическое поле в диэлектриках. Уравнения электростатики при наличии диэлектриков, граничные условия, материальное уравнение. Энергия электростатического поля в диэлектриках.
41. Энергия электростатического поля заряженных проводников. Ёмкостные коэффициенты.
42. Сила, действующая на проводник в электростатическом поле.
43. Сила, действующая на жидкий диэлектрик.
44. Магнитостатика сплошных сред. Уравнения магнитостатики в веществе, граничные условия, материальные уравнения.
45. Силы в магнитном поле. Пондеромоторное воздействие электростатического поля на вещество. Тензор напряжений Максвелла для электромагнитного поля в неоднородной сплошной среде.
46. Энергия постоянного магнитного поля в магнетиках.
47. Постоянный ток в металлах. Законы Ома и Джоуля-Ленца в дифференциальной и интегральной формах.
48. Энергия магнитного поля системы квазистационарных токов. Поток магнитной индукции. Индуктивность. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции. Поток энергии в цепи постоянного тока.
49. Уравнения квазистационарного электромагнитного поля. Границы применимости квазистационарного приближения в макроскопической электродинамике сплошных сред.
50. Переменные электромагнитные поля и токи в массивных покоящихся проводниках. Скин-эффект.
51. Квазистационарные токи в линейных проводниках. Уравнения и граничные условия для стационарных токов в кусочно-однородных проводниках. Комплексное сопротивление. Правила Кирхгофа.
52. ЭДС индукции в проводнике, движущемся в магнитном поле.
53. Основные уравнения электродинамики движущихся сред.
54. Уравнения магнитной гидродинамики. "Вмораживание" магнитного поля в вещество.
55. Магнитогидродинамические волны.

56. Дисперсия магнитной проницаемости.
57. Диэлектрическая проницаемость разряженных газов (модель Зоммерфельда). Дисперсия диэлектрической проницаемости для разреженных газов и плазмы.
58. Диссипация энергии электромагнитного поля в диспергирующих средах.
59. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига.
60. Волновое уравнение для электромагнитного поля в идеальном однородном диэлектрике, плоские монохроматические волны.
61. Геометрическая оптика. Эйконал. Принцип Ферма.
62. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела двух сплошных сред. Формулы Френеля.
63. Электромагнитные колебания в полых резонаторах. Собственные частоты. Открытый резонатор. Ширина резонансов.
64. Распространение электромагнитных волн в волноводах. Электромагнитное поле в волноводе. Типы волн, критическая частота.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

1. Возникновение квантовой механики. Особенности поведения микрообъектов. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотезы Планка и Эйнштейна. Дискретность значений физических величин. Вероятностный характер закономерностей микромира. Плотность вероятности найти частицу в определённой точке пространства.
2. Волны де Бройля. Статистическая интерпретация волн де Бройля. Свободное движение частицы.
3. Волновая функция и вероятность местоположения микрочастицы. Стандартные требования. Условие нормировки волновой функции.
4. Вычисление средних значений и дисперсии. Соотношение неопределённостей Гейзенберга.
5. Состояния физической системы как векторы в гильбертовом пространстве. Пространство состояний квантовой системы. Базисные векторы. Стационарные состояния. Вероятность состояния. Чистые и смешанные ансамбли. Чистые и смешанные состояния.
6. Квантовомеханический принцип суперпозиции. Понятие вектора состояния. Обозначения Дирака "бра" и "кет".
7. О нахождении волновых функций нестационарных состояний.
8. Динамические переменные как эрмитовы операторы в гильбертовом пространстве. Операторы полной энергии, координат и импульса. Алгебра Гейзенберга. Принцип канонического квантования.
9. Вычисление результатов эксперимента. Наблюдаемые и операторы. Собственные векторы и собственные значения эрмитовых операторов. Вероятность найти систему с определённым значением динамической переменной. Свойства коммутирующих динамических переменных.
10. Изменение квантовых состояний со временем. Оператор Гамильтона. Уравнение Шрёдингера для одной частицы. Общие свойства уравнения Шрёдингера.
11. Закон сохранения потока вероятностей (числа частиц). Уравнение непрерывности.
12. Изменение операторов со временем. Уравнение Гейзенберга. Законы сохранения в квантовой механике. Интегралы движения. Свойства симметрии и законы сохранения.
13. Прямоугольная потенциальная яма (стационарные состояния).
14. Импульсное распределение.
15. Инфинитное движение в поле прямоугольной потенциальной ямы.
16. Стационарные состояния для потенциалов притяжения с быстрым затуханием. Пример: сферически-симметричная прямоугольная потенциальная яма.
17. Квазиклассическое приближение (метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна). Квантование Бора-Зоммерфельда. Коэффициент прохождения квазиклассического барьера.
18. Теория представлений. Координатное, импульсное и энергетическое представление. Унитарные операторы и их свойства. Матричное представление операторов в энергетическом представлении.

19. Переход от уравнения Шрёдингера в *x*-представлении к уравнению в *p*-представлении. Уравнение Шрёдингера в импульсном представлении.
20. Теория представлений. Представление Шрёдингера.
21. Представление Гейзенберга. Уравнение Гейзенберга. Уравнения движения для операторов. Оператор эволюции. Матрица рассеяния. Матрица плотности.
22. Эквивалентные представления. Эквивалентность импульсного и координатного представлений.
23. Матричная формулировка квантовой механики.
24. Понятие матрицы плотности и статистического оператора (случай чистого состояния).
25. Статистический оператор и матрица плотности для описания смешанного состояния.
26. Матрица плотности составной системы.
27. Квантовая система в термостате.
28. Движение частицы в центрально-симметричном поле. Уравнение Шрёдингера для электрона в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса и его свойства. Собственные функции и собственные значения оператора проекции момента импульса и оператора квадрата момента импульса. Операторы ℓ^+, ℓ^-.
29. Квантование момента импульса с помощью перестановочных соотношений.
30. Матрицы операторов момента импульса.
31. Общая теория углового момента.
32. Движение частицы в кулоновском поле (дискретный спектр).
33. Атом водорода. Стационарные состояния и энергетический спектр. Кратность вырождения энергетических уровней.
34. Одномерный линейный гармонический осциллятор.
35. Трёхмерный изотропный квантовый гармонический осциллятор. Стационарные состояния и энергетический спектр. Кратность вырождения уровней.
36. Чётность состояния линейного гармонического осциллятора.
37. Осциллирующий волновой пакет.
38. Преобразования числовых функций и операторов при сдвиге и повороте системы отсчёта.
39. Свободное движение и линейный гармонический осциллятор в представлении Гейзенберга.
40. Матрицы операторов физических величин для линейного гармонического осциллятора.
41. Гармонический осциллятор. Представление Фока. Операторы рождения и уничтожения квантов колебаний $\hat{a}^+$, $\hat{a}^-$.
42. Когерентные состояния линейного гармонического осциллятора.
43. Спин. Формула Уленбека-Голдстоуна. Уравнение Паули для электрона в однородном магнитном поле. Спиновая волновая функция частицы. Спектр уравнения Паули в однородном магнитном поле. Уровни Ландау.
44. Описание состояний квантовых частиц со спином 1/2. Волновые функции частиц со спином 1/2. Матрицы Паули. Собственные значения и собственные функции операторов квадрата спина и его проекции. Примеры вычисления коэффициентов Клебша-Гордана.
45. Спин в постоянном и переменном магнитном поле. Прецессия спина в постоянном однородном магнитном поле.
46. Спиновая матрица плотности.
47. Стационарная теория возмущений для дискретного спектра. Снятие вырождения, поправки первого и второго порядка.
48. Теория возмущений при наличии вырожденных энергетических уровней. Секулярное уравнение.
49. Возмущения, зависящие от времени.
50. Теория возмущений для непрерывного спектра. Появление разрывов в непрерывном спектре. Переходы в непрерывном спектре.
51. Соотношение неопределённости для энергии. Квазистационарные состояния.
52. Применение теории возмущений для атома водорода с учётом релятивистских поправок.
53. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура спектральных линий.
54. Лэмбовский сдвиг.

55. Сверхтонкая структура спектров.
56. Нахождение магнитной восприимчивости парамагнетиков и диамагнетиков по теории возмущений.
57. Применение теории возмущений в теории диэлектрической восприимчивости.
58. Теория возмущений для матрицы плотности.
59. Адиабатическое приближение.
60. Механический и магнитный моменты многоэлектронных атомов. Правила сложения моментов импульсов систем электронов.
61. Векторная модель атома. Магнитный момент атома. Оператор магнитного момента атома.
62. Опыт Штерна и Герлаха. Экспериментальные методы измерения магнитных моментов.
63. Расщепление линий в слабом магнитном поле (простой эффект Зеемана). Объяснение простого эффекта Зеемана. Атом в постоянном магнитном поле.
64. Объяснение аномального эффекта Зеемана.
65. Сильное магнитное поле. Объяснение простого эффекта Зеемана. Эффект Пашена-Бака.
66. Полный момент импульса. Сложный эффект Зеемана.
67. Расщепление линий в электрическом поле (эффект Штарка). Атом в электрическом поле.
68. Нестационарная теория возмущений.
69. Вероятность квантового перехода при периодическом возмущении.
70. Теория квантовых переходов под действием внешних возмущений. Полуклассическая теория поглощения и излучения света. Коэффициенты Эйнштейна. Приближение электрического дипольного излучения.
71. Взаимодействие с учётом изменения фазы на атомных расстояниях. Квадрупольное излучение.
72. Правила отбора. Тензорные операторы и правила отбора.
73. Спонтанное излучение.
74. Индуцированное излучение.
75. Дисперсия света.
76. Фотоэффект.
77. Рассеяние света.
78. Рассеяние быстрых заряженных частиц.
79. Теория многих тел. Уравнение Шрёдингера. Законы сохранения.
80. Учёт движения ядра. Гармонические колебания системы частиц.
81. Тождественные частицы. Симметричные и антисимметричные состояния систем многих частиц. Частицы Бозе- и Ферми-частиц. Принцип Паули.
82. Вариационный метод Ритца.
83. Двухэлектронная система. Система двух независимых электронов.
84. Двухэлектронная система (атом гелия). Кулоновское взаимодействие между электронами.
85. Основное состояние атома гелия.
86. Молекула водорода. Электронные уровни молекулы водорода. Метод Гайтлера-Лондона. Метод Уонга. Вращательные уровни и роль ядерного спина.
87. Вторичное квантование для Бозе-частиц. Числа заполнения. Операторы рождения и уничтожения и их коммутационные соотношения. Волновые функции как операторы.
88. Вторичное квантование для Ферми-частиц. Числа заполнения. Операторы рождения и уничтожения и их коммутационные соотношения. Волновые функции как операторы.
89. Уравнение Шрёдингера для системы полей. "Внешнее" поле. "Заданный" ток.
90. Переход от уравнения Шрёдингера к интегральному уравнению для волновой функции с помощью функции Грина. Функция Грина и принцип причинности.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

1. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объёма. Возвратная теорема Пуанкаре-Цермело. Понятие о статистическом ансамбле механических систем
2. Уравнение движения статистического ансамбля

3. Микроканоническое распределение в теории равновесных состояний. Равновесный статистический ансамбль. Термодинамический смысл Г(Е). Вывод термодинамических соотношений
4. Фазовый объём идеального газа
5. Энтропия идеального газа в теории равновесных состояний
6. Внутренняя энергия, теплоёмкость и уравнения состояния идеального газа
7. Каноническое распределение Гиббса. Вывод термодинамических соотношений
8. Распределение по энергиям в каноническом ансамбле. Флуктуации энергии в каноническом ансамбле
9. Теорема о равномерном распределении
10. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы. Теорема о вириале. Применение теорем о равномерном распределении к системам частиц: 1) гармонический осциллятор, 2) идеальный газ, 3) твёрдое тело
11. Применение теоремы о равномерном распределении к сплошным средам
12. Статистический интеграл канонического распределения
13. Парадокс Гиббса и исправленное каноническое распределение
14. Большой канонический ансамбль. Большой потенциал
15. Большое каноническое распределение
16. Распределение числа частиц в большом каноническом ансамбле
17. Распределение Максвелла-Больцмана. μ-пространство. Плотность числа частиц в μ-пространстве. Двухчастичная плотность числа частиц
18. Неравновесная функция распределения в классической теории неравновесных процессов
19. Уравнения Боголюбова-Борна-Кирквуда-Грина-Ивона (ББКГИ)
20. Интеграл столкновений в газокинетическом уравнении Больцмана
21. Столкновение упругих шаров. Описание на основе кинетического уравнения Больцмана
22. Стационарное решение уравнения Больцмана
23. Н-теорема
24. Теоремы сохранения для уравнения Больцмана
25. Статистические основы гидродинамики. Уравнение непрерывности
26. Уравнения движения сплошной среды. Статистический подход
27. Уравнение для плотности энергии теплового движения молекул
28. Метод случайных блужданий для броуновского движения
29. Уравнение Колмогорова-Чэпмена
30. Метод Ланжевена
31. Уравнение Больцмана для смеси газов
32. Кинетическое уравнение для быстрых нейтронов
33. Уравнение Фоккера-Планка для броуновской частицы
34. Уравнение Власова
35. Квантовые состояния в квантовой статистике
36. Квантовый ансамбль в квантовой статистике
37. Уравнение движения квантового ансамбля
38. Квантовые равновесные распределения. Каноническое и большое каноническое распределения
39. Числа заполнения в квантовом идеальном газе
40. Распределение Бозе-Эйнштейна. Вывод в представлении чисел заполнения
41. Распределение Ферми-Дирака. Вывод в представлении чисел заполнения
42. Интегральная форма нормировки для квантовых равновесных распределений
43. Слабое вырождение Бозе- и Ферми- газов
44. Сильно вырожденный Бозе-газ. Явление Бозе-конденсации
45. Сильно вырожденный Ферми-газ
46. Температурная зависимость химического потенциала для вырожденного Ферми-газа
47. Термодинамические свойства Бозе- и Ферми- газов. Общий вид уравнения состояния
48. Уравнение состояния в случае слабого вырождения
49. Уравнение состояния сильно вырожденного Бозе-газа

50. Уравнение состояния сильно вырожденного Ферми-газа
51. Свободные электроны в металлах как вырожденный Ферми-газ. Энергия Ферми. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов в металле
52. Зависимость энергии Ферми от температуры в металле
53. Зависимость среднего значения полной энергии электронного газа от температуры в металле
54. Теплоёмкость идеального Ферми-газа. Теплоёмкость электронного газа в металлах
55. Средние значения полного числа частиц, полной энергии и давления газа релятивистских фермионов со спином 1/2
56. Полностью вырожденный релятивистский Ферми-газ. Случай нерелятивистского предела. Случай ультрарелятивистского предела

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

1. Открытие атомного ядра и нуклонов. Общие понятия о ядре. Опыт Резерфорда. Модель атома Резерфорда.
2. Эффективное сечение. Формула Резерфорда. Рассеяние α-частиц на ядре ^{208}Pb.
3. Дифракционная картина рассеяния. Рассеяние электронов на ядрах. Опыты Хофштадтера.
4. Формула Мотта. Форм-фактор. Распределение заряда в ядре.
5. Распределение заряда в нуклоне и размер нуклона.
6. Заряды ядер. Массы атомных ядер и нуклонов. Размеры и структура ядер.
7. Открытия изотопов и протонов.
8. Открытие нейтрона.
9. Постановка экспериментов по рассеянию, упругое и неупругое рассеяние.
10. Общий анализ кинематики процессов рассеяния.
11. Кинематика распадов. Кинематика реакций рождения. Кинематика упругого рассеяния. Эффективное сечение рассеяния. Сечение упругого и неупругого рассеяния.
12. Вероятности распадов.
13. Источники частиц.
14. Важнейшие типы ускорителей. Установки со встречными пучками. Мишени.
15. Детекторы частиц.
16. Классификация ядер по периоду полураспада. Энергия стабильных и долгоживущих ядер. Ядерный парк. NZ-диаграмма стабильных и долгоживущих ядер.
17. Масса и энергия связи ядра. Устойчивость ядер. Энергия отделения нуклона.
18. Удельная энергия связи. Источники ядерной энергии. Некоторые свойства ядерных сил.
19. Модель жидкой капли. О ядерных моделях. Формула Вайцзеккера. Объёмная, поверхностная и кулоновская энергии.
20. Энергия симметрии. Роль принципа Паули. Зависимость Z от A для стабильных ядер.
21. Эффект спаривания. Чётно-чётные, нечётные и нечётно-нечётные ядра. Вклад различных видов энергии в полную энергию ядра.
22. Основное и возбуждённые состояния ядра. Квантовые характеристики ядерных состояний. Спины и магнитные моменты нуклонов и ядер.
23. Чётность ядра и внутренняя чётность частиц.
24. Классические статические электромагнитные моменты (квадрупольные электрические моменты) и форма ядер. Квантовомеханические моменты ядер.
25. Радиоактивные превращения. Закон радиоактивного распада. Виды распада.
26. α-радиоактивность. Прохождение α-частиц через барьер. Центробежный барьер.
27. β-распад. Нейтрино. Слабое взаимодействие. Промежуточные бозоны.
28. γ-излучение ядер. Классификация фотонов. Правила отбора для электромагнитных переходов. Вероятности электромагнитных переходов в длинноволновом приближении.
29. Дополнительные выводы о β-распаде. Разрешённые и запрещённые β-переходы. Переходы Ферми и Гамова–Теллера.
30. Понятие о мезонной и полевой теориях ядерных сил.
31. Нуклон-нуклонные взаимодействия при низких энергиях. Спиновая зависимость ядерных сил.
32. Пион-нуклонные столкновения. Резонансы.

33. Тензорные и спин-орбитальные силы.
34. Дейтрон. Зависимость ядерных сил от спина. Элементарная теория дейтрона.
35. Спин-орбитальные силы.
36. Обменный характер ядерных сил.
37. Радиальная форма нуклон-нуклонных сил. Квант ядерного поля. Теория Юкавы.
38. Зарядовая независимость ядерных сил. Изотопический спин частиц и ядер.
39. Ядерные реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях.
40. Кинематика ядерных реакций. Порог реакции.
41. Встречные пучки.
42. Механизмы ядерных реакций. Составное ядро.
43. Сечение образования составного ядра нейтроном в нерезонансной области.
44. Формула Брейта–Вигнера.
45. Прямые ядерные реакции.
46. Классификация моделей ядра.
47. Капельная модель атомного ядра. Полуэмпирическая формула Вайцзеккера для энергии связи ядра.
48. О ядерных моделях. Модель Ферми-газа (модель независимых частиц).
49. История появления оболочечной модели. Магические числа.
50. Формулировка модели оболочек для ядра. Нуклонные конфигурации.
51. Квантовые характеристики основных и возбуждённых состояний ядер в одночастичной модели оболочек.
52. Многочастичная модель оболочек. Коллективные возбуждения ядер.
53. Вращательные уровни чётно-чётных несферических ядер.
54. Колебательные (вибрационные) уровни чётно-чётных сферических ядер.
55. Обобщённая модель ядра.
56. Сверхтекучая модель ядра.
57. Реальный ядерный спектр. Гигантские резонансы.
58. Систематика частиц. Фундаментальные частицы. Барионы и мезоны.
59. Основные узлы фундаментальных взаимодействий. Кварковые диаграммы.
60. Законы сохранения в мире частиц. Античастицы. Взаимопревращения частиц.
61. Адроны. Адроны как составные частицы. Супермультиплеты.
62. Кварки. Необычное поведение кварков. Характеристики кварков. Аромат и очарование. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов.
63. Декуплет барионов с $J^p=3/2^+$. Распады Δ-резонансов.
64. Кварк-глюонная модель сильного взаимодействия. Кварковая диаграмма нуклон-нуклонного взаимодействия. Потенциал сильного взаимодействия.
65. Трудности простой кварковой модели. Квантовое число "цвет".
66. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков.
67. Глюоны. Цвет глюонов. Квантовая хромодинамика.
68. Обобщение принципа Паули. Структура волновой функции бариона в КХД.
69. Сравнение КЭД и КХД. Экранировка и антиэкранировка заряда. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).
70. Внутри протона.
71. Отсутствие кварков в свободном состоянии. Проблема пленения кварков.
72. Эксперименты, подтверждающие наличие кварков в адронах.
73. Тяжёлые кварки – *c, b, t*.
74. Слабые взаимодействия. Лептонные заряды. Типы нейтрино.
75. Слабые распады. Константа слабого взаимодействия.
76. Заряженные и нейтральные слабые токи.
77. Закон сохранения чётности и зеркальная симметрия. Несохранение пространственной чётности в слабых взаимодействиях.
78. Спиральность.

В конце изучения дисциплины подводятся итоги работы студентов на лекциях, лабораторных или практических занятий путём суммирования баллов в течение семестра.

Критерии оценивания знаний обучающихся по дисциплине

Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Экзамен
5	Разбалловка по видам работ	9 * 1=9 баллов	15 * 1=15 баллов	212 баллов	64 балла
	Суммарный максимальный балл	9 баллов	24 балла	236 баллов	300 баллов

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Экзамен
6	Разбалловка по видам работ	12 * 1=12 баллов	20 * 1=20 баллов	272 балла	96 баллов
	Суммарный максимальный балл	12 баллов	32 балла	304 балла	400 баллов

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Экзамен
7	Разбалловка по видам работ	9 * 1=9 баллов	15 * 1=15 баллов	212 баллов	64 балла
	Суммарный максимальный балл	9 баллов	24 балла	236 баллов	300 баллов

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Экзамен
8	Разбалловка по видам работ	9 * 1=9 баллов	15 * 1=15 баллов	212 баллов	64 балла
	Суммарный максимальный балл	9 баллов	24 балла	236 баллов	300 баллов

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Экзамен
9	Разбалловка по видам работ	9 * 1=9 баллов	15 * 1=15 баллов	212 баллов	64 балла
	Суммарный максимальный балл	9 баллов	24 балла	236 баллов	300 баллов

Критерии оценивания работы обучающегося

	5 семестр	6 семестр	7 семестр	8 семестр	9 семестр
Оценка	3 зачётные единицы	4 зачётные единицы	3 зачётные единицы	3 зачётные единицы	3 зачётные единицы
"отлично"	271–300	361–400	271–300	271–300	271–300
"хорошо"	211–270	301–360	211–270	211–270	211–270
"удовлетворительно"	151–210	201–300	151–210	151–210	151–210
"неудовлетворительно"	0–150	0–200	0–150	0–150	0–150

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение курса требует от студентов посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с базовыми учебниками, основной и дополнительной литературой.

Основной формой изложения материала курса являются лекции. Как правило, на лекции выносится основной программный материал курса. Часть материала выносятся для самостоятельного изучения студентами с непременным, сообщением им литературных источников и методических разработок. На практических занятиях рассматривают фрагменты теории, требующие сложных математических выкладок, различные методы решения задач и наиболее типичные задачи. Для закрепления материала, рассматриваемого на практических занятиях, студенты получают домашние задания в виде ряда задач из соответствующих задачников.

На лекциях изучается материал по основополагающим вопросам дисциплины, раскрывается их практическая значимость. В ходе проведения лекции используются приемы и методы проблемного обучения. На практических занятиях рассматриваются методы решения прикладных задач, проводится анализ полученных результатов. В ходе практического занятия одновременно преследуется цель расширения и углубления знаний, полученных на лекции.

При изложении теоретического материала на лекции, а также при решении задач на практических занятиях для демонстрации графиков, обучающих программ и т.п. рекомендуется использовать компьютерную мультимедийную установку.

Запись **лекции** – одна из форм активной самостоятельной работы обучающихся, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы обучающиеся имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендуя ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Рекомендуется после каждой лекции оформлять конспект лекций. Перед каждой лекцией прочитывать конспект предыдущей лекции, что способствует лучшему восприятию нового материала.

Лекции имеют в основном обзорный характер и нацелены на освещение наиболее трудных и дискуссионных вопросов, а также призваны способствовать формированию навыков работы с научной литературой. Предполагается также, что студенты приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендуемым программой.

Наиболее важные разделы курса выносятся на практические занятия. На каждом занятии предлагается несколько задач. Часть задач решается на занятии с подробным обсуждением метода и полученных результатов. Остальные задачи студент решает самостоятельно. Для зачёта контрольной работы студент должен защитить все задания. Предусмотрена защита реферата.

Практическое занятие – важнейшая форма самостоятельной работы студентов над научной, учебной и периодической литературой. Именно на практическом занятии каждый студент имеет возможность проверить глубину усвоения учебного материала, показать знание категорий, положений и инструментов профессиональной деятельности. Участие в практическом занятии позволяет студенту соединить полученные теоретические знания с решением конкретных практических задач и моделей в области профессиональной деятельности. Практические занятия в равной мере направлены на совершенствование индивидуальных навыков решения теоретических и прикладных задач, выработку навыков интеллектуальной работы, а также ведения дискуссий. Конкретные пропорции разных видов работы в группе, а также способы их оценки, определяются преподавателем, ведущим занятия.

Подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале практического занятия преподаватель знакомит студентов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задания. В течение отведенного времени на выполнение работы студент может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится прием выполненных заданий, собеседование со студентом.

Результаты выполнения практических или лабораторных заданий оцениваются в баллах, в соответствии с балльно-рейтинговой системой университета.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендованная преподавателями литература и учебные пособия служат информационной основой и позволяют регулярно занимающимся студентам усваивать лекционный материал. Для обеспечения терминологической однозначности учебное пособие содержит словарь основных терминов, используемых в нём. Кроме того, программа курса лекций содержит вопросы для самоконтроля.

Самостоятельная работа студентов подразумевает выполнение студентами домашнего задания в виде решения необходимого минимума задач из сборника для практических занятий, консультаций и анализа их решения совместно с преподавателем.

Контроль самостоятельной (внеаудиторной) работы – написание и защита реферата, выступление с докладом на практических занятиях, решение контрольной работы.

В процессе оценивания письменных контрольных и самостоятельных работ при разделении задания на действия при оценивании за основание берётся следующая процентная шкала:

91-100 % от числа пунктов – оценка "5",
74-90 % от числа пунктов – оценка "4",
60-73 % от числа пунктов – оценка "3",
40-59 % от числа пунктов – оценка "2",
0-39 % от числа пунктов – оценка "1".

Студенту можно поставить оценку выше, если студентом оригинально выполнена работа.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендации для студента включают в себя следующее:

- обязательное посещение лекций ведущего преподавателя; лекции – основное методическое руководство при изучении дисциплины, наиболее оптимальным образом структурированное и скорректированное на современный материал; в лекции глубоко и

подробно, аргументировано и методологически строго рассматриваются главные проблемы темы; в лекции даются необходимые разные подходы к исследуемым проблемам;

- подготовку и активную работу на практических занятиях; подготовка к практическим занятиям включает проработку материалов лекций, рекомендованной учебной литературы, а также выполнение заданий на самостоятельное решение задач.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям. Практическое занятие включает в себя два вида работ: подготовку сообщения и участие в обсуждении проблемы, затронутой сообщением. Основной вид работы на занятии – участие в обсуждении проблемы.

Выступления на практических занятиях должны быть по возможности компактными и в то же время вразумительными. На практическом занятии идёт проверка степени проникновения в суть материала, обсуждаемой проблемы. Поэтому беседа будет идти не по содержанию прочитанных работ; преподаватель будет ставить проблемные вопросы.

По окончании практического занятия к нему следует обратиться ещё раз, повторив сделанные выводы, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе – для этого в течение занятия следует делать небольшие пометки. Таким образом, практическое занятие не пройдёт даром, закрепление результатов занятия ведёт к лучшему усвоению материала изученной темы и лучшей ориентации в структуре курса. Вышеприведённая процедура должна практиковаться регулярно – стабильная и прилежная работа в течение семестра будет залогом успеха на сессии.

Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы формулируются в виде заданий для самостоятельной работы, предусматривающих использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Эти задания также ориентируют на написание контрольных работ, рефератов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Подготовка к **устному докладу**.

Доклады делаются по каждой теме с целью проверки теоретических знаний обучающегося, его способности самостоятельно приобретать новые знания, работать с информационными ресурсами и извлекать нужную информацию.

Доклады заслушиваются в начале практического занятия после изучения соответствующей темы. Продолжительность доклада не должна превышать 5 минут. Тему доклада студент выбирает по желанию из предложенного списка.

При подготовке доклада студент должен изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, обязательно составить план доклада (перечень рассматриваемых им вопросов, отражающих структуру и последовательность материала), подготовить раздаточный материал или презентацию. План доклада необходимо предварительно согласовать с преподавателем.

Выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументировано. Преподаватель следит, чтобы выступление не сводилось к простому воспроизведению текста, не допускается простое чтение составленного конспекта доклада. Выступающий также должен быть готовым к вопросам аудитории и дискуссии.

Лекционный курс

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

Лекция 1. Предмет классической механики. Кинематика.
Лекция 2. Основания динамики Ньютона. Динамика частицы.
Лекция 3. Некоторые задачи классической механики.
Лекция 4. Некоторые задачи классической механики.
Лекция 5. Динамика системы частиц.
Лекция 6. Динамика системы частиц.
Лекция 7. Основы аналитической механики.
Лекция 8. Основы аналитической механики.

Лекция 9. Основы аналитической механики.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

Лекция 1. Электрический заряд и электромагнитное поле в вакууме.
Лекция 2. Электростатическое поле в вакууме.
Лекция 3. Стационарное магнитное поле в вакууме.
Лекция 4. Электромагнитные волны.
Лекция 5. Релятивистская формулировка электродинамики.
Лекция 6. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 7. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 8. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 9. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 10. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 11. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
Лекция 12. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

Лекция 1. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.
Лекция 2. Динамические уравнения и законы сохранения.
Лекция 3. Одномерное движение.
Лекция 4. Движение в центрально-симметричном поле.
Лекция 5. Спин электрона.
Лекция 6. Приближённые методы квантовой механики.
Лекция 7. Элементы теории излучения.
Лекция 8. Системы тождественных частиц.
Лекция 9. Многоэлектронные атомы и молекулы.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

Лекция 1. Основные положения статистической физики.
Лекция 2. Статистическая термодинамика.
Лекция 3. Статистическое распределение для системы в термостате.
Лекция 4. Основные применения распределения Гиббса.
Лекция 5. Основы теории неравновесных процессов.
Лекция 6. Элементы теории флуктуаций.
Лекция 7. Квантовые статистики идеального газа.
Лекция 8. Квантовые статистики идеального газа.
Лекция 9. Квантовые статистики идеального газа.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

Лекция 1. Методы исследования в ядерной физике. Свойства атомных ядер.
Лекция 2. Ядерные модели.
Лекция 3. Ядерные превращения.
Лекция 4. Ядерные силы и их основные свойства.
Лекция 5. Ядерные превращения.
Лекция 6. Ядерные модели.
Лекция 7. Элементарные частицы.
Лекция 8. Элементарные частицы.
Лекция 9. Элементарные частицы.

Темы лабораторных занятий

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

1. Кинематика.
2. Кинематика.
3. Кинематика.
4. Основания динамики Ньютона.
5. Динамика частицы.
6. Некоторые задачи классической механики.
7. Некоторые задачи классической механики.
8. Некоторые задачи классической механики.

9. Некоторые задачи классической механики.
10. Динамика системы частиц.
11. Динамика системы частиц.
12. Основы аналитической механики.
13. Основы аналитической механики.
14. Основы аналитической механики.
15. Основы аналитической механики.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

1. Электрический заряд и электромагнитное поле в вакууме.
2. Электрический заряд и электромагнитное поле в вакууме.
3. Электростатическое поле в вакууме.
4. Электромагнитные волны.
5. Релятивистская формулировка электродинамики.
6. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
7. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
8. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
9. Стационарное магнитное поле в вакууме.
10. Стационарное магнитное поле в вакууме.
11. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
12. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
13. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
14. Общие свойства электромагнитного поля в веществе.
15. Электромагнитные волны.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

1. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.
2. Динамические уравнения и законы сохранения.
3. Одномерное движение.
4. Одномерное движение.
5. Одномерное движение.
6. Движение в центрально-симметричном поле.
7. Движение в центрально-симметричном поле.
8. Многоэлектронные атомы и молекулы.
9. Многоэлектронные атомы и молекулы.
10. Приближённые методы квантовой механики.
11. Приближённые методы квантовой механики.
12. Приближённые методы квантовой механики.
13. Приближённые методы квантовой механики.
14. Системы тождественных частиц.
15. Элементы теории излучения.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

1. Основные положения статистической физики.
2. Статистическая термодинамика.
3. Статистическое распределение для системы в термостате.
4. Основные применения распределения Гиббса.
5. Статистическое распределение для системы в термостате.
6. Статистическая термодинамика.
7. Статистическая термодинамика.
8. Квантовые статистики идеального газа.
9. Квантовые статистики идеального газа.
10. Квантовые статистики идеального газа.
11. Квантовые статистики идеального газа.
12. Квантовые статистики идеального газа.
13. Равновесие фаз и фазовые переходы.

14. Элементы теории флуктуаций.
15. Основы теории неравновесных процессов.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

1. Свойства атомных ядер.
2. Свойства атомных ядер.
3. Ядерные превращения.
4. Ядерные превращения.
5. Ядерные превращения.
6. Ядерные превращения.
7. Ядерные превращения.
8. Ядерные превращения.
9. Ядерные превращения.
10. Ядерные модели.
11. Элементарные частицы.
12. Элементарные частицы.
13. Элементарные частицы.
14. Элементарные частицы.
15. Методы исследования в ядерной физике.

1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, Интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

Раздел 1. Классическая механика (5 семестр).

Основная литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 1. Механика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 224 с. — 7-е изд., стер. - ISBN 978-5-9221-1611-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1223537. – Режим доступа: по подписке.
2. Журавлев, В. Ф. Основы теоретической механики / В. Ф. Журавлев. - 3-е изд., перераб. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 304 с. - ISBN 978-5-9221-0907-9 ; [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68411.

Дополнительная литература

1. Журавлев, Е. А. Теоретическая механика: курс лекций / Е. А. Журавлев ; Поволжский государственный технологический университет ; под ред. Л. С. Журавлевой. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2014. - 140 с. - ISBN 978-5-8158-1281-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439204.
2. Ханефт, А. В. Теоретическая механика: учебное пособие / А. В. Ханефт. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. - 110 с. - ISBN 978-5-8353-1514-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232320.
3. Расовский, М. Теоретическая механика и механика сплошных сред: курс лекций / М. Расовский, А. Русинов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», Кафедра радиофизики и электроники. - Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2011. - 152 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259346.
4. Алтунин, К. К. Классическая механика: учебное пособие / К. К. Алтунин. - 3-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 87 с. - ISBN 978-5-4475-0319-2. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240550.

Раздел 2. Электродинамика и специальная теория относительности (6 семестр).

Основная литература

1. Терлецкий, Я.П. Электродинамика / Я.П. Терлецкий, Ю.П. Рыбаков. – Москва : Высшая Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. — 9-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 508 с. - ISBN 978-5-9221-1568-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1223533. – Режим доступа: по подписке.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 8. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. - 5-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 656 с. - ISBN 978-5-9221-1702-9. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1223541. – Режим доступа: по подписке.
3. Терлецкий, Я. П. Электродинамика / Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков. – Москва : Высшая школа, 1980. – 336 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492478.
   Пейсахович, Ю. Г. Классическая электродинамика: учебное пособие / Ю. Г. Пейсахович. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 634 с. - ISBN 978-5-7782-2211-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436255.

Дополнительная литература

1. Степаньянц, К. В. Классическая теория поля / К. В. Степаньянц. - Москва : Физматлит, 2009. - 537 с. - ISBN 978-5-9221-1082-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68977.
2. Алтунин, К. К. Электродинамика, специальная теория относительности и электродинамика сплошных сред: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 109 с. - ISBN 978-5-4475-0326-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240549.
3. Шостак, А. С. Электродинамика сплошных сред: курс лекций / А. С. Шостак ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники". - Томск : ТУСУР, 2012. - 190 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480468.

Раздел 3. Квантовая механика (7 семестр).

Основная литература

1. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – 3-е Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – 3-е изд. – Москва : Высшая школа, 1961. – 511 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499317.

2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. — 9-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 508 с. - ISBN 978-5-9221-1568-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1223533. – Режим доступа: по подписке.

Дополнительная литература

1. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. – Москва : Мир, 1965. – Т. 8. Квантовая механика (I). – 266 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494660.

2. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; под ред. Я. А. Смородинского. – Москва : Мир, 1965. – Т. 9. Квантовая механика (II). – 253 с. :– Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494659.

3. Ведринский, Р. В. Квантовая механика: учебник / Р. В. Ведринский ; Федеральное агентство по образованию Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южный федеральный университет". - Ростов-н/Д : Издательство Южного федерального университета, 2009. - 384 с. - библиогр. с: С. 382. - ISBN 978-5-9275-0706-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240937.

4. Киселёв, В. В. Квантовая механика : курс лекций / В. В. Киселёв. - Москва : МЦНМО, 2009. - 560 с. - ISBN 978-5-94057-497-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=62965.

5. .Елютин, П. В. Квантовая механика с задачами / П. В. Елютин, В. Д. Кривченков. - Москва : Физматлит, 2001. - 300 с. - ISBN 978-5-9221-0077-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68967.

Раздел 4. Статистическая физика и термодинамика (8 семестр).

Основная литература

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 5. Статистическая физика. Часть 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. — 6-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 620 с. - ISBN 978-5-9221-1510-0. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1223531. – Режим доступа: по подписке.
2. Терлецкий, Я. П. Статистическая физика / Я. П. Терлецкий. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 1973. – 279 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482849.

3. Краснопевцев, Е. А. Спецглавы физики: статистическая физика равновесных систем: учебное пособие / Е. А. Краснопевцев. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 387 с. - ISBN 978-5-7782-2565-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436229.

Дополнительная литература

1. Березин, Ф. А. Лекции по статистической физике: курс лекций / Ф. А. Березин ; под ред. Д. А. Лейтес. - Изд. 2-е, испр. - Москва : МЦНМО, 2008. - 197 с. - ISBN 978-5-94057-352-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63268.
2. Алтунин, К. К. Статистическая физика и термодинамика: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 83 с. - ISBN 978-5-4475-0325-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240555.

3. Браун, А. Г. Основы статистической физики: учебное пособие / А. Г. Браун, И. Г. Левитина. - 3-е изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 120 с. - ISBN 978-5-16-010234-4. - URL: http://znanium.com/bookread2.php?book=478437.

Раздел 5. Физика атомного ядра и элементарных частиц (9 семестр).

Основная литература

1. Капитонов, И. М. Введение в физику ядра и частиц: учебник / И. М. Капитонов. - 4-е изд. - Москва : Физматлит, 2010. - 512 с. - ISBN 978-5-9221-1250-5 ; [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75503.
2. Физика атомного ядра [Электронный ресурс] : учебное пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: В. Я. Чечуев, С. В. Викулов, Э. Б. Селиванова, Л. А. Митина. – Новосибирск: Золотой колос, 2014. – 129 с. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/516769. – Режим доступа: по подписке.

Дополнительная литература

1. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю. М. Широков; Н. П. Юдин. - Изд. 2-е, перераб. - Москва : Наука, 1980. - 728 с. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450094.
2. Алтунин, К. К. Теоретическая физика атомного ядра и элементарных частиц: учебно-методическое пособие / К. К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 71 с. - ISBN 978-5-4475-0321-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240556.

Интернет-ресурсы

1) biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – электронная библиотека, обеспечивающая доступ высших и средних учебных заведений, публичных библиотек и корпоративных пользователей к наиболее востребованным материалам учебной и научной литературы по всем отраслям знаний от ведущих российских издательств. Ресурс содержит учебники, учебные пособия, монографии, периодические издания, справочники, словари, энциклопедии.
2) els.ulspu.ru – сайт ЭБС Научная библиотека Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащий ссылки на образовательные (электронно-библиотечные системы, каталог библиотечных сайтов, методические рекомендации) и научные ресурсы (научные электронные библиотеки, научные электронные издательства).
3) bibl.ulspu.ru - сайт научной библиотеки Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащие электронный каталог книг и журналов.
4) Электронная библиотека портала РФФИ http://www.rfbr.ru/,
5) Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" http://window.edu.ru/,
6) http://www.phys.msu.ru – официальный сайт физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.
7) Интернет-версия журнала "Успехи физических наук" http://ufn.ru/,
8) Варламов В. В., Ишханов Б. С., Комаров С. Ю. Атомные ядра. Основные характеристики: учебное пособие. М.: Университетская книга, 2010. - 334 с. (Электронный ресурс. - Режим доступа: http://window.edu.ru/resource/652/74652). (Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам").