

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОБЩАЯ ФИЗИКА.
ФИЗИКА АТОМА, АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки
03.03.02 - Физика

Благовещенск 2017

Составители: О.В. Зотова, И.А. Голубева

Общая физика. Физика атома, атомного ядра и элементарных частиц: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. Физика – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© О.В. Зотова, И.А. Голубева, составление

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий период научно-технической революции, вступления в эпоху нанотехнологий, появления в окружающей нас жизни все больше приборов и устройств, работающих на атомном уровне, знание основ строения атома и атомного ядра становится признаком любого образованного человека. Для студентов-физиков данный курс является первым и основополагающим в изучении закономерностей и особенностей строения электронной оболочки атома, атомного ядра и объектов микромира. Данный курс является непосредственной основой для курсов «Физика конденсированного состояния», «Экспериментальные методы в физике», «Физика полупроводников и диэлектриков», «Физика лазеров и радиационная физика» и большинства других для курсов специальной подготовки.

Данный курс имеет целью представление теории атома и атомного ядра как обобщения результатов физических экспериментов и теоретических представлений о движении микрообъекта. Основное внимание при этом уделяется ограниченности классических представлений, а в некоторых случаях невозможности описания существующих явлений в представлениях классической механики. Изложение курса построено в рамках квантово-механического представления о движении микрообъекта, которое вводится после формулировки основных положений корпускулярно-волнового дуализма. Однако в курсе используются только те положения, которые необходимы для законченной картины описания атома, атомного ядра и элементарных частиц в нерелятивистском приближении, не заменяя отдельный курс квантовой теории.

Занятия по дисциплине организуются в форме аудиторной (лекционные и практические занятия) и самостоятельной работы. Практические (семинарские) занятия проводятся в форме коллективной работы по разбору конкретных примеров теоретического материала, расчетов и решения задач. Значительный объем трудозатрат по курсу отведен на самостоятельную работу. В целях мотивации самостоятельной работы и обеспечения ее необходимого объема все виды аудиторной работы предполагают создание тематических проблемных ситуаций, реко-

мендуемых для самостоятельного анализа и последующего коллективного разбора.

Требованиями к уровню усвоения содержания курса являются:

понимание квантовых закономерностей строения атома и атомного ядра, «масштабов» проявления квантовых атомных и ядерных эффектов и явлений;

знание теоретического материала и умение его использовать при анализе явлений микромира и решении соответствующих физических задач;

умение читать современную учебную и научную литературу по физике, понимание главных проблем этой науки, грамотное использование полученных знаний и умений в специальных дисциплинах.

1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Краткое содержание курса лекций

Тема 1. Микромир. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения

Протяженность области микромира $10^{-8} - 10^{-17}$ м. Объекты – структурные единицы деления материи: молекулы и атомы, ядра атомов, элементарные частицы. Размеры объектов $10^{-8} - 10^{-17}$ м. Массы объектов $0 - 10^{-27}$ кг. Состав объекта: молекулы и атомы, ядра и электроны, нуклоны. Типы взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное. Область физических явлений: атомные явления и атомные спектры, физика атомного ядра, взаимодействие элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия и их проявление в природе. Микроуровень рассмотрения физических явлений и квантовые представления. Релятивистские идеи.

Открытие (Г.Герц 1887г.) и исследование (А.Г. Столетов) явление фотоэлектрического эффекта. Опытные законы внешнего фотоэффекта. Проблем объяснения фотоэффекта с позиций волновой теории света. Объяснение Эйнштейном (1905 г.) экспериментальных закономерностей фотоэффекта на основании квантовой гипотезы Планка об излучении. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта.

Опыт Боте в подтверждение существования фотонов. Энергия и импульс фотона.

Давление света. Опыты Иоффе и Добронравова – подтверждение корпускулярных свойств света. Флуктуации светового потока.

Открытие эффекта Комптона (1923 г.). Невозможность объяснения эффекта Комптона с позиций волновой теории электромагнитного излучения. Объяснение эффекта Комптона на основании корпускулярных свойств электромагнитного излучения. Вывод формулы комптоновского смещения посредством закона сохранения энергии и импульса для упругого столкновения рентгеновского фотона и свободного электрона. Понятие об электронах отдачи. Комптоновская длина волны.

Единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения (корпускулярно-волновой дуализм). Давление света. Опыты Лебедева.

Тема 2. Волновые свойства частиц вещества

Волновые свойства частиц, волны де Бройля. Корпускулярно – волновой дуализм частиц вещества. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля: опыты Девиссона и Джермера по отражению электронов от монокристалла никеля, опыты Томпсона и независимо от него Тартаковского по дифракции электронных пучков. Интерференционные явления с молекулярными пучками и нейтронами.

Статистическое истолкование волн де Бройля, мысленные эксперименты по дифракции электронов на узкой щели. Понятие траектории для микрочастиц и прямолинейное распространение света, пределы применимости.

Принцип неопределенности Гейзенберга. Соотношение неопределенностей координаты и импульса, и для энергии и времени. Волновая функция (пси-функция) как характеристика состояния микрочастиц. Статистический смысл пси-функции.

Тема 3. Дискретность атомных состояний, атомные модели

Модель атома Томсона. Недостатки модели.

Опыты Резерфорда. Анализ результатов опытов – планетарная (ядерная) модель атома Резерфорда. Проблема устойчивости атома в модели Резерфорда.

Опыт Чадвика по определению заряда ядра.

Изучение спектральных серий атома водорода. Сериальные закономерности в расположении линий в спектре атома водорода. Эмпирическая формула Бальмера для длин волн в видимой области спектра. Постоянная Ридберга.

Открытие в спектре атома водорода ультрафиолетовой серии Лаймана и инфракрасных серий – Пашена, Бреккета, Пфунда и Хэмфри. Обобщенная формула Бальмера.

Модель атома Резерфорда-Бора. Квантовые постулаты Бора о строении атома. Опыты Франка и Герца в подтверждение существования дискретных энергетических уравнений атома согласно постулатам Бора.

Элементарная боровская теория водородоподобного атома. Правила квантования круговых орбит. Постулат Планка о квантованных энергетических состояниях гармонического осциллятора. Фазовая плоскость и фазовая траектория. Фазовая траектория гармонического осциллятора – эллипс. Полуоси эллипса, площадь эллипса. Правила квантования площадей: площадь эллипса в фазовом пространстве пропорциональна целому числу h . Обобщенные координата q и обобщенный импульс – p . Применение понятия обобщенный импульс и обобщенная координата для электрона, движущегося вокруг ядра по круговой орбите. Условия Бора для квантования момента импульса электрона. Главное квантовое число n . Радиусы допустимых орбит. Расчет радиуса первой боровской орбиты. Внутренняя энергия, дозволённые значения внутренней энергии атома. Переход атома водорода из состояния n в состояния m с излучением фотона с энергией $h\nu$. Вывод обобщенная формулы Бальмера в рамках теории Бора, физический смысл постоянной Ридберга. Граница серий. Спектральные термы. Частоты линий в спектре как разность термов. Связь термов с энергией стационарного состояния атома. Схема энергетических уровней.

Значение теория Бора как этапа в развитии теории атома. Недостатки теории атома Бора.

Тема 4. Основы квантовой механики Шредингера

Общее и стационарное уравнение Шредингера. Собственные значения и собственные функции.

Решения стационарного уравнения Шредингера для свободной частицы и частицы в одномерной прямоугольной «потенциальной яме». Квантование энергии. Конечные, однозначные и непрерывные решения уравнения Шредингера для гармонического осциллятора. Эквидистантность уровней энергии. Нулевая энергия. Квантовые числа. Правила отбора для квантовых чисел. Изменение энергии гармонического осциллятора порциями (квантами).

Движение микрочастицы в потенциальной яме конечной глубины в поле центральной силы. Угловая волновая функция. Момент импульса микрочастицы в поле центральной силы.

Тема 5. Атом водорода, водородоподобные системы

Атом водорода в квантовой механике. Потенциальная энергия электрона. Уравнение Шредингера. Сферическая система координат. Собственные функции, содержащие квантовые числа: n , ℓ , m (n – главное квантовое число, ℓ – орбитальное квантовое число, m – магнитное квантовое число). Вырожденные состояния. Кратность вырождения энергетического уровня.

Условные обозначения состояний электронов с различными значениями момента импульса. Схема уровней энергии (спектр). Правило отбора орбитального квантового числа, как следствие закона сохранения момента импульса. Переходы между состояниями электронов в спектре и возникновение спектральных серий. Основное и возбуждённое состояние атома водорода. Причины переходов электронов с излучением и поглощением фотонов. Однофотонный процесс поглощения.

Механический и магнитный орбитальный момент электрона в поле центральных сил. Тонкая структура расщепления линий спектра на компоненты. Мультиплеты. Опыты Штерна и Герлаха. Гипотеза Гаудсмита и Уленбека о собственном моменте импульса электрона, не связанном с движением в пространстве. Спин электрона. Квантование спина. Спиновое квантовое число.

Собственный магнитный момент электрона. Проекция магнитного момента электрона на заданное направление. Спиновое гироманнитное соотношение. Полный момент импульса. Спин-орбитальное взаимодействие и зависимость его энергии от взаимной ориентации орбитального и собственного моментов. Расщепление термов. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода. Постоянная тонкой структуры. Правило отбора для квантового числа полного момента импульса атома.

Тема 6. Многоэлектронные атомы

Основные положения теории многоэлектронных атомов. Принцип тождественности (принцип неразличимости одинаковых частиц). Симметричные и антисимметричные пси-функции. Частицы с целыми и полуцелыми спинами. Принцип Паули. Состояние электрона и набор квантовых чисел. Оболочки и подоболочки.

Распределение электронов в атоме по состояниям. Объяснение периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Заполнение электронных оболочек. Периодичность свойств элементов. Энергия и спектр излучения многоэлектронного атома. Волновая функция многоэлектронного атома и понятие об обменной энергии. Заполнение электронных оболочек многоэлектронных атомов. Правило Хунда. Понятие о LS -связи и JJ -связи. Атом гелия. Энергетический спектр атома гелия. Общие сведения о строении сложных атомов.

Тема 7. Рентгеновские спектры

Рентгеновские спектры атомов. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучения. Сплошной спектр тормозного излучения и его зависимость от приложенного напряжения. Граница сплошного спектра. Серии характеристического спектра. Строение внутренних оболочек атома. Связь рентгеновского спектра с атомным номером. Закон Мозли. Закон ослабления рентгеновского излучения в веществе. Коэффициенты поглощения и рассеяния.

Тема 8. Молекула

Основные виды химической связи. Гетерополярная (ионная) связь. Молекулы солей. Гомеополярная (ковалентная, атомная) связь. Молекула водорода. Уравнение Шрёдингера для молекулы водорода (двухатомных молекул.) Собственные значения энергии и ее зависимость от расстояния R . Спин и симметрия состояний. Образование молекулы. Минимум энергии взаимодействия. Молекулы с одинаковыми ядрами и различными ядрами. Баланс энергии. Энергия обусловленная электронной конфигурацией, энергия колебательного движения, энергия вращательного движения. Схема энергетических уровней двухатомной молекулы. Полосатые молекулярные спектры. Вращательные полосы. Колебательно-вращательные полосы.

Тема 9. Общие свойства атомных ядер

Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц. Масштабы явлений микромира. Общие свойства атомных ядер. Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц. Заряд ядра. Массовое число и масса ядра. Изотопы. Изобары.

Энергия связи ядра. Полуэмпирическая формула для энергии связи ядра. Магические числа. Стабильные и радиоактивные ядра. Спин и магнитный момент ядра. Ядерный магнетон. Статические и мультипольные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент ядра. Квантовомеханическое описание ядерных состояний. Четность волновой функции. Свойства симметрии волновых функций для тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.

Модели атомных ядер. Потенциал усредненного ядерного поля. Физическое обоснование оболочечной структуры ядра. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в усредненном ядерном потенциале. Объяснение спинов и четностей состояний ядер и модели оболочек. Остаточное взаимодействие. Понятие о многочастичной модели оболочек. Коллективные свойства ядер. Вращательные и колебательные свойства ядер. Деформированные ядра. Состояние движения нуклонов в деформированном ядре. Связь одночастичных и коллективных движений.

Нуклон-нуклонные взаимодействия. Дейтрон-связанное состояние в n - r -системе. Основные характеристики дейтрона. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона. Волновая функция дейтрона. Тензорный характер ядерных сил. Рассеяние нейтронов на протонах. Спиновая зависимость ядерных сил. Особенности рассеяния тождественных частиц. Зарядовая независимость ядерных сил. Изотопический спин. Обобщенный принцип Паули. Обменный характер ядерных сил. Свойство насыщения ядерных сил.

Тема 10. Радиоактивность

Естественная и искусственная радиоактивность. Статистический характер распада. Закон радиоактивного распада, α - частица. Спектры α - частиц. Взаимосвязь периода α - распада и энергии α - частиц. Элементы теории α -распада. Туннельный эффект. Определение размеров ядер по данным α – распада.

β - частица. Виды β - распада. Энергетические спектры электронов. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Элементы теории β - распада. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные β - переходы. Несохранение четности в β - распаде. Проблема массы нейтрино.

γ -излучение ядер. Электрические и магнитные переходы. Правила отбора по моменту и четности для α - распадов. Вероятности переходов для различных мультиполей. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.

Тема 11. Ядерные реакции

Экспериментальные методы изучения ядерных реакций. Физический принцип работы ускорителей. Детекторы ядерных частиц. Сечения реакций. Каналы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций.

Механизм ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Прямые ядерные реакции. Использование прямых ядерных реакций для определения квантовых характеристик ядерных состояний. Особенности реакций под действием γ - квантов, электронов, нейтронов, легких ионов, многозарядных ионов. Трансурановые элементы.

Деление и синтез атомных ядер. Основные экспериментальные данные о делении. Элементарная теория деления. Параметр делимости. Спонтанное деление. Деление изотопов урана под действием нейтронов. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы. Ядерная энергетика.

Тема 12. Взаимодействие ядерного излучения с веществом

Взаимодействие ядерного излучения с веществом. Взаимодействие легких и тяжелых заряженных частиц с веществом. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Излучение Вавилова-Черенкова. Пробеги заряженных частиц.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Тепловые и резонансные нейтроны. Диффузия тепловых нейтронов.

Прохождение γ -излучения через вещество. Зависимость эффективных сечений основных механизмов взаимодействия γ -квантов от их энергии и от свойств вещества.

Тема 13. Физика высоких энергий

Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Понятие о современных методах получения пучков высоких энергий. Накопители частиц. Встреч-

ные пучки. Элементы релятивистской кинематики. Наблюдение процессов рождения и распада частиц. Методы наблюдения короткоживущих частиц.

Общие свойства наблюдаемых элементарных частиц. Лептоны, адроны, калибровочные бозоны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в ряде частиц. Диаграммы Фейнмана. Законы сохранения, регулирующие превращения частиц. Классификация взаимодействий.

Тема 14. Фундаментальные взаимодействия

Сильные взаимодействия и структура адронов. Основные характеристики кварков и глюонов. Проявление кварк-глюонной структуры адронов в процессах глубоко неупругого рассеяния лептонов. Кварковая структура мезонов и барионов. Новая квантовая характеристика кварков и глюонов - цвет. Основные процессы с участием адронов.

Слабые взаимодействия. Универсальность слабого взаимодействия. Носители слабого взаимодействия - промежуточные бозоны. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий - модели Вайнберга-Салама. Основные типы превращений элементарных частиц, связанных слабым взаимодействием.

Некоторые принципиальные вопросы теории элементарных частиц. Дискретные симметрии C , P , T и теорема CPT . Изотопическая и цветная симметрии. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.

1.2 Содержание практических (семинарских) занятий

Практические занятия по курсу «Атомная физика, физика ядра и элементарных частиц» предназначены для формирования у студентов навыка решения задач, возникающих перед исследователем, разработчиком конкретных физических моделей. На практические занятия выносятся наиболее важные разделы курса. На каждом занятии предлагается несколько задач, часть из которых решается с подробным обсуждением метода и полученных результатов, остальные задачи студенты решают самостоятельно. Так же на практических занятиях осуществляется текущий контроль знаний студентов по отдельным разделам и темам курса в виде: контрольной работы (решение задач), коллоквиума (проверка знаний теоретиче-

ского материала) и письменный опрос или тест (проверка знаний понятийного аппарата, основных законов и формул).

1.2.1 Темы практических (семинарских) занятий

1. Фотоэффект.
2. Эффект Комптона.
3. Энергия и импульс фотона. Давление света.
4. Волны де-Бройля. Соотношение неопределенностей.
5. Модель Бора для атома водорода. Диаграммы уровней энергии. Обобщения формула Бальмера. Спектральные термы.
6. Свободное движение микрочастицы, микрочастица в потенциальной яме, гармонический осциллятор.
7. Движение микрочастицы в поле центральной силы: угловые волновые функции, момент импульса. Квантовая теория атома водорода.
8. Электронная оболочка многоэлектронного атома: магнитный момент, электронные атомные термы. Спин-орбитальное расщепление, тонкая структура термов.
9. Оптические спектры атомов, спектральные серии, тонкая и сверхтонкая структура спектральных линий.
Характеристические спектры атомов и строение их внутренних оболочек. Электромагнитные переходы в атомах. Закон Мозли.
10. Двухатомные молекулы.
11. Расчет энергии связи, удельной энергии связи, заряд, массовое число ядра, дефект масс. Расчет спина, магнитного и электрического момента ядра.
12. Закон радиоактивного распада. Определение активности, периода полураспада, времени жизни ядер, постоянной распада. Расчет и построение электрических и магнитных переходов.
13. Расчет характеристик ядерных реакций: сечения, порога. Определение параметра делимости и кулоновского барьера деления ядер.
14. Расчет энергии ионизации и длины пробега при прохождении тяжелых заряженных частиц через вещество. Расчет радиационных потерь при прохождении

легких заряженных частиц через вещество. Расчет интенсивности при прохождении гамма-квантов через вещество.

15. Кинематика частиц, построение диаграмм Фейнмана. Расчет энергии взаимодействия частиц.

16. Законы сохранения заряда, массы, лептонного и барионного чисел, странности в фундаментальных взаимодействиях.

1.2.2 Примеры решения задач

Задача 1. Фотоэффект у некоторого металла начинается при частоте падающего света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ 1/с. Определите частоту света, при которой освобождаемые им с поверхности данного металла электроны полностью задерживаются разностью потенциалов в 3 В. Найдите работу выхода для данного металла.

Дано: $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}$ 1/с, $U_3 = 3$ В.

Найти: ν - ? $A_{\text{вых}}$ - ?

Решение. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + m\nu_{\text{max}}^2 / 2.$$

Здесь $h\nu$ - энергия падающего фотона, $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из данного металла, $m\nu_{\text{max}}^2 / 2$ - максимальная кинетическая энергия вылетевшего электрона.

1. Частота ν_0 соответствует “красной границе” фотоэффекта, т.е. определяет минимальную энергию фотона, вызывающего фотоэффект.

$$h\nu_0 = A_{\text{вых}}.$$

$$A_{\text{вых}} = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 3,978 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} = 2,48 \text{ (эВ)}.$$

2. Так как освобождаемые электроны задерживаются электрическим полем с разностью потенциалов U_3 , то это означает, что работа поля равна кинетической энергии электрона:

$$eU_3 = m\nu_{\text{max}}^2 / 2.$$

Тогда
$$\nu = (A_{\text{вых}} + eU_3) / h.$$

$$\nu = (3,978 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3) / 6,63 \cdot 10^{-34} = 1,32 \cdot 10^{15} \text{ (1/с)}.$$

Ответ: $\nu = 1,32 \cdot 10^{15}$ 1/с, $A_{\text{вых}} = 2,48$ эВ.

Задача 2. Первоначальная длина волны падающего рентгеновского излучения $\lambda_0=0,003$ нм, скорость электрона отдачи равна 0,6 с. Определите изменение длины волны и угол рассеяния фотона.

Дано: $\lambda_0=0,003$ нм= $3 \cdot 10^{-12}$ м; $v=0,6$ с.

$\Delta\lambda=?$ $\varphi=?$

Решение. Рассеяние рентгеновских лучей описывается уравнением

$$\Delta\lambda = (h/m_0c) (1-\cos \varphi), \quad (1)$$

где $\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0$, λ -длина волны рассеянного излучения. Данное явление объясняется упругим соударением фотонов со свободными электронами вещества. При этом выполняются законы сохранения энергии и импульса. По закону сохранения энергии:

$$h\nu_0+m_0c^2= h\nu+mc^2 \quad (2),$$

где $h\nu_0$, $h\nu$ - энергии падающего и рассеянного фотона, m_0c^2 - энергия покоящегося электрона, mc^2 - энергия электрона после соударения.

$\nu_0=c/\lambda_0$, $\nu=c/\lambda$; $m=m_0/(1-v^2/c^2)^{1/2}$.

Т.к. $v=0,6$ с, то $m=m_0/(1-0,36c^2/c^2)^{1/2}=1,25 m_0$

$$hc/\lambda_0 + m_0c^2 = hc/\lambda + mc^2 \quad (3).$$

Отсюда найдем λ - длину волны рассеянного излучения:

$$\lambda = hc\lambda_0 / (hc - 0,25m_0c^2\lambda_0) \quad (4).$$

$$\lambda = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-12} / (6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 - 0,25 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot 3 \cdot 10^{-12}) = 4,34 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}.$$

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 4,34 \cdot 10^{-12} - 3 \cdot 10^{-12} = 1,34 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}.$$

Из соотношения (1): $\cos \varphi = 1 - \Delta\lambda m_0c/h = 1 - \Delta\lambda/\Lambda_K$,

где $\Lambda_K = h/(m_0c)$ - ком-птоновская длина волны.

$$\cos \varphi = 1 - 1,34 \cdot 10^{-12} / 2,42 \cdot 10^{-12} = 1 - 0,5537 = 0,4463; \quad \varphi = 68^\circ 20'.$$

Ответ: $\varphi = 68^\circ 20'$.

Задача 3. Поверхность площадью 100 см² каждую минуту получает 63 Дж световой энергии. Найти световое давление в случаях, когда поверхность: а) полностью отражает все лучи; б) полностью поглощает все излучение.

Дано: $S=100$ см²= 10^{-2} м²; $W=63$ Дж; $t=1$ мин= 60 с; а) $R=1$; б) $R=0$.

Найти: $p_1=?$ $p_2=?$

Решение. Величина светового давления определяется соотношением: $p = \frac{J(1+R)}{c}$,

где J - интенсивность света. $J=W/(S \cdot t)$.

$$\text{а) } p_1 = 2W/(S \cdot t \cdot c); \quad \text{б) } p_2 = W/(S \cdot t \cdot c).$$

$$p_1 = 2 \cdot 63 / (10^{-2} \cdot 60 \cdot 3 \cdot 10^8) = 7 \cdot 10^{-7} \text{ (Па)}; \quad p_2 = p_1/2 = 3,5 \cdot 10^{-7} \text{ (Па)}.$$

Ответ: $p_1 = 7 \cdot 10^{-7}$ Па; $p_2 = 3,5 \cdot 10^{-7}$ Па.

Задача 4. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов U . Найти длину волны де Бройля для двух случаев: $U_1=51$ В; $U_2=510$ кВ.

Дано: $U_1=51$ В; $U_2=510$ кВ $= 51 \cdot 10^4$ В, $m_0=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $c=3 \cdot 10^8$ м/с.

Найти: $\lambda_1=?$ $\lambda_2=?$

Решение. Приписывая электрону волновые свойства, мы можем определить длину волны, соответствующую частице с определенным импульсом: $\lambda = h/P$.

Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U , приобретает кинетическую энергию E_k , которая связана с импульсом частицы: $eU = E_k$. При разных U скорость частицы может быть много меньше скорости света в вакууме ($v \ll c$ - классический случай) и сравнима со скоростью света ($v \approx c$ - релятивистский случай). Чтобы определить, с каким случаем мы имеем дело, сравним кинетические энергии электрона с энергией покоя этой частицы E_0 : $E_0 = m_0 c^2$.

$$E_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 81,9 \cdot 10^{-15} \text{ (Дж)} = 81,9 \cdot 10^{-15} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 0,51 \text{ (эВ)} = 0,51 \text{ (МэВ)}$$

$$E_{k1} = eU_1 = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 51 = 81,6 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} = 51 \text{ (эВ)} = 0,51 \cdot 10^{-4} \text{ (МэВ)}$$

$E_{k1} \ll E_0$, т.е. $v \ll c$ - классический случай;

$$E_{k2} = eU_2 = 51 \cdot 10^4 \text{ (эВ)} = 0,51 \text{ (МэВ)}$$

$E_{k2} = E_0$ - релятивистский случай.

Поэтому:

1) классический случай: $\lambda_1 = h/P_1$; $P_1 = m_0 v$; $E_{k1} = P_1^2 / 2m_0 \Rightarrow P_1 = \sqrt{2m_0 E_{k1}}$;

$$\lambda_1 = h / \sqrt{2m_0 E_{k1}}; \quad \text{где } E_{k1} = 0,51 \cdot 10^{-4} \text{ МэВ} = 10^{-4} E_0$$

$$\lambda_1 = h / \sqrt{2m_0 10^{-4} m_0 c^2} = 10^2 h / \sqrt{2} m_0 c,$$

но $\Lambda_k = h/(m_0 c) = 2,4 \cdot 10^{-12}$ м - комптоновская длина волны.

$$\lambda_1 = 10^{-2} \cdot 2,14 \cdot 10^{-12} / 1,42 = 1,7 \cdot 10^{-10} \text{ (м)} = 1,7 \text{ \AA}. (1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м - ангстрем}).$$

2) релятивистский случай:

$$\text{Импульс частицы } P = m_0 v / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{E_{к2} (E_{к2} + 2 E_0)} ;$$

$$\lambda_2 = hc / \sqrt{E_{к2} (E_{к2} + 2 E_0)} , \text{ но } E_{к2} = E_0,$$

$$\lambda_2 = \frac{hc}{\sqrt{3} m_0 c^2} = \frac{\Lambda_K}{\sqrt{3}} \quad \lambda_2 = 2,14 \cdot 10^{-12} / 1,7 = 1,4 \cdot 10^{-12} \text{ (м)}.$$

$$\text{Ответ: } \lambda_1 = 1,7 \text{ \AA}, \quad \lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}.$$

Задача 5. На узкую щель шириной 1мм направлен параллельный пучок электронов, имеющих скорость 3,65 Мм/с. Учитывая волновые свойства электрона, определить расстояние между двумя максимумами первого порядка в дифракционной картине, полученной на экране, отстоящем на расстоянии 10 см от щели.

$$\text{Дано: } b = 1 \text{ мм} = 10^{-6} \text{ м}, \quad v = 3,65 \text{ Мм/с} = 3,65 \cdot 10^6 \text{ м/с}, \quad L = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}.$$

Найти: $x = ?$

Решение. Учитывая волновые свойства электрона, можно использовать условия дифракции света на щели.

$$b \sin \varphi = (2k+1) \lambda / 2$$

условие максимума, $k=1$.

Т.к. $b \ll L$, то $\varphi \rightarrow 0$ (угол дифракции мал). Тогда $\sin \varphi \approx \tan \varphi$.

Из рисунка: $\tan \varphi = x/2L$,

а из условия максимума $\sin \varphi = 3\lambda/2b$.

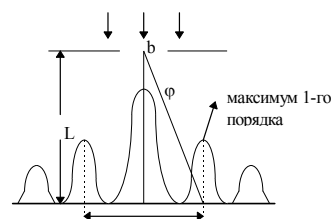
Тогда: $x/2L = 3\lambda/2b$; откуда: $x = 3\lambda L/b$,

где $\lambda = h/mv$ - длина волны де Бройля, соответствующая электрону с импульсом mv , причем $v \ll c$ (классический случай). Окончательно произведя подстановки, получим: $x = 3hL/mvb$.

$$x = 3,6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 0,1 / (9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3,65 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}) = 6 \cdot 10^{-5} \text{ (м)} = 0,06 \text{ (мм)}.$$

Ответ: 0,06 мм.

Задача 6. Узкий пучок нейтронов падает на естественную грань монокристалла алюминия под углом скольжения 5° . Расстояние между атомными плоскостями, параллельными данной грани монокристалла равно 0,2 нм. Какова энергия и



скорость нейтронов, для которых в данном направлении наблюдается максимум первого порядка? Какая температура соответствует этой скорости нейтронов.

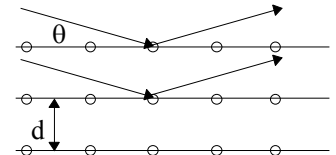
Дано: $\theta=5^\circ$, $d=2 \cdot 10^{-10}$ м, $k=1$, $m_n=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Найти: E_k -? v -? T -?

Решение. Учитывая волновые свойства микрочастиц, поведение нейтронов можно описать волной де Бройля

$$\lambda_3 = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}.$$

Из опытов $\lambda_B = 10^{-10}$ м, то есть $\lambda_B \approx 10^{-10}$ м и сравнима с длиной волны рентгеновских лучей. Поэтому можно использовать формулу Вульфа-Брегга, определяющую максимумы при дифракции рентгеновских лучей на кристаллах:



$$2 d \sin \theta = k\lambda, \quad k=1 \text{ по условию.}$$

$$\lambda = 2 d \sin \theta, \quad 2 d \sin \theta = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}; \quad h^2 = 8d^2 m E_k \sin^2 \theta$$

$$E_k = \frac{h^2}{8d^2 m \sin^2 \theta} \Rightarrow 2d \sin \theta = h/mv, \quad \Rightarrow \quad v = \frac{h}{2dm \sin \theta}.$$

Считая нейтрон подобным молекуле одноатомного газа со средней кинетической энергией поступательного (теплого) движения $E_k = \frac{3}{2} kT$, где $k=1,38/10^{-23}$

Дж/К - постоянная Больцмана. $T=2E_k/3k$

$$E_k = \frac{6,63^2 \cdot 10^{-68}}{8 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 4 \cdot 10^{-10} \cdot 0,087^2} = 1,08 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} = 0,675 \text{ (эВ)}$$

$$v = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 4 \cdot 10^{-10} \cdot 0,087} = 1,13 \cdot 10^4 \text{ (м/с)}$$

$$T = \frac{2 \cdot 1,08 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} = 5,2 \cdot 10^3 \text{ (К)}.$$

Ответ: $E_k=0,675$ эВ, $v=1,13 \cdot 10^4$ м/с, $T=5200$ К.

Задача 7. Маятник движется со скоростью 3 м/с, масса его 0,1 кг. Какая будет неточность в определении координаты груза маятника, если точность определения импульса $\Delta P_x = 10^{-6} P_x$?

Дано: $v=3$ м/с, $m=0,1$ кг, $\Delta P_x = 10^{-6} P_x$

Найти: $\Delta x = ?$

Решение. Если считать, что движение маятника происходит вдоль оси ОХ, то по соотношению Гейзенберга $\Delta P_x \cdot \Delta x \geq \hbar$, где $\hbar = h/2\pi$

Т.к. $\Delta P_x = 10^{-6} P_x$, а $P_x = mv$, то $\Delta x \geq h/2\pi \cdot 10^{-6} mv$.

$$\Delta x \geq 6,63 \cdot 10^{-34} / (2,3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 3) = 3,5 \cdot 10^{-28} \text{ (м)}. \quad \text{Ответ: } \Delta x \geq 3,5 \cdot 10^{-28} \text{ м.}$$

Задача 8. Электрон находится в одномерном бесконечно глубоком потенциальном ящике шириной l . Вычислить наименьшую разность двух соседних энергетических уровней (в электрон-вольтах) электрона в двух случаях: 1) $l = 10$ см, 2) $l = 1$ нм.

Дано: 1) $l = 10$ см, 2) $l = 1$ нм.

Найти: $\Delta E = ?$

Решение. В потенциальном ящике существуют уровни энергии части, значения которых определяются: $E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ml^2}$ ($n=1,2,3,\dots$).

Так как отношение уровней энергии $E_1:E_2:E_3=1:4:9\dots$, то наименьшая разность уровней:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{4\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} - \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} = \frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ml^2}.$$

Произведя вычисления, найдем для двух случаев:

$$1) \Delta E = 1,8 \cdot 10^{-35} \text{ Дж} = 1,1 \cdot 10^{-16} \text{ эВ};$$

$$2) \Delta E = 1,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,1 \text{ эВ}.$$

Задача 9. Определить, во сколько раз увеличится радиус орбиты электрона у атома водорода, находящегося в основном состоянии, при возбуждении его квантом с энергией 12,09 эВ.

Дано: $E_1 = 13,6$ эВ; $\Delta E = \epsilon = 12,09$ эВ

Найти: $r_n/r_1 = ?$

Решение. По теории Бора радиусы круговых орбит, соответствующие различным квантовым состояниям, зависят от главного квантового числа n : $r_n = n^2 \hbar^2 / 4\pi^2 k e^2 m$. Поэтому при переходе атома из основного состояния ($n=1$) в возбужденное состояние с квантовым числом n радиус орбиты электрона возрастает в n^2

раз. Отсюда следует, что необходимо определить главное квантовое число, соответствующее возбужденному состоянию атома.

По второму постулату Бора: $\Delta E = \varepsilon = \Delta E = E_1 - E_n$. Отсюда $E_n = E_1 - \Delta E$,
а $E_n = E_1/n^2$; $n^2 = E_1/E_n$. $n^2 = 13,6/1,51 = 9$
Тогда $r_n/r_1 = n^2 = 9$. *Ответ:* $r_n/r_1 = 9$.

Задача 10. Атомарный водород освещается ультрафиолетовым излучением с длиной волны $1,03 \cdot 10^{-7}$ м. Определите, какие спектральные линии появятся в спектре водорода.

Дано: $\lambda = 1,03 \cdot 10^{-7}$ м; $E_1 = 13,6$ эВ $= 21,76 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Найти: $\lambda_i = ?$

Решение. Согласно второму постулату Бора атом водорода, поглощая квант света с энергией $\varepsilon = h\nu = hc/\lambda$, перейдет из основного состояния с энергией E_1 в возбужденное состояние с энергией E_n . Определим энергию E_n и соответствующее этой энергии главное квантовое число n .

$$h\nu = hc/\lambda = E_1 - E_n; E_n = E_1 - hc/\lambda.$$

$$E_n = 21,76 \cdot 10^{-19} - 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 1,03 \cdot 10^{-7} = 2,54 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} = 1,5 \text{ (эВ)}.$$

Т.к. $E_n = E_1/n^2$; то $n^2 = E_1/E_n = 13,6/1,51 = 9$, и $n = 3$. Атом водорода перешел в возбужденное состояние с энергией E_3 (главное квантовое число $n = 3$). Здесь возможны переходы: $E_3 \rightarrow E_1$, $E_3 \rightarrow E_2$, $E_2 \rightarrow E_1$. По второму постулату Бора $hc/\lambda = E_1 - E_n$, следовательно:

$$1) hc/\lambda_1 = E_3 - E_1; \lambda_1 = hc/(E_3 - E_1);$$

$$2) hc/\lambda_2 = E_3 - E_2; \lambda_2 = hc/(E_3 - E_2);$$

$$3) hc/\lambda_3 = E_2 - E_1; \lambda_3 = hc/(E_2 - E_1).$$

Но $E_1 = -13,6$ эВ, $E_2 = -13,6/4 = -3,4$ эВ, $E_3 = -13,6/9 = -1,5$ эВ.

$$\lambda_1 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / (-1,5 + 13,6) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,027 \cdot 10^{-7} \text{ (м)};$$

$$\lambda_2 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / (-1,5 + 3,4) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 6,542 \cdot 10^{-7} \text{ (м)};$$

$$\lambda_3 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / (-3,4 + 13,6) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,218 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}.$$

Линии с длиной волны λ_1 и λ_3 соответствуют серии Лаймана (ультрафиолетовая область), а линия с длиной волны λ_2 - серии Бальмера (красная линия в видимой области спектра).

Задача 11. Квант света с энергией 15 эВ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в нормальном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон вдали от ядра?

Дано: $\varepsilon=15$ эВ, $E_1=-13,6$ эВ

Найти: $v=?$

Решение. Для выбивания электрона из атома водорода требуется энергия $\Delta E = E_1 - E_\infty$ (энергия ионизации), где $E_\infty = 0$. По закону сохранения энергии - энергия кванта света идет на ионизацию атома и на сообщение электрону кинетической энергии $E_k = mv^2/2$: $\varepsilon = \Delta E + mv^2/2$. Отсюда:

$$v = (2(\varepsilon - E_1)/m)^{1/2}.$$

$$v = (2(15 - 13,6) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) / (9,1 \cdot 10^{-31})^{1/2} = 7 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}. \text{ Ответ: } v = 7 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Задача 12. Рентгеновская трубка работает под напряжением 40 кВ. Найти коротковолновую границу рентгеновского спектра.

Дано: $U=40$ кВ $= 4 \cdot 10^4$ В

Найти: $\lambda_{\min} = ?$

Решение. Коротковолновая граница тормозного рентгеновского излучения определяется из условия: минимальная энергия фотона определяется кинетической энергией электрона, испытавшего торможение

$$h\nu_{\min} = E_k; E_k = eU.$$

Т.к. $v = \frac{c}{\lambda}$, то $\frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU$. Отсюда $\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$.

$$\lambda_{\min} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^4} = 0,31 \cdot 10^{-10} \text{ (м)} = 0,31 \text{ (Å)}. \text{ Ответ: } \lambda_{\min} = 0,31 \text{ Å}.$$

Задача 13. Из какого вещества изготовлен антикатод рентгеновской трубки, если длина волны K_α -линии характеристического спектра равна 0,076 нм?

Дано: $\lambda_{K\alpha} = 0,076$ нм $= 7,6 \cdot 10^{-11}$ м; $R = 1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Найти: $Z=?$

Решение. Длины волн линий данной серии характеристического рентгеновского спектра определяются по закону Мозли:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Для К-серии $\sigma=1$, $n_1=1$. Для линий K_α $n_2=2$. Поэтому

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{3}{4} R(Z - 1)^2; \quad (Z - 1)^2 = \frac{4}{3\lambda_{K_\alpha} R}.$$

$$Z = 1 + \sqrt{\frac{4}{3\lambda_{K_\alpha} R}}. \quad \text{Отсюда } Z = 1 + \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 0,76 \cdot 10^{-10} \cdot 1,09 \cdot 10^7}} = 41$$

Из таблицы Менделеева определяем, что этот порядковый номер соответствует элементу ниобию.

Задача 14. Найти постоянную экранирования L-серии рентгеновских лучей, если известно, что при переходе электрона в атоме вольфрама с М на L слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны 143 пм.

Дано: $n_1=2$, $n_2=3$, $\lambda=143$ пм= $143 \cdot 10^{-12}$ м, $Z=74$

Найти: $\sigma=?$

Решение. По закону Мозли:

$$\frac{1}{\lambda_{L_\alpha}} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{5}{36} R(Z - \sigma)^2.$$

$$(Z - \sigma)^2 = \frac{36}{5R\lambda_{L_\alpha}}, \quad \sigma = Z - \sqrt{\frac{36}{5R\lambda_{L_\alpha}}} = 6.$$

Ответ: $\sigma=6$.

Задача 15. Какой изотоп образуется из радиоактивного тория Th_{90}^{292} в результате четырех α - и двух β -распадов.

Дано: $X_Z^A = \text{Th}_{90}^{292}$

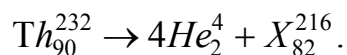
Найти: $Y=?$

Решение. 1. При α -распаде ядро теряет α -частицу (${}_2\text{He}^4$) и превращается в новое ядро, порядковый номер и массовое число которого определяется по законам сохранения:

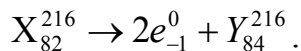
$$X_Z^A \rightarrow \text{He}_2^4 + Y_{z-2}^{A-4}.$$

При β -распаде ядро теряет электрон: $X_Z^A \rightarrow e_{-1}^0 + Y_{z+1}^A$.

2. При четырех α -распадах заряд уменьшается на 8 единиц, а массовое число на 16:



При двух β -распадах заряд увеличивается на 2 единицы, массовое число остается неизменным:



Ответ: $Y_{84}^{216} = \text{Po}_{84}^{216}$ - полоний.

Задача 16. При бомбардировке азота N_7^{14} нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается протон. Написать реакцию. Полученное ядро оказывается β -радиоактивным. Написать реакцию.

Решение. Согласно законам сохранения заряда и масс:



Задача 17. Вычислить энергию реакции $\text{Be}_4^9 + \text{H}_1^2 \rightarrow \text{He}_2^4 + \text{Li}_3^7 + Q$

Решение. Энергетический выход ядерной реакции

$$Q = [(m_{\text{Be}} + m_{\text{H}}) - (m_{\text{He}} + m_{\text{Li}})]c^2,$$

где $m_{\text{Be}}c^2$, $m_{\text{H}}c^2$, - энергии покоя исходных ядер и ядер продуктов реакции.

$$Q = 931,4 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot [(9,013 + 2,01474) \text{ а.е.м.} - (4,00388 + 7,01823) \text{ а.е.м.}] = \\ = 931,4 \text{ МэВ/а.е.м.} \cdot (11,02774 - 11,02211) \text{ а.е.м.} = 7,11 \text{ МэВ}.$$

Ответ: $Q = 7,11 \text{ МэВ}$.

Задача 18. Какая масса урана U_{92}^{235} расходуется в сутки на атомной электростанции мощностью 5000 кВт? К.п.д. принять равным 17%. Считать, что при каждом акте распада выделяется энергия 200 МэВ.

$$\text{Дано: } P = 5 \cdot 10^6 \text{ Вт, } Q_1 = 200 \text{ МэВ} = 2 \cdot 10^8 \text{ эВ} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж; } \eta = 0,17; \\ \mu = 235 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль; } N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}; t = 24 \text{ ч} = 86400 \text{ с}.$$

Найти: $m = ?$

Решение. К.п.д. электростанции: $\eta = A_{\text{пол}} / A_{\text{зат}}$,

где $A_{\text{пол}}$ - полезная работа: $A_{\text{пол}} = P \cdot t$; $A_{\text{зат}}$ - затраченная энергия, выделяющаяся при распаде ядер, содержащихся в массе m урана: $A_{\text{зат}} = Q_1 \cdot N$,

а $N = (m/\mu)N_A$ - число распавшихся ядер.

$$\eta = \frac{Pt\mu}{Q_1 m N_A} . \text{ Отсюда } m = \frac{Pt\mu}{Q_1 \eta N_A}$$

$$m = 5.106.8,64.10^4 235.10^{-3} / (0,17. 3,2.10^{-11} . 6,02.10^{23}) = 31.10^{-3} (\text{кг}) = 31 \text{ г}.$$

Задача 19. Ядро урана U_{92}^{235} при делении освобождает энергию 200 МэВ. При взрыве урановой бомбы успевает прореагировать около 1,5 кг урана. Какова масса эквивалентной тротиловой бомбы, если теплотворная способность тротила 4,1 МДж/кг?

Дано: $Q_1 = 200$ МэВ = $3,2.10^{-11}$ Дж, $m_1 = 1,5$ кг, $\mu = 235.10^{-3}$ кг/моль, $N_A = 6,02.10^{23}$ моль $^{-1}$, $q = 4,1$ МДж/кг = $4,1.10^6$ Дж/кг.

Найти: $m_2 = ?$

Решение. При делении ядер урана, содержащихся в массе m_1 , выделяется энергия $Q = Q_1 \cdot N$, где $N = (m_1 / \mu) / N_A$, т.е. $Q = (Q_1 m_1 / \mu) / N_A$.

При взрыве тротиловой бомбы выделяется энергия $Q' = q m_2$, где q - количество теплоты, выделяющееся при сгорании 1 кг тротила. По условию $Q = Q'$:

$$\frac{Q_1 m_1 N_A}{\mu} = q m_2 .$$

$$\text{Отсюда: } m_2 = \frac{Q_1 m_1 N_A}{\mu q} ; m_2 = \frac{3,2.10^{-11} \cdot 1,5 \cdot 6,02.10^{23}}{235.10^{-3} \cdot 4,1 \cdot 10^6} = 3.10^7 (\text{кг}) = 30000 (\text{т}).$$

Ответ: $m_2 = 30000$ т.

Задача 20. Протоны, ускоренные разностью потенциалов 6,8 МВ, бомбардируют неподвижную литиевую мишень. При столкновении протона с ядром изотопа лития ${}^7_3\text{Li}$ образуются две α -частицы, разлетающиеся симметрично по отношению к направлению пучка протонов. Определить кинетическую энергию и угол разлета α -частиц.

Дано: $U = 6,8 \text{ МВ} = 6,8.10^6 \text{ В}$; $q_p = 1,6.10^{-19} = q_e$.

Найти: $E_{\alpha} = ?$ $\varphi = ?$

Решение. Запишем ядерную реакцию взаимодействия протонов с ядрами лития:

$$Li_3^7 + H_1^1 \rightarrow 2He_2^4.$$

По закону сохранения энергии для этой реакции:

$$E_{\kappa H} + m_H c^2 + m_{Li} c^2 = 2 m_{He} c^2 + E_{\kappa \alpha}.$$

При этом $E_{кН}$ - кинетическая энергия протона. Найдем эту энергию из условия:

$$E_{кН} = q_p U. \text{ Тогда } E_{к\alpha} = \frac{q_p + c^2(m_H + m_{Li} + 2m_{He})}{2}$$

$$E_{к\alpha} = [6,8 \text{ МэВ} + 931,4 (\text{МэВ/а.е.м.}) (1,007825 + 7,016 - 2 \cdot 4,0026) \text{ а.е.м.}] / 2 = 12 \text{ МэВ}.$$

Угол разлета α -частиц найдем из закона сохранения импульса: $\vec{P}_H = \vec{P}_\alpha + \vec{P}_\alpha$.

$$\text{В проекции на } OX: P_H = 2 P_\alpha \cos(\varphi/2).$$

Сравним кинетическую энергию α -частицы с ее энергией покоя:

$$m_{He} c^2 = 4,0026 \text{ а.е.м.} \cdot 931,4 \text{ МэВ/а.е.м.} = 3,7 \cdot 10^3 \text{ МэВ}.$$

$E_{к\alpha} \ll m_{He} c^2$, т.е. α -частица нерелятивистская. Поэтому $P_\alpha = \sqrt{2m_\alpha E_{K_\alpha}}$, и

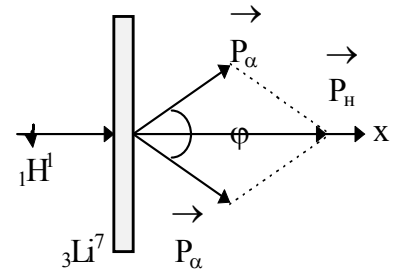
$$P_H = \sqrt{2m_H E_{K_H}}.$$

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{m_H E_{kH}}{m_\alpha E_{k\alpha}}}$$

$$\cos(\varphi/2) = (1,0078 \cdot 6,8 / 4,0026 \cdot 12)^{0,5} / 2 = 0,188,$$

$$\varphi/2 = 79^\circ; \quad \varphi = 158^\circ$$

Ответ: $\varphi = 158^\circ$.



1.2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельного решения

1. Работа выхода у лития равна 2,46 эВ. Найти красную границу фотоэффекта.
2. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 639 нм. Найти работу выхода.
3. Какой скоростью должен обладать электрон, чтобы иметь такой же импульс, как и фотон, соответствующий излучению с длиной волны 0,1 нм.
4. Работа выхода серебра равна 4,28 эВ. Определить, до какого потенциала зарядится серебряный шар, изолированный от других тел, если его облучать светом с длиной волны 10^{-7} м.
5. Изобразить зависимость фототока насыщения от напряженности электрического поля в падающей световой волне.

6. Точечный источник света мощности P испускает световые волны с длиной волны λ . Определить: а) среднюю плотность потока фотонов на расстоянии r от источника; б) концентрацию фотонов на этом расстоянии.
7. Какую энергию приобретает электрон отдачи в эффекте Комптона при рассеянии фотона, отвечающего длине волны $0,1$ нм, на угол 90° ?
8. Рассеяние на электронах электромагнитного излучения с длиной волны $0,24$ нм наблюдается под углом 60° . Найти длину волны рассеянного излучения и угол отлета электронов отдачи.
9. Показать, что процесс, при котором покоящийся свободный электрон поглощает налетающий на него фотон, не возможен.
10. Возможен ли процесс, при котором кинетическая энергия электрона отдачи равнялась бы энергии налетающего фотона?
11. Какую энергию должны иметь фотоны, чтобы при комптоновском рассеянии на свободных покоящихся электронах на угол 90° длина волны отвечающего им излучения испытывала удвоение?
12. Какую энергию имеет квант излучения с длиной волны, равной комптоновской длине волны электрона?
13. Какова длина волны Де-Бройля протона и электрона, энергия которых равна средней кинетической энергии теплового движения молекул при комнатной температуре?
14. Определить длину волны Де-Бройля электрона, кинетическая энергия которого равна $1,6 \cdot 10^{-17}$ Дж.
15. Найти энергию и импульс фотона, отвечающего длине волны излучения $0,1$ нм, а также кинетическую энергию и импульс электрона, длина волны Де-Бройля которого имеет тоже значение.
16. Чему равна длина волны Де-Бройля для электрона, релятивистская масса которого равна $5,25 \cdot 10^{-30}$ кг?
17. Чему равна длина волны Де-Бройля и волновое число k для электрона с кинетической энергией 240 эВ?

18. Сравнить длины волн Де-Бройля для электрона и протона, имеющих одинаковую скорость.
19. Положение бусинки массой 1 г и положение электрона определены с одинаковой погрешностью 10^{-7} м. Оценить неопределенность скорости бусинки и электрона.
20. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка 10^{-10} м (атом) и 10^{-15} м (атомное ядро).
21. Частица массой m находится в состоянии с минимальной энергией в прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной L . Оценить минимальную энергию частицы.
22. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии 10^{-8} с. При переходе в основное состояние атом излучает фотон, соответствующий длине волны излучения 0,5 мкм. Оценить (естественную) ширину линии излучения.
23. Для электрона в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм найти энергию первых двух стационарных состояний и энергию фотона, излучаемого при переходе электрона с первого возбужденного состояния в основное.
24. Для частицы массой m в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной L вывести выражение для вероятности, с которой она может быть обнаружена в области $0-L/3$ в состоянии n .
25. Для частицы массой m найти спектр собственных значений энергии в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме.
26. Квант с энергией 20 эВ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. С какой скоростью будет двигаться электрон?
27. Вычислить скорость, которую приобретает атом водорода в результате излучения кванта света при переходе электрона со второго уровня на первый. Какая при этом будет поправка к длине волны излучения?

28. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать границу серии Бальмера, энергию ионизации, длину волны резонансной линии излучения.
29. Чему равны энергии ионизации ионов He^+ и Li^{++} ?
30. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии $2p$.
31. Найти наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии $3d$.
32. Для мезоатома водорода (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить среднее и наиболее вероятное расстояние между мезоном и ядром в основном состоянии.
33. Для водородоподобного мезоатома (в нем вместо электрона движется мезон, имеющий тот же заряд, но массу в 207 раз большую) вычислить энергию связи в основном состоянии, если ядром является а) протон, б) дейтрон.
34. Для атома позитрония (система из позитрона и электрона, движущихся около центра масс) рассчитать среднее и наиболее вероятное расстояние между частицами в основном состоянии.
35. Выразить проекцию спинового момента импульса электрона на плоскость xu через квантовые числа s и m_s .
36. Найти угол между спиновым и орбитальным моментами импульса электрона в состояниях: а) p , б) d , в) f .
37. Найти и обозначить все возможные состояния электрона в атоме водорода для значений главного квантового числа: а) $n=2$, б) $n=3$, в) $n=4$.
38. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для: а) двух p -электронов, б) двух d -электронов, в) двух f -электронов. Электроны считать неэквивалентными.
39. Найти все значения вектора полного момента импульса в приближении (L-S) – связи для: а) двух p -электронов, б) двух d -электронов, в) двух f -электронов. Электроны считать неэквивалентными.

40. Найти все значения вектора полного магнитного момента в приближении (L-S) – связи для: а) двух p-электронов, б) двух d-электронов, в) двух f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
41. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для: а) трех p-электронов, б) трех d-электронов, в) трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
42. Найти все значения вектора полного момента импульса в приближении (L-S) – связи для: а) трех p-электронов, б) трех d-электронов, в) трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
43. Найти все значения вектора полного магнитного момента в приближении (L-S) – связи для: а) трех p-электронов, б) трех d-электронов, в) трех f-электронов. Электроны считать неэквивалентными.
44. Найти все возможные электронные термы, реализующиеся при сложении моментов в приближении (L-S) – связи, привести спектроскопические символы термов для системы электронов: а) один s-электрон, один p-электрон, один d-электрон, б) один s-электрон, два d-электрона, в) один p-электрон, два d-электрона.
45. Некоторый атом находится в состоянии, для которого $S = 2$, полный механический момент $M = \sqrt{2}\hbar$, а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.
46. Найти полный механический момент атома в состоянии с $S = 3/2$ и $L = 2$, если известно, что магнитный момент его равен нулю.
47. Определить максимально возможный орбитальный механический момент атома в состоянии, мультиплетность которого равна пяти и кратность вырождения по J – семи. Написать спектральное обозначение соответствующего терма.
48. Вычислить фактор Ландэ для следующих термов: а) ${}^6F_{1/2}$, б) ${}^4D_{1/2}$, г) 5F_2 .
49. Некоторый атом находится в состоянии, для которого $S = 2$, полный механический момент $M = \sqrt{2}\hbar$, а магнитный момент равен нулю. Написать спектральный символ соответствующего терма.

50. Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент $\hbar\sqrt{20}$. Каким может быть соответствующее квантовое число L ?
51. Написать спектральное обозначение терма, кратность вырождения которого равна семи, а квантовые числа L и S связаны соотношением $L = 3S$.
52. Вычислить в магнетонах Бора магнитный момент атома в состоянии ${}^2D_{3/2}$.
53. Какие из переходов запрещены правилами отбора для электро-дипольного излучения: ${}^2D_{3/2} - {}^2P_{1/2}$, ${}^2D_{3/2} - {}^2S_{1/2}$, ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{3/2}$, ${}^2F_{7/2} - {}^2D_{5/2}$, ${}^2D_{5/2} - {}^2P_{1/2}$?
54. Длина волны дублета желтой линии натрия ($3^2P - 3^2S$) равны 589.6 нм и 589.0 нм. Определить тонкое расщепление терма 3^2P (расстояние между компонентами тонкой структуры терма) и величину постоянной расщепления A .
55. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
56. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для первой побочной («резкой») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
57. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома лития, привести спектроскопическую индексацию термов.
58. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для второй побочной («диффузной») серии атома натрия, привести спектроскопическую индексацию термов.
59. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Лаймана атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.
60. С учетом тонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для серии Бальмера атома водорода, привести спектроскопическую индексацию термов.

61. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома водорода (спин ядра $I=1/2$).
62. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома водорода (спин ядра $I=1/2$).
63. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Лаймана атома дейтерия (спин ядра $I=1$).
64. С учетом тонкой и сверхтонкой структуры термов качественно изобразить схему уровней и оптических переходов для головной линии серии Бальмера атома дейтерия (спин ядра $I=1$).
65. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), указать и расшифровать символ электронного терма для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$.
66. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), найти множитель Ланде g_J для основного состояния атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$.
67. Считая, что результирующий момент электронной оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), в рамках основной электронной конфигурации определить состав электронных термов, их взаимное расположение на энергетической диаграмме, порядок следования компонентов тонкой структуры термов для атома, порядковый номер которого в периодической системе элементов $Z=2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15$.
68. На сколько компонент расщепится пучок атомов в опыте Штерна и Герлаха, если порядковый номер элемента в периодической системе элементов $Z=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15$. Считать, что результирующий момент электронной

оболочки образуется по принципу связи Рассела – Саундерса (L-S), рассмотреть случаи слабого и сильного магнитного поля.

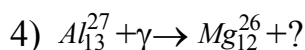
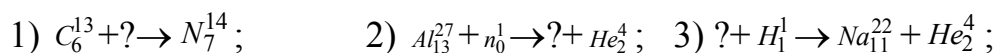
69. Качественно представить схему уровней энергии и обозначить электронные переходы, дающие основные спектральные серии для атома гелия.

70. Написать с помощью правил Хунда спектральный символ основного терма атома, единственная незаполненная подоболочка которого заполнена на $1/3$ и $S=1$.

71. Возбужденный атом имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p 3d$ и находится при этом в состоянии с максимально возможным полным механическим моментом. Найти магнитный момент атома в этом состоянии.

72. Единственная незаполненная оболочка некоторого атома содержит три электрона, причем основной терм атома имеет $L = 3$. Найти с помощью правил Хунда спектральный символ основного состояния данного атома.

73. Написать недостающие обозначения в ядерных реакциях:



74. Французские ученые Ирэн и Фридерик Жолио-Кюри, открывшие искусственную радиоактивность, подвергли бомбардировке α -частицами бор B_5^{10} , алюминий Al_{13}^{27} и магний Mg_{12}^{24} . Написать ядерные реакции.

75. Какой изотоп образуется из радиоактивного тория Th_{90}^{232} в результате четырех α - и двух β -распадов.

76. Ядро изотопа висмута Bi_{83}^{210} получилось из другого ядра после одного α -распада и одного β -распада. Что это за ядро?

77. В какой элемент превращается U_{92}^{239} после двух β -распадов и одного α -распада?

78. В результате захвата α -частицы ядром изотопа N_7^{14} образуется неизвестный элемент и протон. Написать реакцию и определить неизвестный элемент.

79. Элемент тория Th_{90}^{232} в результате радиоактивного распада превращается в изотоп свинца Pb_{82}^{208} . Сколько α - и β - частиц выбрасывает при этом каждый атом?
80. Радиоактивный элемент нептуния Np_{93}^{241} , являющиеся родоначальником искусственно полученного радиоактивного семейства нептуния, в результате распада превращается в стабильный изотоп висмута Bi_{83}^{209} . Найти число α - и β -распадов.
81. При бомбардировке изотопа лития Li_3^6 дейтонами образуются две α -частицы. При этом выделяется энергия, равная 22,3 МэВ. Зная массы дейтона и α -частицы, найти массу изотопа лития Li_3^6
82. Ядро урана U_{92}^{238} , испуская α -частицу с энергией 4,2 МэВ, превращается в ядро тория Th_{90}^{234} . Определить массу атома тория, если масса атома U_{92}^{238} равна 238,05353 а.е.м.
83. Выделяется или поглощается энергия при следующих ядерных реакциях:
 1) $N_7^{14} + He_2^4 \rightarrow O_8^{17} + H_1^1$; 2) $Li_3^6 + H_1^1 \rightarrow He_2^4 + He_2^3$; 3) $Li_3^7 + He_2^4 \rightarrow B_5^{10} + n_0^1$?
84. Ядро лития Li_3^7 , захватывая протон, распадается на две α -частицы. Написать ядерную реакцию и определить энергию, выделяющуюся при этой реакции.
85. Ядро бериллия Be_4^9 , захватывая дейтрон, превращается в ядро бора B_5^{10} . Написать уравнение реакции и определить выделяющуюся энергию.
86. В реакции $N_7^{14}(\alpha, p)$ кинетическая энергия α -частицы равна 7,7 МэВ. Найти, под каким углом к направлению движения α -частицы вылетает протон, если известно, что его кинетическая энергия равна 5,7 МэВ.
87. При взрыве водородной бомбы протекает термоядерная реакция образования гелия из дейтерия и трития. Написать ядерную реакцию. Найти энергию, выделяющуюся при этой реакции. Какую энергию можно получить при образовании 1 г гелия?

88. Сколько энергии можно получить при расщеплении урана U_{92}^{235} массой 1 г, если при расщеплении каждого ядра урана выделяется энергия 200 МэВ?
89. Мощность уранового реактора 1МВт. Сколько урана ${}_{92}U^{235}$ потребляет он за час, если при делении каждого ядра урана выделяется энергия 200 МэВ.
90. Определить энергию, выделяющуюся при образовании из протонов и нейтронов гелия массой 1 г, если при образовании одного ядра гелия выделяется энергия 27,3 МэВ.

1.3 Содержание самостоятельной работы

В самостоятельную работу включается: самостоятельное изучение некоторых вопросов (тем), подготовка к практическим занятиям, контрольным работам и экзамену.

1.3.1 Темы для самостоятельного изучения

1. Селективный фотоэффект.
2. Опыты Иоффе и Добронравова.
3. Опыт Боте.
4. Опыты Вуда. Резонансное свечение и люминесценция.
5. Опыты Тартаковского и Томсона.
6. Эффект Штарка.
7. Эффект Оже.
8. Параводород и ортоводород.
9. Датировка событий методами радиоактивного распада.
10. Дейтрон. Свойства нуклон-нуклонного взаимодействия.
11. Однонуклонная модель Шмидта для нахождения спина и магнитного момента ядра.
12. Странность. Рождение и распад странных частиц.
13. Несохранение четности в слабых взаимодействиях.
14. Слабые распады лептонов и кварков.
15. Опыт Райнеса – Коуэна. Мюонное и таонное нейтрино. Гипотеза W – бозонов. Калибровочные бозоны. Модель универсального слабого взаимодействия. Константы взаимодействия.

16. Стандартная модель электрослабого взаимодействия Вайнберга – Салама – Глэшоу.
17. Пространственная инверсия. Р – четность.
18. Первые мгновения Вселенной. Дозвездный синтез ядер.
19. Объединение взаимодействий. Нестабильность протона.
20. Нуклеосинтез во Вселенной. Ядерные реакции в звездах.
21. Основные идеи теории Великого объединения.
22. Вселенная, свидетельства большого взрыва.
23. Барионная асимметрия, отсутствие антивещества. Инфляция.
24. Обращение времени. СРТ теорема.

1.3.2. Рекомендуемая литература

1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. : учеб. пособие : рек. Мин. обр. РФ / Д. М. Сивухин. - 3-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2006 - .
Т. 5 : Атомная и ядерная физика. - 2006. - 783 с.
2. Шпольский, Э.В. Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику [Электронный ресурс] : учебник. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 558 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=442 .
3. Шпольский, Э.В. Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. [Электронный ресурс] : учебник. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2010. — 442 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443
4. Михайлов М.А. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ М.А. Михайлов— Электрон. текстовые данные.— М.: Прометей, 2011.— 94 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8306.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Михайлов М.А. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Часть 2. Элементарные частицы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ М.А. Михайлов— Электрон. текстовые данные.— М.: Прометей, 2013.— 28 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58212.html>. — ЭБС «IPRbooks»

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

2.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации студенту по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к практическим (семинарским) занятиям и экзаменам. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения. Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками, используя при этом общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

2.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Практическое занятие – вид учебных занятий, направленное на приобретение первоначальных практических навыков в решении различного вида задач в рамках изучаемой темы. А умение решать задачи – важный критерий усвоения теоретического материала. Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции по физике.

В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычислений, работы со

справочной литературой, таблицами и другими источниками. Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности, особый метод подхода к физическим явлениям. Последнее тесным образом связано с методологией физики как науки.

На практических занятиях используются несколько видов задач и планы их решения:

- 1) задачи для закрепления и контроля знаний;
- 2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;
- 3) нестандартные задачи и задачи повышенной сложности.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях):

- 1) прочесть внимательно условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (при затруднениях в интерпретации следует обратиться к учебнику, посмотреть решения предыдущих задач, проконсультироваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращенном виде условие задачи;
- 4) сделать чертёж, если это необходимо (при наличии векторных величин и применении для решения задачи законов формулируемых в векторной форме, например закона сохранения импульса);
- 5) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл, установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;
- 6) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;
- 7) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения, он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

- 8) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;
- 9) проанализировать полученный ответ, выяснить, как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

2.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

При изучении дисциплин модуля «Общая физика» в самостоятельную внеаудиторную работу могут включаться следующие виды деятельности:

<i>для овладения знаниями</i>	<i>для закрепления и систематизации знаний</i>	<i>для формирования умений</i>
чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы)	работа с конспектом лекции	решение задач и упражнений по образцу
составление плана текста	повторная работа над учебным материалом	решение вариантных задач и упражнений
конспектирование текста	составление таблиц для систематизации учебного материала	выполнение расчетно-графических работ
работа со словарями и справочниками	изучение нормативных материалов	решение ситуационных профессиональных задач
работа с нормативными документами	ответы на контрольные вопросы	подготовка к выполнению физического эксперимента
научно-исследовательская работа	аналитическая обработка текста	проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности
использование аудио- и	подготовка сообщений	подготовка докладов по

видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др.	к выступлению на семинаре, конференции	темам
создание мультимедийных презентаций	подготовка рефератов, докладов	рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием мультимедийной техники

Ниже представлены рекомендации по организации работы по основным видам самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов по дисциплине.

2.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины. Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения. Однако при использовании Интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации: необходимо критически относиться к информации; следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть; необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

2.3.2 Подготовка к практическим занятиям

При подготовке к практическому занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. Следует изучить конспект лекции, а также конспект материала самостоятельного изучения темы или дополнительные рекомендованные преподавателем материалы. При этом необходимо выяснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте лекций по данному вопросу.

При подготовке к практическому занятию студенту рекомендуется использовать лекционный материал и учебную литературу, откуда в отдельную тетрадь выписать:

- основные законы, условия их выполнения;
- пояснить физический смысл величин, входящих в закон, обозначить единицы измерения;
- привести графические иллюстрации, поясняющие физический смысл величин, входящих в закон;
- численные значения постоянных, входящих в математическую формулу закона;
- кратко перечислить практические случаи применения закона.

Такая подготовка способствует успешному ответу в ходе *письменного опроса*, который проводится преподавателем для закрепления изучаемого материала, а также при решении задач на практическом занятии.

2.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ

Для успешного решения домашних задач и расчетно-графических работ необходимо просмотреть записи решений задач, выполненных в аудитории. Приступая к решению любой задачи, следует придерживаться рекомендаций, приведенных в пункте 1.2.

Домашнее задание выполняется в тетради для практических занятий, а и расчетно-графические работы оформляются на отдельных листах формата А4. На одном листе пишется полностью условие задачи, краткое условие, решение; чертежи выполняются аккуратно с использованием чертежных инструментов. Все численные данные переводятся в систему СИ. В конце пишется ответ.

2.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций.

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.

2. Внимательно прочитайте текст.

3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.

4. Выделите главное, составьте план.

5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.

6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только те-

зисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

2.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю

Подготовка к коллоквиуму. Коллоквиум – одна из форм контроля полученных теоретических знаний. Коллоквиум это вид занятия, на котором обсуждаются отдельные части, разделы, темы, вопросы изучаемого курса.

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и отметить в нем имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие-то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем.

Для лучшего усвоения основных физических законов рекомендуется прописывать формулировки и их математические интерпретации (формулы) несколько раз на отдельном листе, а затем воспроизводить в контексте ответа на вопрос.

Для самопроверки рекомендуется провести следующий опыт: при закрытой тетради и т.п., положив перед собой список вопросов для подготовки к коллоквиуму, попытаться ответить на любые вопросы из этого списка.

Подготовка к контрольной работе. Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

Подготовка к контрольной работе включает: повторение теоретического материала по тематике контрольной работы. Особое внимание следует уделить запоминанию основных законов и примеров их применения. Для этого следует еще раз рассмотреть решения задач, которые рассматривались на практических занятиях и при решении домашних заданий или выполнении расчетно-графических работ.

Подготовка к тестированию. В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содер-

жанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятыми), следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

- прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;
- лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;
- очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;
- если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;
- думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;
- многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что

позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;

- рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

- процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

Подготовка к промежуточной аттестации. Формами промежуточной аттестации (контроля) являются экзамен и зачет. Экзамен (зачет) может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Основная цель подготовки к экзамену (зачету) – достичь понимания физических законов и явлений, а не только механически заучить материал. Рекомендации по подготовке к экзаменационному (зачетному) тесту представлены выше.

Подготовка к устной сдаче экзамена (зачета) включает в себя несколько основных этапов:

- просмотр программы учебного курса;
- определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;
- использование конспектов лекций, материалов практических занятий;
- консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену (зачету) начинается с первого занятия по дисциплине, на котором аспиранты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде

всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена (зачета). В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.

3. За несколько дней перед экзаменом (зачетом) распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.

4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию. В процессе подготовки к экзамену (зачету) при изучении того или иного физического закона, кроме формулировки и математической записи закона, следует обратить внимание на опыты, которые обнаруживают этот закон и подтверждают его справедливость, границы и условия его применимости.

Для лучшего запоминания материала целесообразно работать с карандашом в руках, записывая выводимые формулы, изображая рисунки, схемы и диаграммы в отдельной тетради или на листах бумаги.

5. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно вывести формулы, воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.

6. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.

7. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и количественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

2.3.6 Подготовка к другим видам работ

Подготовка реферата. Цель реферата – раскрыть предложенную тему путем приведения каких-либо аргументов. Реферат не может содержать много идей. Он отражает только один вариант размышлений и развивает его. При написании

реферата старайтесь четко отвечать на поставленный вопрос и не отклоняйтесь от темы.

Написание реферата предполагает изложение самостоятельных рассуждений по теме, выбранной студентом и связанной с тематикой курса.

Прежде чем приступить к написанию реферата, проанализируйте имеющуюся у вас информацию, а затем составьте тезисный план. рекомендуется придерживаться следующей структуры реферата: введение, основная часть (развитие темы), заключение, библиографический список.

Введение должно включать краткое изложение вашего понимания и подход к теме реферата.

Основная часть предполагает развитие структурированной аргументации и анализа по теме, а также их логическое обоснование исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. Следует избегать повторов.

Необходимо писать коротко, четко и ясно, придерживаясь следующих требований:

- структурно выделять разделы и подразделы работы;
- логично излагать материал;
- обосновывать выводы;
- приветствуется оригинальность выводов;
- отсутствие лишнего материала, не имеющего отношения к работе;
- способность построить и доказать вашу позицию по определенным проблемам на основе приобретенных вами знаний;
- аргументированное раскрытие темы на основе собранного материала.

Заключение. В этом разделе должна содержаться информация о том, насколько удалось достичь поставленной цели. Эта часть реферата может представлять собой основные выводы по каждому разделу основной части реферата, в ней отмечается значимость выполненной работы, предложения по возможному практическому использованию результатов работы и целесообразность ее продолжения.

Библиографический список должен содержать только те источники информации, которые имеют прямое отношение к работе и использованы в ней. Библиографический список должен быть составлен в соответствии со стандартом организации по оформлению учебных работ (СТО СМК) АмГУ.

Подготовка презентации и доклада. Доклад – сообщение по выбранной теме. Любое устное выступление должно удовлетворять *трем основным критериям*, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

это критерий правильности, т.е. соответствия языковым нормам;

критерий смысловой адекватности, т.е. соответствия содержания выступления реальности;

критерий эффективности, т.е. соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Докладчик должен знать и уметь: сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме, отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный регламент.

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы. Само выступление должно состоять из трех частей – вступления (10-15% общего времени), основной части (60-70%) и заключения (20-25%).

Вступление включает в себя представление авторов, название доклада, цель, задачи, актуальность темы, четкое определение стержневой идеи.

Основная часть. Раскрывается суть затронутой темы – строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно материала для раскрытия темы. План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров. Логическая структура строится с помощью наглядных пособий, визуальных материалов (презентаций).

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Для подготовки презентации рекомендуется использовать: PowerPoint, MSWord, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Компь-

ютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS PowerPoint.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию. Рекомендуется придерживаться следующей последовательности подготовки презентации.

1. Четко сформулировать цель, задачи и актуальность выбранной темы.

2. Определить формат презентации.

3. Отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку подачи информации. Обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего (на первом слайде), краткие выводы по теме доклада (на завершающем слайде).

4. Определить ключевые моменты и содержание текста и выделить их.

5. Определить виды визуализации (иллюстрации, таблицы, графики, диаграммы и т.д.) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой информации.

6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер). Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации, она должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24, для информации - для информации не менее 18. Яркие краски, сложные цветные построения, излишняя анимация, выпрыгивающий текст или иллюстрация — не самое лучшее дополнение к научному докладу. Таблицы и диаграммы размещаются на светлом или белом фоне. Также нежелательны звуковые эффекты в ходе демонстрации презентации. Для лучшей ориентации в презентации по ходу выступления лучше пронумеровать слайды. Рекомендованное общее число слайдов в презентации от 17 до 22.

7. Проверить визуальное восприятие презентации.

8. После подготовки презентации необходима репетиция выступления для согласования текста доклада и предоставляемой в презентации визуальной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев, И.В. Курс физики (в 3 тт.). Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 308 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/98247>.

2. Иродов И.Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие: рек. НМС Мин. обр. РФ/ И. Е. Иродов. -10-е изд., стер.. -СПб.: Лань, 2006.-416 с.

3. Сборник задач по общему курсу физики : [в 5 кн.]/ В. Л. Гинзбург [и др.]. -5-е изд., стер.. -М. : Физматлит. -2006.

Кн. 5: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц/ под ред. Д. В. Сивухина.-184 с.

4. Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.].— Москва: Изд-во РГТУ, 2013.— 125 с. — Режим доступа:

<https://www.rsuh.ru/upload/iblock/c70/c70c10002f5932ab48798aae10f5a351.do>

5. Методические рекомендации при подготовке к занятиям по физике (лекциям практике, решения задач, лабораторным работам) [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Е. А. Попкова.— Рыбинск: ООО Изд-во «РМП», 2009. — 54 с. — Режим доступа: <http://www.rsatu.ru/sites/physics/?doc=1491334469>

6. Лызь, Н.А. Тенденции развития высшего образования [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Н.А Лызь, А.Е. Лызь. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. — 48 с. — Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/2332317/>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Содержание дисциплины	5
1.1 Краткое содержание курса лекций	5
1.2.1 Темы практических (семинарских) занятий	13
1.2.2 Примеры решения задач	14
1.2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельного решения	15
1.3 Содержание самостоятельной работы	25
1.3.1 Темы для самостоятельного изучения	33
1.3.2 Рекомендуемая литература	35
2. Организация занятий по дисциплине	36
2.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции	36
2.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям	37
2.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы	39
2.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением	40
2.3.2 Подготовка к практическим занятиям	41
2.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ	42
2.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем	42
2.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю	43
2.3.6 Подготовка к другим видам работ	46
Библиографический список	50

Оксана Васильевна Зотова,

доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук;

Ирина Анатольевна Голубева,

доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук