

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АТОМНАЯ ФИЗИКА

Методические указания по выполнению практических занятий
Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Фундаментальная и прикладная физика»

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Занятие №1. Предмет и методы атомной физики.....	5
Занятие №2- 4. Волны и кванты.	7
Занятие №5- 7. Атом водорода по Бору.....	9
Занятие №8- 10. Частицы и волны	11
Занятие №11-15. Основы квантовой механики	13
Занятие №16-18. Одноэлектронный атом	15
Занятие №19-21. Многоэлектронный атом.....	16
Занятие №22-24. Рентгеновские спектры.....	18

Введение

Цель занятий. Глубокое усвоение, конкретизация и закрепление знаний в области атомной физики, формирование умений и навыков применения их на практике, развитие логического мышления и приобретение навыков самостоятельной работы.

Организационная форма занятий – комбинированная, сочетающая элементы семинара с выполнением индивидуальных заданий. Первоначально, рассматриваются основные теоретические вопросы по теме занятия, после чего организовывается решение типовых заданий. При этом предполагается широкое использование интерактивных методов – эвристических бесед, использование задач-вопросов при обсуждении теоретических положений. При решении задач используются как коллективные методы работы с элементами «мозгового штурма», так и самостоятельная работа под контролем преподавателя с последующим комментарием решения.

Наименование практических занятий

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов
2	Волны и кванты. 1. Тепловое излучение. Равновесное электромагнитное излучение в полости. 2. Закон Кирхгофа. 3. Закон Стефана-Больцмана и закон смещения Вина. 4. Законы Релея-Джинса. 5. Гипотеза Планка. Кванты излучения. 6. Формула Планка. 7. Фотоэффект. Опыты Герца и Столетова. 8. Закон Эйнштейна. 9. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. 10. Эффект Комптона. 11. Тормозное рентгеновское излучение. 12. Квантовый предел. Дифракция волн. Опыт Тэйлора.	12.00
3	Атом водорода по Бору. 1. Модель атома Томсона. Опыты Резерфорда. 2. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атомов. 3. Сериальные закономерности в спектре атома 4. Принцип соответствия. 5. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. 6. Опыты Франка и Герца. 7. Изотопический сдвиг атомных уровней, m-атомы, позитроний. 8. Водородоподобные ионы. 9. Релятивистское обобщение модели Бора. 10. Постоянная тонкой структуры. 11. Критический заряд $Z = 137$.	10.00
4	Частицы и волны. 1. Гипотеза де-Бройля. 2. Волновые свойства частиц. 3. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона. 4. Волны де-Бройля. Волновой пакет. 5. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Принцип неопределенности.	8.00

5	Основы квантовой механики. 1. Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры. Волновая функция, ее свойства. 2. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния. Плотность вероятности и плотность потока вероятности. 3. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов. 4. Среднее значение и дисперсия физической величины. Гамильтониан. 5. Определение энергетического спектра системы как задача на собственные значения оператора Гамильтона. Дискретный спектр и континуум. 6. Одномерные задачи: свободное движение частицы; прямоугольная потенциальная яма; гармонический осциллятор. 7. Туннельный эффект: α-распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп. 8. Квазистационарное состояние. Ширина уровня и время распада. 9. Электрон в периодическом потенциале. 10. Понятие об энергетических зонах. Предельный переход к классической механике и оптике. 11. Туннельный эффект: α-распад атомных ядер, автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп. 12. Квазистационарное состояние. Ширина уровня и время распада. 13. Электрон в периодическом потенциале. 14. Понятие об энергетических зонах. Предельный переход к классической механике и оптике.	8.00
6	Одноэлектронный атом. 1. Уравнение Шредингера с центрально-симметричным потенциалом. Разделение переменных. 2. Операторы L^2, L_z, их собственные значения и функции. 3. Радиальное уравнение. 4. Уровни энергии. Квантовые числа. 5. Атом водорода. 6. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний. Их свойства. 7. Вырождение уровней по орбитальному моменту. 8. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. 9. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. 10. Вырождение уровней по орбитальному моменту. 11. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора. 12. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. 14. Тонкая структура спектра атома водорода. 15. Формула тонкой структуры (Дирака).	8.00
7	Многоэлектронные атомы. 1. Общие принципы описания многоэлектронного атома. 2. Представление о распределении объемного заряда и электростатического потенциала в атоме.	10.00

	3. Одноэлектронное состояние. 4. Заполнение атомных состояний электронами. 5. Общие принципы описания многоэлектронного атома. 6. Представление о распределении объемного заряда и электростатического потенциала 7 атоме. 8. Одноэлектронное состояние. 9. Заполнение атомных состояний электронами 10. Атомные оболочки и подоболочки. Электронная конфигурация. 11. Иерархия взаимодействий в многоэлектронном атоме. Приближение LS и jj-связей. 12. Терм. Тонкая структура терма. Правило интервалов Ланде. 13. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. 14. Периодическая система элементов. Правило Хунда. Основные термы атомов.	
8	Рентгеновские спектры. 1. Переходы внутренних электронов в атомах. 2. Характеристическое рентгеновское излучение. 3. Закон Мозли. Эффект Оже.	8.00
9	Атом в поле внешних сил. 1. Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. 2. Фактор Ланде. Эффекты Зеемана и Пашена - Бака. 3. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). 4. Атом в электрическом поле. Эффект Штарка	8.00
Итого за 6 семестр		72.00
Итого		72.00

Занятие №1. Предмет и методы атомной физики.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

- Микромир:
 - масштабы;
 - константы.
- Невозможность описания явлений в микромире в рамках классической теории.

Задачи для решения на занятии:

- Определить температуру T , при которой энергетическая светимость M_e черного тела равна 10 кВт/м
- Поток энергии Φ_e , излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт. Определить температуру T печи, если площадь отверстия $S = 6 \text{ см}^2$.
- Температура T верхних слоев звезды Сириус равна 10 кК. Определить поток энергии Φ_e , излучаемый с поверхности площадью $S = 1 \text{ км}^2$ этой звезды.
- Определить относительное увеличение $\frac{\Delta M_e}{M_e}$ энергетической светимости черного тела при увеличении его температуры на 1%.
- Принимая, что Солнце излучает как черное тело, вычислить его энергетическую светимость M_e и температуру T его поверхности. Солнечный диск виден с Земли под углом $\vartheta = 32^\circ$. Солнечная постоянная $C = 1,4 \text{ кДж}/(\text{м}^2\text{с})$.
- Принимая коэффициент теплового излучения ϵ угля при температуре $T = 600 \text{ К}$ равным 0,8, определить: 1) энергетическую светимость M_e угля; 2) энергию W , излучаемую с поверхности угля с площадью $S = 5 \text{ см}^2$ за время $t = 10 \text{ мин}$.

Методические рекомендации.

При рассмотрении вопросов данной темы необходимо провести сравнительный анализ масштабов величин используемых в атомной физике с макроскопическими параметрами физических систем. Поскольку законы атомной физики в корне отличаются от законов классической физики, необходимо рассмотреть экспериментальные факты, и основные линии дискуссий, которые, в конечном итоге, и привели к пересмотру классических представлений. Основное внимание следует уделить парадоксальным, хотя и строгим математически, выводам закона излучения абсолютно черного тела. При рассмотрении данной темы полезно напомнить студентам начала термодинамики закон распределения Больцмана и смысл понятия температура.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. — М.: Физматлит, 2009. — 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Законы теплового излучения.
2. Сформулируйте правило Прево для теплового излучения.
3. Что такое излучательная способность и энергетическая светимость?
4. Сформулируйте закон излучения Кирхгофа.
5. Сформулируйте закон смещения Вина.
6. Открытие постоянной Планка.
7. Формула Планка.

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №6.228 – 6.238

Занятие №2- 4. Волны и кванты.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Равновесное электромагнитное излучение в полости:
 - (a) законы Релея-Джинса и Вина;
 - (b) гипотеза Планка и кванты излучения;
2. Фотоэффект:
 - (a) законы фотоэффекта;
 - (b) закон Эйнштейна.
3. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах:
 - (a) эффект Комптона;
 - (b) квантовый предел.

Задачи для решения на занятии:

1. На какую длину волны λ_m приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(M_{\{\lambda,T\}})_{max}$ черного тела при температуре $T = 0^\circ\text{C}$?
2. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности $(M_{\{\lambda,T\}})_{max}$ сместился с $\lambda_1 = 2.4$ мкм на $\lambda_2 = 0.8$ мкм. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость M_e тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?
3. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(M_{\{\lambda,T\}})_{max}$ черного тела равна 4.16×10^{11} (Вт/м²)/м. На какую длину волны λ_m она приходится?
4. На поверхность лития падает монохроматический свет ($\lambda = 310$ нм). Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов U не менее 1.7 В. Определить работу выхода A .
5. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов $U_1 = 3.7$ В. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу A выхода электронов с поверхности этой пластинки.
6. Максимальная скорость v_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его γ -фотонами, равна 291 Мм/с. Определить энергию ϵ γ -фотонов.
7. Рентгеновское излучение длиной волны $\lambda = 55.8$ пм рассеивается плиткой графита (комpton-эффект). Определить длину волны λ' света, рассеянного под углом $\theta = 60^\circ$ к направлению падающего пучка света.
8. Фотон с энергией $\epsilon = 0,4$ мэВ рассеялся под углом $\vartheta = 90^\circ$ на свободном электроне. Определить энергию ϵ' рассеянного фотона и кинетическую энергию T электрона отдачи.

Методические рекомендации.

По первому вопросу необходимо разъяснить понятие равновесного теплового излучения, и описать основные методы экспериментальной реализации модели абсолютно черного тела. Основное внимание нужно уделить физическому смыслу предположений на основе которых выводятся законы Рэлея-Джинса и Вина. Показав, что строгое классическое рассмотрение теплового излучения в полости приводит к абсурдному результату, нужно перейти к рассмотрению различных гипотез устраняющих данное противоречие, и показать каким образом гипотеза Планка решает данную проблему.

При рассмотрении второго вопроса нужно разъяснить в каких моментах каждого закона фотоэффекта классическая физика приводит к противоречию с экспериментом, и как закон сохранения энергии, с использованием гипотезы Планка (уравнение Эйнштейна), устраняет эти

противоречия.

В третьем вопросе необходимо разъяснить почему для наблюдения эффекта Комптона предпочтительнее использование веществ состоящих из легких атомов.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Какое излучение называется тепловым (температурным) и чем оно обусловлено? Что понимают под интенсивностью (яркостью) излучения и как она изменяется с повышением температуры?
2. Что называется абсолютно черным телом? Как практически осуществляется абсолютно черное тело?
3. Что такое коэффициент излучения не абсолютно черного тела?
4. Какой физический смысл имеет универсальная функция Кирхгофа?
5. Каким образом подсчитывается число колебаний в единице объема?
6. В чем заключается явление внешнего фотоэффекта?
7. Сформулируйте законы фотоэффекта.
8. Что такое работа выхода, и чем она определяется?
9. Что такое красная граница фотоэффекта, и чем она определяется?
10. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и объясните на его основе три закона фотоэффекта.
11. Почему явление фотоэффекта не может быть объяснено с волновой точки зрения?
12. Опишите устройство и принцип работы фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).
13. Может ли рассеяние фотона на свободном электроны привести к увеличению частоты фотона?
14. Может ли свободный электрон поглотить фотон?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №6.239 – 6.246.

Занятие №5-7. Атом водорода по Бору.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Модели атома:
 - (a) модель Томпсона;
 - (b) опыт Резерфорда и планетарная модель;
2. Сериальные закономерности в спектре атома водорода:
 - (a) комбинационный принцип;
 - (b) постулаты Бора;
 - (c) принцип соответствия.
3. Водородоподобные ионы:
 - (a) релятивистское обобщение модели Бора;
 - (b) постоянная тонкой структуры.

Задачи для решения на занятии:

1. Вычислить радиусы r_2 и r_3 второй и третьей орбит в атоме водорода.
2. Определить скорость v электрона на второй орбите атома водорода.
3. Определить частоту обращения электрона на второй орбите атома водорода.
4. Определить потенциальную $П$, кинетическую $Т$ и полную $Е$ энергии электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.
5. Определить длину волны λ , соответствующую третьей спектральной линии в серии Бальмера.
6. Найти наибольшую λ_{max} и наименьшую λ_{min} длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена).
7. Вычислить энергию ϵ фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.
8. Определить наименьшую ϵ_{min} и наибольшую ϵ_{max} энергии фотона в ультрафиолетовой серии спектра водорода (серии Лаймана).
9. Атомарный водород, возбужденный светом определенной длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определить длины волн этих линий и указать, каким сериям они принадлежат.
10. Вычислить длину волны λ , которую испускает ион гелия He^+ при переходе со второго энергетического уровня на первый. Сделать такой же подсчет для иона лития Li^{++} .
11. Найти энергию E_i и потенциал U_i ионизации ионов He^+ и Li^{++} .
12. Вычислить частоты f_1 и f_2 вращения электрона в атоме водорода на второй и третьей орбитах. Сравнить эти частоты с частотой ν излучения при переходе электрона с третьей на вторую орбиту.
13. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121.5$ нм. Определить радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода.
14. Определить первый потенциал U_1 возбуждения атома водорода.

Методические рекомендации.

При обсуждении первого вопроса нужно показать как при открытии очередной ступени структуры вещества менялись представления об атоме: после открытия электрона Томпсон предложил модель «кекса с изюмом», после анализа экспериментальных данных по рассеянию альфа-частиц, полученных аспирантами Резерфорда, последний предложил планетарную модель. При этом необходимо отметить как находящиеся в согласии с экспериментом и теорией положения данных моделей так и противоречия.

При рассмотрении второго вопроса основное внимание необходимо уделить рассмотрению сериальных закономерностей в атомарных спектрах открытых при анализе колоссального количества имеющихся спектральных данных. При этом необходимо отметить что формула Бальмера является только описательной, и не основывается на каком либо физическом принципе, а комбинационный принцип лишь отражает угаданное математическое выражение для построения спектров. Далее нужно показать как гипотеза Планка, позволила Бору получить формулу Бальмера и выяснить физический смысл постоянной Ридберга.

В третьем вопросе нужно показать, что в атоме электрон движется с большой скоростью, что приводит к необходимости релятивистского обобщения модели Бора.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Во-робьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. На каких результатах, полученных в эксперименте, основывался Резерфорд при разработке планетарной модели атома?
2. В чем важнейшие недостатки моделей атома Томсона и Резерфорда?
3. Как найти минимальное расстояние, на которое приблизится альфа-частица к ядру атома?
4. Чем отличается люминесценция от теплового излучения?
5. Сформулируйте постулаты Бора.
6. Как рассчитать длины волн линий в спектральных сериях атомарного водорода?
7. Сколько спектральных линий будет испускать атомарный водород, который возбужден на 5 энергетический уровень?
8. Вычислить для позитрония энергию связи и длины волн серии Бальмера.
9. В чем состоит ограниченность теории Бора?
10. Почему энергии стационарных состояний атома водорода имеют отрицательные значения (-13,6 эВ, -3,4 эВ и т.д.)?
11. Почему в атоме водорода электрон не может упасть на ядро, даже если его орбитальный момент равен 0?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.55 – 5.75.

Занятие №8-10. Частицы и волны.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Волновые свойства частиц:
 - (a) гипотеза де-Бройля;
 - (b) волновой пакет;
 - (c) фазовая и групповая скорость волн де-Бройля.
2. Принцип неопределенности.

Задачи для решения на занятии:

1. Определить длину волны де Бройля λ , характеризующую волновые
2. свойства электрона, если его скорость $v = 1$ Мм/с. Сделать такой же подсчет для протона.
3. Электрон движется со скоростью $v = 200$ Мм/с. Определить длину волны де Бройля λ , учитывая изменение массы электрона в зависимости от скорости.
4. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля λ была равна $0,1$ нм?
5. Определить длину волны де Бройля λ электрона, если его кинетическая энергия $T = 1$ кэВ.
6. Найти длину волны де Бройля λ протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U : 1) 1 кВ; 2) 1 МВ.
7. Найти длину волны де Бройля λ для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в основном состоянии.
8. Определить длину волны де Бройля λ электрона, находящегося на второй орбите атома водорода.
9. Волновой «пакет» образован двумя плоскими монохроматическими волнами: $\xi_1(x, t) = \cos(1002t - 3x)$ $\xi_2(x, t) = \cos(1003t - 3.01x)$.
10. Определить фазовые скорости v_1 и v_2 каждой волны и групповую скорость и волнового «пакета».
11. Приняв, что минимальная энергия E нуклона в ядре равна 10 МэВ, оценить, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.
12. Показать, используя соотношение неопределенностей, что в ядре не могут находиться электроны. Линейные размеры ядра принять равными 5 фм.

Методические рекомендации.

По первому вопросу нужно разъяснить что де-Бройль ввел гипотезу о волновых свойствах частиц для интерференционного объяснения стационарных орбит и взаимного уничтожения электронных волн на орбитах, соответствующих боровским. Так же нужно обратить внимание на то, что фазовая скорость волн де-Бройля может быть больше скорости света, однако это не противоречит специальной теории относительности, так как перенос информации связан с групповой, а не с фазовой, скоростью.

При рассмотрении второго вопроса необходимо разъяснить роль наблюдателя в микромире, который вносит своим присутствием необратимое возмущение в систему. Так же важным моментом требующим пояснений является то, что неопределенность Гейзенберга является фундаментальным законом природы, и не может быть устранена каким либо способом.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную энергию гармонического осциллятора.
2. Оценить естественную ширину спектральной линии.
3. Как найти показатель преломления волн де-Бройля?
4. Как найти закон дисперсии волн де-Бройля в нерелятивистском и релятивистском случаях.
5. Будут ли расплываться в вакууме волновые пакеты, образованные из волн: 1) электромагнитных; 2) де Бройля?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.86 – 5.108.

Занятие №11-15. Основы квантовой механики.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры:
 - (a) волновая функция, ее свойства;
 - (b) уравнение Шредингера;
 - (c) стационарные и нестационарные состояния.
2. Операторы физических величин:
 - (a) собственные значения и собственные функции операторов;
 - (b) среднее значение и дисперсия физической величины;
 - (c) определение энергетического спектра системы как задача на
3. собственные значения оператора Гамильтона.
4. Одномерные задачи:
 - (a) свободное движение частицы;
 - (b) прямоугольная потенциальная яма;
 - (c) гармонический осциллятор.
5. Тожественность микрочастиц:
 - (a) бозоны и фермионы;
 - (b) принцип Паули;
 - (c) системы ферми- и бозе-частиц.

Задачи для решения на занятии:

1. Написать уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора. Учесть, что сила, возвращающая частицу в положение равновесия, $f = -\beta x$ (где β – коэффициент пропорциональности, x – смещение).
2. Временная часть уравнения Шредингера имеет вид $i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = E\Psi$. Найти решение уравнения.
3. Написать уравнение Шредингера для свободного электрона, движущегося в положительном направлении оси x со скоростью v . Найти решение этого уравнения.
4. Показать, что для ψ -функции выполняется равенство $|\psi(x)|^2 = \psi(x)\psi^*(x)$, где $\psi^*(x)$ означает функцию, комплексно сопряженную $\psi(x)$.
5. Решение уравнения Шредингера для бесконечно глубокого одномерного прямоугольного потенциального ящика можно записать в виде $\psi(x) = C_1 \exp(ikx) + C_2 \exp(-ikx)$ где $k = \sqrt{2mE}/\hbar$. Используя граничные условия и нормировку ψ -функции, определить: 1) коэффициенты C_1 и C_2 ; 2) собственные значения энергии E_n . Найти выражение для собственной нормированной ψ -функции.
6. Изобразить на графике вид первых трех собственных функций $\psi_n(x)$, описывающих состояние электрона в потенциальном ящике шириной l , а также вид $|\psi(x)|^2$. Установить соответствие между числом узлов волновой функции (т. е. числом точек, где волновая функция обращается в нуль в интервале $0 < x < l$) и квантовым числом n . Функцию считать нормированной на единицу.
7. Электрон обладает энергией $E = 10$ эВ. Определить, во сколько раз изменится его скорость v , длина волны де Бройля λ и фазовая скорость при прохождении через потенциальный барьер высотой $U = 6$ эВ.

Методические рекомендации.

В первом вопросе вводится понятие волновой функции описывающей систему. При этом нужно показать, что уравнение Шредингера является волновым уравнением. Поскольку оно является дифференциальным уравнением второго порядка в связи с этим необходимо напомнить

студентам условия которым должна удовлетворять функция являющаяся решением этого уравнения.

При рассмотрении второго вопроса основное внимание нужно уделить прояснению смысла понятия оператора и показать как из классических физических величин с помощью принципа соответствия получаются операторы физических величин которыми оперирует квантовая физика. Необходимо показать, что собственные значения и операторов физических величин являются экспериментально определяемыми параметрами системы.

В третьем вопросе на простейших одномерных примерах показывается что решение уравнения Шредингера дает адекватное описание этих систем.

В четвертом вопросе необходимо обратить внимание студентов, что неразличимость однотипных микрочастиц с необходимостью приводит к двум возможным статистикам в зависимости от спина этих частиц.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную энергию гармонического осциллятора.
2. Оценить естественную ширину спектральной линии.
3. Как найти показатель преломления волн де-Бройля?
4. Как найти закон дисперсии волн де-Бройля в нерелятивистском и релятивистском случаях.
5. Будут ли расплываться в вакууме волновые пакеты, образованные из волн: 1) электромагнитных; 2) де Бройля?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.118 – 5.130.

Занятие №16-18. Одноэлектронный атом.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Уравнение Шредингера с центрально-симметричным потенциалом:
 - (a) Разделение переменных;
 - (b) Операторы L^2 , L_z , их собственные значения и функции;
 - (c) Радиальное уравнение. Уровни энергии. Квантовые числа.
2. Атом водорода:
 - (a) Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний;
 - (b) Вырождение уровней по орбитальному моменту. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора;
 - (c) Гипотеза Уленбека и Гаудсмита. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона.
3. Понятие о правилах сложения невзаимодействующих моментов количества движения:
 - (a) Спиновое гиромагнитное отношение;
 - (b) Спин-орбитальное взаимодействие;
 - (c) Тонкая структура спектра атома водорода;
 - (d) Формула тонкой структуры (Дирака).

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.158 – 5.164

Методические рекомендации.

При обсуждении первого вопроса основное внимание нужно уделить обоснованности применения центрально-симметричного поля при рассмотрении атомных систем. Необходимо объяснить какие физические величины связаны с угловыми переменными а какие с радиальной частью потенциала.

Во втором вопросе самым важным является разъяснение понятия вырождения и его физическими следствиями.

В третьем вопросе основное внимание уделяется спин-орбитальному взаимодействию и оценке его влияния на спектры атомов. Необходимо показать, что данное взаимодействие хотя и не является сильным в иерархии взаимодействий в атоме, однако приводит к важным следствиям.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Свойства оператора момента импульса и его проекций.
2. Что такое пространственное квантование?
3. При каких значениях энергии электрон находится в атоме водорода?
4. Как определить кратность вырождения электрона в атоме?
5. Как описывается состояние электрона с учетом его спина?
6. Как находится полный механический момент атома?
7. Как определяется магнитный момент атома?
8. Что такое магнетон Бора?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.165 – 5.169.

Занятие №19-21. Многоэлектронный атом.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Общие принципы описания многоэлектронного атома:
 - (a) Одноэлектронное состояние;
 - (b) Заполнение атомных состояний электронами;
 - (c) Атомные оболочки и подоболочки.
2. Электронная конфигурация:
 - (a) Иерархия взаимодействий в многоэлектронном атоме;
 - (b) Приближение LS и jj-связей;
 - (c) Тонкая структура терма.
3. Сверхтонкая структура атомных спектров:
 - (a) Изотопические эффекты в атомах;
 - (b) Атомы щелочных металлов;
 - (c) Атом гелия;
 - (d) Симметрия волновой функции относительно перестановки электронов;
 - (e) Периодическая система элементов. Правило Хунда.

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.170 – 5.180.

Методические рекомендации.

В данном семинарском занятии нужно обратить внимание на то каким образом заполнение электронных оболочек атома, с использованием правила Хунда, приводит к объяснению периодической системы элементов Менделеева.

При подготовке к семинару следует уделить особое внимание понятию обменного взаимодействия (косвенного, статического и динамического), поскольку данный материал необходим для последующего изучения дисциплин, отражающих научные направления ИМЕН СКФУ.

Одним из важнейших понятий, вводимых в данном курсе, является понятие симметрии при перестановке тождественных частиц, поэтому при объяснении спектра атома гелия на этом вопросе необходимо остановиться подробнее, так как это самая простая система, в которой реализуется набор синглетных и триплетных состояний.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Какими квантовыми числами характеризуется электрон в атоме?
2. Как определить число электронов на электронной оболочке?
3. Какова электронная конфигурация атома углерода?
4. Как проявляется в спектрах спин-орбитальное взаимодействие?
5. На основе векторной модели атома объяснить наличие синглетных и триплетных состояний.
6. Какой смысл вкладывается в понятие обменного взаимодействия?
7. Объясните периодическую повторяемость свойств атомов?
8. Как зависит энергия электрона от квантовых чисел?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.181 – 5.184.

Занятие №22-24. Рентгеновские спектры.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Переходы внутренних электронов в атомах:
 - (a) Характеристическое рентгеновское излучение;
 - (b) Закон Мозли;
 - (c) Эффект Оже.

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.187 – 5.192.

Методические рекомендации.

При повторении данного вопроса нужно обратить внимание на различие в спектрах рентгеновского излучения полученного различными методами. Необходимо обратить внимание что по положению линий в рентгеновских спектрах является характеристикой заряда атома, следовательно по ним можно определять состав при исследовании вещества.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

2. Как возникает характеристическое рентгеновское излучение?
3. Объяснить эффект Мозли.
4. Какую информацию получают по характеристическим спектрам?
5. Как возникает автоионизация атома?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.193 – 5.197.

Занятие №25-27. Атом в поле внешних сил.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Атом в магнитном поле:
 - (а) Слабое и сильное поле. Фактор Ланде;
 - (б) Эффекты Зеемана и Пашена-Бака;
 - (с) Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
2. Атом в электрическом поле:
 - (а) Эффект Штарка.

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.198 – 5.206.

Методические рекомендации.

При рассмотрении первого вопроса особое внимание нужно уделить различию эффекта Зеемана в слабом и сильном поле. Необходимо показать как при изменении внешнего поля изменяется взаимодействие между орбитальным и спиновыми моментами атома, что и определяет условное разделение на слабое и сильное поле.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Какое магнитное поле в случае эффекта Зеемана следует считать сильным, слабым?
2. Построить схему возможных энергетических переходов в слабом магнитном поле.
3. Что такое множитель Ланде?
4. Что такое частота Лармора?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.207 – 5.217.

Занятие №28-30. Взаимодействие квантовой системы с излучением.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Квантовая система в поле электромагнитной волны:
 - (a) Дипольное приближение;
 - (b) Вероятность перехода. Матричный элемент оператора дипольного момента;
 - (c) Понятие о правилах отбора. Разрешенные и запрещенные переходы.
2. Представление о квантовом электромагнитном поле:
 - (a) Фотоны.
 - (b) Спонтанные переходы. Естественная ширина спектральной линии.

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.218 – 5.221.

Методические рекомендации.

При повторении первого вопроса необходимо показать что помимо дипольных возможны и мультипольные переходы, однако в большинстве случаев именно дипольное приближение является преобладающим, и его рассмотрение позволяет понять основные закономерности излучения.

При рассмотрении второго вопроса основное внимание нужно уделить физическим следствиям правил отбора, показав что в реальной физической системе абсолютно строгих правил отбора, поскольку наличие различного рода взаимодействий между частями микросистемы приводит к частичному снятию запрета.

В третьем вопросе необходимо проанализировать вывод естественной ширины спектральной линии из принципа неопределенности Гейзенберга.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Как определяется вероятность квантового перехода?
2. Что такое оптический переход?
3. Что называется дипольным переходом?
4. От чего зависит интенсивность в спектрах поглощения и вынужденного излучения света?
5. Что такое интеркомбинационный запрет?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.222, 5.223.

Занятие №31,32. Молекула.

Вопросы теоретического материала, выносимые на обсуждение

1. Адиабатическое приближение:
 - (a) Молекулярный ион водорода;
 - (b) Молекула водорода. Теория Гайтлера-Лондона;
 - (c) Спаривание электронов. Термы двухатомной молекулы.
2. Химическая связь:
 - (a) Ковалентная и ионная связи. Валентность;
 - (b) Спектры двухатомных молекул. Электронно – колебательный - вращательный переход. Принцип Франка-Кондона.

Задачи для решения на занятии:

[1] №5.225 – 5.231.

Методические рекомендации.

При рассмотрении первого вопроса необходимо вспомнить эллиптическую систему координат, поскольку в ней рассмотрение молекулы водорода математически наиболее просто и наглядно.

Во втором вопросе необходимо провести четкое разделение физических механизмов приводящих к различным химическим связям.

После обсуждения материала, соответствующего обозначенным вопросам, осуществляется переход к основному виду деятельности на занятии — решению типовых задач, в ходе которого происходит закрепление приобретенных знаний и формируются умения применять их на практике.

В случае возникновения затруднений при решении задач полезно рассмотреть примеры решения задач, приводящихся в задачниках и методических пособиях по решению задач (например, А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике. – М.: Физматлит, 2009. – 640 с.).

Вопросы и задания для контроля формирования компетенций

1. Записать в общем виде выражение для полной энергии двухатомной молекулы (с учетом всех степеней свободы).
2. Изобразить схему уровней двухатомной молекулы.
3. Определить изменение момента импульса двухатомной молекулы между вращательными уровнями.
4. Как моделируется движение атомов в молекуле?

Задачи для самостоятельного решения:

[1] №5.232, 5.236.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Иродов, И. Е. Квантовая физика. Основные законы. / И. Е. Иродов. – М, 2013. – 256 с.
2. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник для вузов / Э. В. Шпольский, Т.2, Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 448 с.

Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник для вузов / Э. В. Шпольский, Т.1, Введение в атомную физику. – 8-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 560 с.

Перечень дополнительной литературы:

1. Матышев А.А. Атомная физика. Том 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Матышев А.А.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014.— 531 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43939.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Матышев А.А. Атомная физика. Том 2 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Матышев А.А.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014.— 344 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43940.html>.— ЭБС «IPRbooks»

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Иродов, И. Е. Сборник задач по общей физике. - Изд. 2-е. - М. : Наука, 1972. - 256с
2. Чертов, А. Г. Задачник по физике : [учеб. пособие для втузов] / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 8-е изд., перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2007. - 640 с. : ил. - Прил.: с. 623-640. - ISBN 5-94052-098-7
3. Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине "Атомная физика"
4. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине "Атомная физика"

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://demo.home.nov.ru> – Мир физики: физический эксперимент;
2. <http://experiment.edu.ru> – естественнонаучные эксперименты - Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала;
3. <http://fizkaf.narod.ru> – кафедра и лаборатория физики Московского института открытого образования;
4. <http://genphys.phys.msu.ru> – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.
5. <http://www.edu.delfa.net> – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования;
6. <http://www.phys.spb.ru> – сайт физического факультета СПбГУ;

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АТОМНАЯ ФИЗИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Фундаментальная и прикладная физика»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

План-график выполнения самостоятельной работы

Методические рекомендации по изучению теоретического материала,
подготовке к практическим занятиям

Методические указания по подготовке к экзамену

ВВЕДЕНИЕ

Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Атомная физика» является формирование у студентов представлений о явлениях и процессах происходящих в микромире. Квантовая механика и атомная физика важны и в образовательном плане, так как на основе понимания явлений микромира формируется современное физическое мировоззрение.

Главной **задачей** курса является понимание студентами принципов квантования, и перехода к классической физике от квантовой в предельном случае, а так же разъяснение роли наблюдателя и принципиально вероятностного характера предсказания результатов экспериментов.

Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Атомная физика» относится базовой части профессионального цикла дисциплин. Она обеспечивает уровень знаний и умений в соответствии с государственным стандартом, соответствует фундаментализации образования, формированию мировоззрения и развитию критического и логического мышления студентов. Изучается в 6 семестре.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

ИД-2_{УК-1} осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

ИД-3_{УК-1} определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения.

ИД-1_{ОПК-1}

использует знания физических законов, процессов, явлений, а также поведение физических объектов при различных внешних условиях, при решении задач в своей профессиональной деятельности.

ИД-2_{ОПК-1}

использует математический аппарат и методы математического и численного моделирования для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования физических систем, явлений и процессов в своей профессиональной деятельности.

ИД-3_{ОПК-1}

способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области физико-математических и естественных наук.

ИД-1_{ОПК-2}

проводит научные исследования физических объектов и процессов с помощью экспериментальных методов исследования, а также с использованием теоретического анализа и математического и численного моделирования;

ИД-2_{ОПК-2}

проводит обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов

ИД-3_{ОПК-2}

проводит анализ полученных результатов, а также составляет отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами

ИД-4_{ОПК-2}

грамотно представляет результаты теоретического и экспериментального исследования в отчетных материалах.

ИД-1_{ПК-1}

способен оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов по тематике исследования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать:

Готовность осуществлять поиск, отбор и систематизацию информации в области атомной физики для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

Готовность определять и оценивать риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбор оптимального варианта её решения.

Готовность применять основные законы атомной физики и активно применять эти знания для решения фундаментальных задач в своей профессиональной деятельности.

Готовность использовать математический аппарат атомной физики для описания экспериментального исследования физических систем в своей профессиональной деятельности.

Способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области атомной физики.

Готовность проводить научные исследования физических объектов с помощью экспериментальных методов исследования атомной физики.

Готовность проводить обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов.

Готовность проводить анализ полученных результатов, а также составлять отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами.

Готовность грамотно представлять результаты экспериментального исследования в отчетных материалах.

Готовность оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов в области атомной физики по тематике исследования.

Примерная тематика заданий для самостоятельной работы студентов

1. Автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп.
2. Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода.
3. Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. Фактор Ланде.
4. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний.
5. Атом гелия. Синглетные и триплетные состояния.
6. Атомы щелочных металлов. Спин электрона.
7. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
8. Волновая функция, ее свойства. Плотность вероятности.
9. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де Бройля.
10. Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона – Джермера и Томсона.
11. Гармонический осциллятор.
12. Закон Мозли. Эффект Оже.
13. Законы Рэлея – Джинса и Вина. Закон Стефана – Больцмана.
14. Изотопические эффекты в атомах. Позитроний, мюоний, дейтерий, тритий.
15. Кванты излучения. Формула Планка.
16. Колебания и вращения молекул. Ангармонизм колебаний.
17. Лэмбовский сдвиг уровней. Электромагнитный вакуум.
18. Молекула водорода. Теория Гайтлера – Лондона.

19. Момент импульса. Собственные значения и собственные функции оператора проекции момента импульса.
20. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов.
21. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атома.
22. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Экспериментальное определение магнитных моментов.
23. Основное состояние водородоподобного атома.
24. Основные термы атомов. Правило Хунда.
25. Периодическая система элементов Менделеева.
26. Полный момент импульса атома.
27. Предельный переход к классической механике и оптике.
28. Принцип Паули. Электронная конфигурация, иерархия взаимодействий в атоме.
29. Принцип суперпозиции состояний.
30. Принцип Франка – Кондона. Правило Лапорта
31. Прямоугольная потенциальная яма.
32. Прямоугольный потенциальный барьер. Коэффициенты отражения и прохождения.
33. Рентгеновские спектры.
34. Свободное движение частиц.
35. Свойства волн де Бройля. Уравнение волн де Бройля.
36. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
37. Соотношение неопределенностей для энергии и времени.
38. Спектральные серии (атомы водорода, гелия, щелочных металлов).
39. Спектры двухатомных молекул. Электронно – колебательный переход. Правила отбора.
40. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Сверхтонкая структура атомных спектров.
41. Спин электрона. Опыт Штерна и Герлаха. Тонкая Структура спектра атома водорода.
42. Спонтанные переходы. Электромагнитный вакуум. Естественная ширина спектральной линии.
43. Среднее значение и дисперсия физической величины.
44. Среднее значение и дисперсия физической величины.
45. Стационарная теория возмущений.
46. Теория нестационарных возмущений. Поглощение и испускание света.
47. Тожественность микрочастиц. Волновая функция системы микрочастиц
48. Туннельный эффект. α -распад атомных ядер.

49. Уравнение Шредингера с центрально – симметричным потенциалом. Разделение переменных.
50. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.
51. Фотоэффект. Закон Эйнштейна. Фотоионизация атомов и молекул.
52. Химическая связь. Валентность. Насыщение химических связей.
53. Электрон в периодическом потенциале. Энергетические зоны. Электропроводность твердых тел.
54. Электронный парамагнитный резонанс (Э.П.Р.).
55. Эффект Комптона.
56. Эффекты Зеемана и Пашена – Бака.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

В рамках освоения курса «Атомная физика» студенты приобретают навыки подготовки, написания и оформления следующих видов индивидуальных и групповых заданий:

1. Доклад
2. Отчет о выполнении работы

В результате выполнения всех перечисленных заданий достигаются следующие результаты обучения:

- развитие мышления и творческих способностей студента,
- приобретение и закрепление навыков самостоятельной работы,
- приобретение и закрепление навыков оформления и составления письменных заданий.

2.1 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Доклад - это публичная монологическая речь на определенную тему, основанная на привлечении документальных данных.

Отчет – научный отчет, обобщающий проведенную студентом работу, включающий исчерпывающее описание проделанной работы и полученных результатах.

Источниками для выполнения работы являются книги, учебники, учебные пособия, монографии, научные статьи, патенты, нормативно-правовые акты, справочники, а также материалы научных конференций, семинаров и симпозиумов, вне зависимости от формы их опубликования (электронные или издаваемые на бумаге). В качестве информационных источников также могут использоваться отчеты организаций, университетов, оргкомитетов конференций, конспекты лекций преподавателей.

3.1. Рекомендации к оформлению и структуре доклада

Доклад - это публичная монологическая речь на определенную тему, основанная на привлечении документальных данных.

ПОМНИТЕ! Доклад должен быть хорошо сконструирован и представлен аудитории ясно и в логичной последовательности.

Структура доклада включает вступление, основную часть и заключение.

Вступление. Определите цель доклада в его начале и вернитесь к ней в конце. Между этими моментами обсуждайте, как Ваш материал соотносится с целью. Вступление должно сразу вызвать интерес и приковать внимание аудитории, поэтому избегайте банальных фраз и технического жаргона.

Основная часть. Не используйте списки («во-первых...», «во-вторых...»). Вы можете спутать систему списка («во-первых...», «затем...», «на пятом этапе»), или позже в докладе выяснится, что Вы пропустили какой-то пункт и придется возвращаться назад. Переходы: к ним надо относиться внимательно, должны быть плавными и логичными, понятными аудитории.

Заключение обобщает основные идеи, которые Вы обсуждали, и ответ, достигнута ли цель, поставленная во вступлении.

2.3.2. Рекомендации к подготовке доклада и выступлению

Продумайте план доклада! Помните, кто будет присутствовать на докладе. Не забывайте о выделенном для доклада времени. Постройте доклад вокруг одной идеи, используя все, что может лучше раскрыть ее, и, выбрасывая все, что несущественно или может отвлечь внимание. Помните, что восприятие информации аудиторией снижается по ходу доклада. Поэтому если Вы представляете ряд положений, организуйте их от более к менее важным. А лучше менее важные положения вообще выбросить. Убирайте несущественные элементы и подробности. Помните, чем короче выступление, тем сложнее охватить материал ясно и полно. Тренируйте доклад стоя с презентацией! Не готовьте доклад наспех, его нужно «обкатать». Сначала репетируйте в приватной обстановке, перед коллегами, на камеру или без, но главное – репетируйте! Тренируйтесь

со всеми частями. Если Вы всегда будете начинать сначала — у Вас будет прекрасное начало выступления, но бледный конец. Начинайте иногда с середины или с конца. Не старайтесь выучить текст наизусть, при тренировках старайтесь говорить разными словами, придерживаясь основного направления. Думайте об идеях доклада, и ваши слова будут течь естественно. Используйте короткие предложения с простой конструкцией. Не используйте жаргон. Повторяйте решающую информацию. Говорите не спеша. После того, как Вы показали новый слайд, сделайте небольшую паузу, чтобы зрители успели посмотреть на рисунок.

Само выступление.

1. Делайте все так, как отрепетировали, лучше не импровизировать в последнюю минуту.
2. Старайтесь смотреть в глаза слушателям, но не фиксируйте взгляд только на одном зрителе, он будет чувствовать себя неловко.
3. Говорите медленно, ясно и отчетливо, используйте естественные жесты.
4. Следите за своим поведением, постарайтесь не быть скованным, не шататься, не переступать с ноги на ногу, избегайте некоторых привычек (не перебирайте мелочь в кармане, не шагайте из угла в угол, не чешите волосы, не поправляйте одежду). Особое внимание обратите на слова-паразиты («э-э», «так сказать», «как бы», «значит», «типа» и пр.). Убедитесь, что Вы говорите, обращаясь к аудитории, а не в угол, в потолок или экран. Не исчезайте за кафедрой (трибуной). Вас должны видеть.
5. Поддерживайте связь с аудиторией, вовлекайте ее в процесс презентации, задавая вопросы и с помощью контакта глазами.
6. Если во время доклада нужно выключить свет, не забывайте включить его сразу, как только можно. Иначе об этом Вам может напомнить храп аудитории.
7. Не извиняйтесь за что-либо во время доклада. Если Вы извиняетесь — значит, плохо подготовились.
8. Если у Вас нет опыта комика-разговорника, не злоупотребляйте шутками.
9. Заключение (обобщение) должно быть подготовленным и запоминающимся, не поддавайтесь соблазну добавить несколько слов экспромтом. Последние слова запоминаются сильнее, поэтому они должны быть подготовленными.

Ответы на вопросы.

Часто ответы на вопросы оставляют большее впечатление, чем сам доклад.

1. Старайтесь повторять вопрос, чтобы всем было ясно, о чем Вас спросили.

2. Перед ответом подумайте хоть секунду. Главное — дождитесь, когда вопрошающий закончит вопрос. Единственное исключение — когда вопрос неясный и беспорядочный. Но и это надо делать тактично, например «То есть, Вы спрашиваете... ?». Не бросайтесь давать ответ сразу же, этим Вы покажете уважение к спрашивающему и дадите себе время на то, чтобы убедиться, что Вы отвечаете именно на тот вопрос, который задан. Если Вы не уверены, попросите переформулировать вопрос или прояснить, о чем же спрашивают.
3. Если вопрос задан во время доклада, и он проясняет неопределенность - отвечайте сразу.
4. Избегайте затяжных дискуссий с одним человеком и пространных ответов.
5. Если не можете ответить на вопрос, так и скажите. Не извиняйтесь. Затем Вы можете либо предложить обдумать (исследовать) вопрос и вернуться к нему как-нибудь позже, либо предложить человеку, задавшему вопрос, источник, где он может найти ответ, либо попросить аудиторию о предложениях.

2.4. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / Савельев Игорь Владимирович ; [учеб. пособие]. - 9-е изд., стер. — СПб. — М. — Краснодар : Лань, 2008. — 318 с. : прил.
2. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник. Т. 1 : Введение в атомную физику / Шпольский Эдуард Владимирович. — 8-е изд., стер. — СПб. — М. — Краснодар : Лань, 2010. - 558 с. : ил.
3. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник. Т. 2 : Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома / Шпольский Эдуард Владимирович. — 6-е изд. стер. — СПб. — М. — Краснодар : Лань, 2010. — 442 с. : ил.

Дополнительная литература:

1. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. 3 : Излучение. Волны. Кванты / Фейнман Ричард, Р. Лейтон, М. Сэндс; пер. с англ.: А. В. Ефремова, Г. И. Копылова, Ю. А. Симонова и др.; под ред. Я. А. Смородинского. — Изд. 6-е. — М. :

URSS, 2010. – 240 с.

2. Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике. 8 - 9 : Квантовая механика / Фейнман Ричард, Р. Лейтон, М. Сэндс; пер. с англ. Г. И. Копылова; под ред. Я. А. Смородинского. – 5-е изд. – М. : URSS, 2010. – 524 с.
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : в десяти томах : [учеб. пособие*]. Т. III : Квантовая механика: нерелятивистская теория / Ландау Лев Давидович, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. – Изд. 6-е, испр. –М. : Физматлит, 2008. – 800 с. – Предм. указ.: с. 799-800.
4. Сивухин Д.В., Общий курс физики. Том 5. Атомная и ядерная физика. Изд. 3., Москва, Физматлит, 2008.
5. Матвеев А.Н., Атомная физика: Учебное пособие для студентов вузов Изд. 2-е, Москва, Оникс Мир и образование, 2007.
6. Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1970.

Методическая литература

1. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие для вузов* / Иродов Игорь Евгеньевич. – 8-е изд. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 432 с. : прил.
2. В. Л. Гинзбург, Л. М. Левин, М. С. Рабинович, Д. В. Сивухин, Общий курс физики. Сборник задач. В 5 книгах. Книга 5. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц, Москва, Физматлит, 2006.
3. А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. Задачник по физике. М.: Физматлит, 2009. – 640с.

Интернет-ресурсы:

1. <http://webbook.nist.gov/> – сайт национального института стандартов и технологий;
2. <http://www.e-science.ru/physics/> – раздел Физики Портала Естественных Наук;
3. <http://www.msg.chem.iastate.edu/gamess/> – домашняя страница разработчиков квантово-химической программы GAMESS;
4. <http://www.sciencephoto.com/> – сайт с историческими и современными фото и видео материалами из различных областей науки и техники.
5. <http://www.youtube.com/user/AKhodus> – обучающие видео по физике;
6. <http://elementy.ru/> – образовательный портал;

Литература для оформления докладов, презентаций , эссе и рецензий:

1. Лекция «Компьютерные презентации» // Сайт «БиблиоАкадемия». – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://academia.altlib.ru/>.

2. «Как сделать устный доклад» // Материалы сайта «Дерзай». – Электронный ресурс.
Режим доступа: <http://derzaj.by/kak-sdelat-ustnyj-doklad/>.
3. Рецензия // Материалы сайта «Дом Солнца» – Электронный ресурс. Режим
доступа: <http://www.sunhome.ru/help/1120>.
4. Что такое рецензия? // Электронный ресурс. Режим доступа:
hydrola.ru/docs/recension.doc.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Вопросы к экзамену Базовый уровень

Вопросы для проверки уровня обученности

1. Законы Рэлея – Джинса и Вина. Закон Стефана – Больцмана.
2. Кванты излучения. Формула Планка.
3. Фотоэффект. Закон Эйнштейна. Фотоионизация атомов и молекул.
4. Эффект Комптона.
5. Волновая функция, ее свойства. Плотность вероятности.
6. Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона – Джермера и Томсона.
7. Гармонический осциллятор.
8. Молекула водорода. Теория Гайтлера – Лондона.
9. Момент импульса. Собственные значения и собственные функции оператора проекции момента импульса.
10. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов.
11. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атома.
12. Основное состояние водородоподобного атома.
13. Основные термы атомов. Правило Хунда.
14. Периодическая система элементов Менделеева.
15. Полный момент импульса атома.
16. Принцип Паули. Электронная конфигурация, иерархия взаимодействий в атоме.
17. Принцип суперпозиции состояний.
18. Принцип Франка – Кондона. Правило Лапорта
19. Прямоугольная потенциальная яма.
20. Прямоугольный потенциальный барьер. Коэффициенты отражения и прохождения.
21. Рентгеновские спектры.
22. Свободное движение частиц.
23. Свойства волн де Бройля. Уравнение волн де Бройля.
24. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
25. Спектральные серии (атомы водорода, гелия, щелочных металлов).
26. Спин электрона. Опыт Штерна и Герлаха. Тонкая Структура спектра атома водорода.
27. Среднее значение и дисперсия физической величины.
28. Тождественность микрочастиц. Волновая функция системы микрочастиц
29. Туннельный эффект. α -распад атомных ядер.
30. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния.
31. Автоэлектронная эмиссия. Туннельный микроскоп.
32. Адиабатическое приближение. Молекулярный ион водорода.
33. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний.
34. Атом гелия. Синглетные и триплетные состояния.
35. Атомы щелочных металлов. Спин электрона.
36. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.

Задания для проверки уровня обученности

1. При увеличении термодинамической температуры T черного тела в два раза длина волны λ_m на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(M_{\lambda,T})_{max}$, уменьшилась на $\Delta\lambda = 400$ нм. Определить начальную и конечную температуры T_1 и T_2 .
2. Какую мощность N надо подводить к зачерненному металлическому шарiku радиусом $r=2$ см, чтобы поддерживая его температуру на $\Delta T=27$ К выше температуры окружающей среды? Температура окружающей среды $T=293$ К. Считать, что тепло теряется только вследствие излучения.
3. Найти температуру полностью ионизованной водородной плазмы плотностью $\rho = 0,10$ г/см³, при которой давление теплового излучения равно газокINETическому давлению частиц плазмы. Иметь в виду, что давление теплового излучения $p = u/3$, где u — объемная плотность энергии

излучения, и что при высоких температурах вещества подчиняются уравнению состояния идеальных газов.

4. Во сколько раз энергия фотона, обладающего импульсом $8 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с, больше кинетической энергии электрона, полученной им при прохождении разности потенциалов 5 В? Заряд электрона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
5. Работа выхода электронов из некоторого металла $5,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. На металл падают фотоны с импульсом $2,4 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с. Во сколько раз максимальный импульс электронов, вылетающих с поверхности металла при фотоэффекте, больше импульса падающих фотонов? Масса электрона $9 \cdot 10^{-31}$ кг.
6. Пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 663$ нм падает нормально на зеркальную плоскую поверхность. Поток энергии $\Phi_e = 0,6$ Вт. Определить силу F давления, испытываемую этой поверхностью, а также число N фотонов, падающих на нее за время $t = 5$ с.
7. Во сколько раз увеличивается линейная скорость электрона в атоме водорода, если при переходе из одного состояния в другое радиус орбиты уменьшается в 16 раз?
8. Фотон с энергией $\epsilon = 0,75$ МэВ рассеялся на свободном электроны под углом $\theta = 60^\circ$. Принимая, что кинетическая энергия и импульс электрона до соударения с фотоном были пренебрежимо малы, определить: 1) энергию ϵ' рассеянного фотона; 2) кинетическую энергию T электрона отдачи.
9. Вычислить длину волны λ , которую испускает ион гелия He^+ при переходе со второго энергетического уровня на первый. Сделать такой же подсчет для иона лития Li^{++} .
10. С какой скоростью движется электрон, если длина волны де Бройля λ электрона равна его комптоновской длине волны λ_c .
11. Определить длину волны спектральной линии атомарного водорода, частота которой равна разности частот следующих двух линий серии Бальмера: $\lambda = 486,1$ нм, $\lambda = 410,2$ нм. Какой серии принадлежит эта линия?
12. Электрон движется по окружности радиусом $r = 0,5$ см в однородном магнитном поле с индукцией $B = 8$ мТл. Определить длину волны де Бройля λ электрона.
13. Используя соотношение неопределенностей $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ оценить низший энергетический уровень электрона в атоме водорода. Принять линейные размеры атома $l \approx 0,1$ нм.
14. Используя соотношение неопределенности $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ оценить ширину Γ энергетического уровня в атоме водорода, находящегося: 1) в основном состоянии; 2) в возбужденном состоянии (время τ жизни атома в возбужденном состоянии равно 10^{-8} с).
15. Параллельный пучок электронов, движущихся с одинаковой скоростью $v = 1$ Мм/с, падает нормально на диафрагму с длинной щелью шириной $a = 1$ мкм. Проходя через щель, электроны рассеиваются и образуют дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии $l = 50$ см от щели и параллельном плоскости диафрагмы. Определить линейное расстояние x между первыми дифракционными минимумами.
16. Используя соотношение неопределенностей $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ найти выражение, позволяющее оценить минимальную энергию E электрона, находящегося в одномерном потенциальном ящике шириной l .
17. Оценить относительную ширину $\Delta\omega/\omega$ спектральной линии, если известны время жизни атома в возбужденном состоянии ($\tau \approx 10^{-8}$ с) и длина волны излучаемого фотона ($\lambda = 0,6$ мкм).
18. Оценить относительную ширину $\Delta\omega/\omega$ спектральной линии, если известны время жизни атома в возбужденном состоянии ($\tau \approx 10^{-8}$ с) и длина волны излучаемого фотона ($\lambda = 0,6$ мкм).
19. Какую наименьшую разность потенциалов $U_{\min}$ нужно приложить к рентгеновской

трубке, антикатод которой покрыт ванадием ($Z=23$), чтобы в спектре рентгеновского излучения появились все линии К-серии ванадия? Граница К-серии ванадия $\lambda=226$ пм.

20. Определить энергию ε фотона, соответствующего линии Ка в характеристическом спектре марганца ($Z=25$).
21. В атоме вольфрама электрон перешел с М-слоя на L-слой. Принимая постоянную экранирования σ равной 5,5, определить длину волны λ испущенного фотона.
22. Известна волновая функция, описывающая состояние электрона в потенциальном ящике шириной l : $\psi(x) = C1 \sin kx + C2 \cos kx$ Используя граничные условия $\psi(0)=0$ и $\psi(l) = 0$ определить коэффициент $C2$ и возможные значения волнового вектора k , при котором существуют нетривиальные решения.
23. Электрону в потенциальном ящике шириной l отвечает волновое число $k = \pi n/l$ ($n=1, 2, 3, \dots$). Используя связь энергии E электрона с волновым числом k , получить выражение для собственных значений энергии E_n .
24. Собственная функция, описывающая состояние частицы в потенциальном ящике, имеет вид $\psi_n(x) = C \sin \frac{\pi n}{l} x$ Используя условия нормировки, определить постоянную C .

Повышенный уровень

Вопросы для проверки уровня обученности

- Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. Фактор Ланде.
- Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де Бройля.
- Закон Мозли. Эффект Оже.
- Изотопические эффекты в атомах. Позитроний, мюоний, дейтерий, тритий.
- Колебания и вращения молекул. Ангармонизм колебаний.
- Лэмбовский сдвиг уровней. Электромагнитный вакуум.
- Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Экспериментальное определение магнитных моментов.
- Предельный переход к классической механике и оптике.
- Соотношение неопределенностей для энергии и времени.
- Спектры двухатомных молекул. Электронно – колебательный переход. Правила отбора.
- Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Сверхтонкая структура атомных спектров.
- Спонтанные переходы. Электромагнитный вакуум. Естественная ширина спектральной линии.
- Стационарная теория возмущений.
- Теория нестационарных возмущений. Поглощение и испускание света.
- Уравнение Шредингера с центрально – симметричным потенциалом. Разделение переменных.
- Химическая связь. Валентность. Насыщение химических связей.
- Электрон в периодическом потенциале. Энергетические зоны. Электропроводность твердых тел.
- Электронный парамагнитный резонанс (Э.П.Р.).
- Эффекты Зеемана и Пашена – Бака.

Задания для проверки уровня обученности

1. Исходя из формулы Планка для спектральной плотности энергии равновесного электромагнитного излучения ρ_ω получить:

- а) зависимость объемной плотности энергии излучения от температуры (закон Стефана - Больцмана)
- б) связь между частотой, соответствующей максимуму ρ_ω , и температурой (закон смещения Вина).
2. Оценить число фотонов равновесного электромагнитного излучения в единице объема при температуре: а) 300 К, б) 3 К
3. Рассматривая рассеяние рентгеновского излучения веществом, как результат столкновения фотона с неподвижным электроном, получить выражение для смещения длины волны падающего излучения в зависимости от угла рассеяния (эффект Комптона).
4. Фотон, испытав столкновение с релятивистским электроном, рассеялся под углом $\alpha=90^\circ$, а электрон остановился. Найти комптоновское смещение длины волны рассеянного фотона (формулу вывести).
5. На какую кинетическую энергию ускоряемых протонов должен быть рассчитан ускоритель, чтобы исследовать пространственные структуры размером ~ 1 фм (10^{-13} см).
6. Исходя из соотношения неопределенностей оценить
 - а) минимальную энергию гармонического осциллятора (энергию нулевых колебаний),
 - б) энергию основного состояния атома водорода.
7. В рамках модели атома Бора определить величину изотопического сдвига L_α линий трех изотопов водорода.
8. В рамках модели атома Бора определить величину релятивистской поправки к потенциалу ионизации водородоподобного иона с зарядом Z .
9. Потенциал ионизации атома Cs равен 3,89 эВ. Определить квантовый дефект основного состояния.
10. Определить энергию фотоэлектронов, выбитых и К-оболочки урана (постоянная экранирования $\sigma_k \approx 1$) рентгеновским излучением с энергией 150 кэВ.
11. Состояние электрона характеризуется волновой функцией $\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{a}\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(x/a\right)^2\right)$.

Определить средние значения и дисперсии координаты и импульса электрона.

12. Электрон находится в потенциальной яме шириной l . В каких точках в интервале ($0 < x < l$) плотность вероятности нахождения электрона на первом и втором энергетических уровнях одинакова? Вычислить плотность вероятности для этих точек.
13. В сферической системе координат (r, θ, φ) волновая функция электрона имеет вид $\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \cdot \sqrt{3/4\pi} \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi$. Какие и с какой вероятностью значения z -проекции момента количества движения (L_z) могут быть измерены в этом состоянии? Определить среднее значение и дисперсию величины L_z .
14. Определить уровни энергии и волновые функции стационарных состояний частицы в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме шириной d .
15. Определить среднее и наиболее вероятное удаление электрона от ядра в основном состоянии атома водорода.
16. Поток частиц с энергией E рассеивается на прямоугольной потенциальной ступеньке высотой V_0 . Определить вероятности прохождения и отражения.
17. Определить все возможные термы в конфигурациях из двух неэквивалентных и двух эквивалентных p -электронов.

18. Напишите электронные конфигурации первых десяти элементов таблицы Менделеева. Воспользовавшись правилами Хунда, определите их основные термы.
19. Укажите переходы, образующие тонкую структуру головной линии серии Бальмера в спектре атома водорода.
20. Сколько компонент имеет сверхтонкая структура основного состояния атома водорода? Оценить величину расщепления.
21. Нарисовать схему расщепления возможные переходы между уровнями термов 2P и 2S в слабом и сильном магнитном поле. В сильном поле LS взаимодействием пренебречь.
22. На сколько компонент расщепится пучок атомов бора, находящихся в основном состоянии, в эксперименте Штерна и Герлаха в случае слабого и сильного магнитных полей. В сильном поле LS взаимодействием пренебречь.