

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт физики
Кафедра оптики и нанофотоники

Краткий конспект ЭОР

Название дисциплины (модуля): Атомная физика

Направление подготовки (специальность): 03.03.02 - Физика

Форма обучения: очное

Курс: третий

Авторы:

д.ф.-м.н., проф. Гайнутдинов Р.Х.

к.ф.-м.н., доц. Мутыгуллина А.А.

к.ф.-м.н., доц. Хамадеев М.А.

Казань, 2018 год

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ОБЩИЙ СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ПО ЭОР.....	3
ТЕМА 1. КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ-НЫХ ВОЛН.....	4
ТЕМА 2. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ.....	5
ТЕМА 3. ДИСКРЕТНОСТЬ АТОМНЫХ СОСТОЯНИЙ.	6
ТЕМА 4. КВАНТОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АТОМНЫХ СИСТЕМ.	7
ТЕМА 5. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ.....	8
ТЕМА 6. АТОМ ВОДОРОДА И ВОДОРОДОПОДОБНЫЕ АТОМЫ.	9
ТЕМА 7. МНОГОЭЛЕКТРОННЫЕ АТОМЫ.	10
ТЕМА 8. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МОЛЕКУЛ.....	11
ТЕМА 9. АТОМ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ.....	12
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ.....	13
ОБЩИЙ ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ.....	14

ОБЩИЙ СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ПО ЭОР.

- КВД – корпускулярно-волновой дуализм
- опыт Д и Д – опыт Дэвиссона и Джермера
- явление КИ – явление квантовой интерференции
- ИЧТ – излучение черного тела
- ГП – Гильбертово пространство
- УШ – уравнение Шрёдингера
- ССС – симметричные собственные состояния
- АСС – антисимметричные собственные состояния
- СТ – спектральный терм
- СОВ – спин-орбитальное взаимодействие
- МР – мультиплетное расщепление
- ПГ – правило Гунда
- КРС – комбинационное рассеяние света
- СЛ – стоксовы линии
- АЛ – антистоксовы линии
- ЭЗ – эффект Зеемана
- ЛС – Лэмбовский сдвиг

ТЕМА 1. КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.

Вопросы для изучения по теме: Корпускулярно-волновой дуализм света, явление фотоэффекта, импульс фотона, противоречие законов фотоэффекта законам классической физики, опыт Комптона.

Аннотация темы: Существуют весьма убедительные экспериментальные доказательства волновой природы света. Прежде всего, опыты по интерференции, дифракции и поляризации света. Вместе с тем, существуют не менее убедительные экспериментальные свидетельства корпускулярного характера света. В их число входят тепловое излучение, фотоэффект, эффект Комптона. Двойственность, присущая свету, послужила основой концепции корпускулярно - волнового дуализма. Согласно этой концепции, волновой и корпускулярный (квантовый) способы описания света не противоречат, а взаимно дополняют друг друга.

Фотоэффектом является процесс освобождения электронов, находящихся в связанном состоянии, под действием коротковолнового излучения. В 1905 г. Эйнштейн выдвигает революционное сообщение-гипотезу в квантовой физике: световой поток энергии не является непрерывным, а представляет собой дискретный набор энергий – квантов. Электрон выбивается не всей волной, а только частью волны. Эйнштейн получает формулу, которая является по факту законом сохранения энергии.

Ключевые слова: корпускулярно-волновой дуализм, фотоэффект, электрон, фотон, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, опыт Комптона.

Список сокращений:

- КВД – корпускулярно-волновой дуализм

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <https://www3.nd.edu/~johnson/Publications/book.pdf>.
2. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-422-atomic-and-optical-physics-ii-spring-2013/video-lectures/lecture-1-introduction-to-atomic-physics/>

ТЕМА 2. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ.

Вопросы для изучения по теме: Уравнение для волн де Бройля, явление квантовой интерференции, принцип суперпозиции амплитуд вероятности.

Аннотация темы: В 1927 г. американскими учёными К. Дэвиссоном и Л. Джермером был проведен физический эксперимент, демонстрирующий дифракцию электронов (аналог опыта Вульфа-Брэгга). Проводилось исследование отражения электронов от монокристалла никеля. В данном классическом эксперименте было показано, что электрон обладает волновой природой, причем длина волны электрона обратно пропорциональна его скорости. Опыт Дэвиссона и Джермера является первым экспериментальным подтверждением явления квантовой интерференции. Далее последовали серии экспериментов и теоретических моделей (уравнение волн де Бройля, волна-пилот), показывающих волной характер частиц.

Ключевые слова: опыт Дэвиссона и Джермера, явление квантовой интерференции, уравнение волн де Бройля.

Список сокращений:

- опыт Д и Д – опыт Дэвиссона и Джермера
- явление КИ – явление квантовой интерференции

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20Lecture%20PPT%20slides%201_8.pdf
2. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-422-atomic-and-optical-physics-ii-spring-2013/video-lectures/lecture-1-introduction-to-atomic-physics/>

ТЕМА 3. ДИСКРЕТНОСТЬ АТОМНЫХ СОСТОЯНИЙ.

Вопросы для изучения по теме: излучение черного тела, формула Планка, серия Бальмера, модель атома Бора.

Аннотация темы: Формула Планка, обобщающая формулы Рэля-Джинса, формулу Вина, хорошо описывает излучение черного тела. Базой для развития и понимания спектров излучения тел является серия Бальмера, описывающая дискретный спектр атома водорода. В дальнейшем были проведены эксперименты и созданы модели строения атомов: опыт Резерфорда и модель атома Бора.

Ключевые слова: излучение черного тела, формула Планка, серия Бальмера, опыт Резерфорда, модель атома Бора, дискретность уровней энергии.

Список сокращений:

- ИЧТ – излучение черного тела

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
2. <https://itp.tugraz.at/~arrigoni/vorlesungen/atomphysik-quantenmechanik/public/mynotes-nobook.pdf>
3. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-422-atomic-and-optical-physics-ii-spring-2013/video-lectures/lecture-1-introduction-to-atomic-physics/>

ТЕМА 4. КВАНТОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АТОМНЫХ СИСТЕМ.

Вопросы для изучения по теме: Связь векторов состояний с результатами экспериментов. Проекционный постулат.

Аннотация темы: Основными постулатами, на которых базируется каноническая формулировка квантовой теории, является постулат – состояния квантовой системы описываются векторами в Гильбертовом пространстве, в котором задана операция внутреннего скалярного произведения. Вторым является постулат о вероятности нахождения системы в одном из собственных состояний. Динамический постулат определяет то, как векторы состояний системы изменяются в результате взаимодействия. Проекционный постулат описывает вероятность того, что в результате измерения мы будем наблюдать то или значение наблюдаемой. Если результат – вырожденный, значит, существует как минимум два собственных состояния, для которых мы можем этот результат получить. В этом случае формула для вероятности того, что в результате измерения мы получим данное значение, должна быть модифицирована добавлением суммирования по вырожденным состояниям.

Ключевые слова: Гильбертово пространство, динамический постулат, проекционный постулат, наблюдаемая, вырожденные состояния.

Список сокращений:

- ГП – Гильбертово пространство
- УШ – уравнение Шрёдингера

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/>
2. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_toc.html

ТЕМА 5. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ.

Вопросы для изучения по теме: Симметричные, антисимметричные состояния, принцип запрета Паули.

Аннотация темы: Как отличить частицы друг от друга? На этот вопрос мы можем ответить, введя симметричные и антисимметричные состояния, описывающие бозоны и фермионы, соответственно.

Бозоны – частицы (фотон, гравитон, W - бозон, Z - бозон), двухчастичные состояния которых описываются всегда симметричными векторами.

Фермионы – частицы (электрон, протон, нейтрон), двухчастичные состояния которых всегда описываются антисимметричными векторами.

Ключевые слова: фермионы, бозоны, принцип запрета Паули.

Список сокращений:

- ССС – симметричные собственные состояния
- АСС – антисимметричные собственные состояния

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_10.html
2. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
3. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_11.html

ТЕМА 6. АТОМ ВОДОРОДА И ВОДОРОДОПОДОБНЫЕ АТОМЫ.

Вопросы для изучения по теме: спектр атома водорода, серия Бальмера.

Аннотация темы: Атом водорода является самым элементарным в природе, при этом является хорошим инструментом для создания, проверки новых теоретических моделей: серия Бальмера (дискретность атомных состояний), уравнение Шредингера, Лэмбовский сдвиг, радиус протона. Атом водорода состоит из протона и электрона. Водородоподобный атом из ядра, внутренних электронов и внешнего электрона. Ядро состоит из Z протонов и нейтронов, где Z – атомный номер.

Ключевые слова: атом водорода, водородоподобные атомы

Список сокращений:

- СТ – спектральный терм
- СОВ – спин-орбитальное взаимодействие

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/node42.html>
2. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
3. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_19.html
4. Р. Х. Гайнутдинов, А. А. Мутыгуллина, “Лэмбовский сдвиг и естественное уширение спектральных линий атомов, взаимодействующих с интенсивным лазерным полем”, Физико-математические науки, Учён. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 150, № 2, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2008, 21–28.

ТЕМА 7. МНОГОЭЛЕКТРОННЫЕ АТОМЫ.

Вопросы для изучения по теме: Принцип Паули, правило Гунда, типы связей, структура электронных слоев атомов и периодическая система Менделеева.

Аннотация темы: В многоэлектронных атомах каждый электрон не только притягивается ядром, но и испытывает отталкивание от всех остальных электронов, вследствие чего все волновые функции взаимосвязаны. Точное решение уравнения Шредингера для многоэлектронных атомов неизвестно. Существует ряд приближенных методов расчета, при которых предполагается, что волновую функцию многоэлектронного атома можно представить, как произведение волновых функций отдельных электронов. Энергетическое состояние электронов многоэлектронных атомов зависит не только от главного квантового числа, но и от орбитального числа l . Главное квантовое число определяет лишь некоторую энергетическую зону, точное же значение энергии электрона определяется величиной l . Это связано с тем, что электроны в атоме не только притягиваются ядром, но и испытывают отталкивание со стороны электронов, расположенных между данным электроном и ядром. Внутренние электронные слои как бы образуют экран, ослабляющий притяжение электрона к ядру, или, как говорят, экранируют внешний электрон от ядерного заряда.

Ключевые слова: Типы связей. Нормальная (LS -связь) и jj -связь. Правило Гунда.

Список сокращений:

- МР – мультиплетное расщепление
- ПГ – правило Гунда

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_03.html
2. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
3. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_19.html

ТЕМА 8. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МОЛЕКУЛ.

Вопросы для изучения по теме: Классическая и квантомеханическая теория химического строения молекул, комбинационное рассеяние света.

Аннотация темы: Молекула – электрически нейтральная частица, образованная из двух или более связанных ковалентными связями атомов. Молекула – это наименьшая частица химического вещества, обладающая всеми его химическими свойствами. К молекулам причисляют также одноатомные молекулы, то есть свободные (химически не связанные) атомы (например, инертных газов, ртути и т.п.). Заряженные молекулы называют ионами, молекулы с мультиплетностью, отличной от единицы (то есть с неспаренными электронами и ненасыщенными валентностями) – радикалами. С точки зрения квантовой механики молекула представляет собой систему не из атомов, а из электронов и атомных ядер, взаимодействующих между собой. Особенности строения молекул определяют физические свойства вещества, состоящего из этих молекул.

Ключевые слова: атом, молекула, комбинационное рассеяние света

Список сокращений:

- КРС – комбинационное рассеяние света
- СЛ – стоксовы линии
- АЛ – антистоксовы линии

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <http://nptel.ac.in/courses/115101003/>
2. <http://www.fen.bilkent.edu.tr/~bulutay/438-538/amo.pdf>

ТЕМА 9. АТОМ ВО ВНЕШНЕМ ПОЛЕ.

Вопросы для изучения по теме: сущность эффекта Зеемана, классическая модель Лоренца, квантовая модель нормального (простого) эффекта Зеемана, квантовая модель аномального (сложного) эффекта Зеемана, Лэмбовский сдвиг, эффект Штарка.

Аннотация темы: В 1896 г. П. Зееман (1865-1943) обнаружил интересное явление, заключающееся в том, что если поместить источник линейчатого спектра в магнитное поле, то спектральные линии испытывают расщепление на несколько компонент. Этот эффект, сыгравший важную роль в создании квантовой теории атома и квантовой физики в целом, получил название эффекта Зеемана. В зависимости от числа компонент различают нормальный (простой) эффект Зеемана и аномальный (сложный) эффект Зеемана.

Ключевые слова: эффект Зеемана, теория электронного строения вещества, модель Лоренца.

Список сокращений:

- ЭЗ – эффект Зеемана
- ЛС – Лэмбовский сдвиг

Рекомендуемые информационные ресурсы:

1. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
2. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/node66.html>
3. https://ufn.ru/ufn67/ufn67_9/Russian/r679d.pdf
4. Р. Х. Гайнутдинов, А. А. Мутыгуллина, “Лэмбовский сдвиг и естественное уширение спектральных линий атомов, взаимодействующих с интенсивным лазерным полем”, Физико-математические науки, Учён. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 150, № 2, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2008, 21–28.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ.

1. Противоречие законов фотоэффекта законам классической физики
2. Импульс фотона
3. Опыт Баркла
4. Когерентная и комптоновская линии
5. Классический аналог эффекта Рамзауэра-Таунсенда
6. Уравнение для волн де Бройля
7. Почему состояния описываются лучами?
8. Собственные состояния
9. Основные свойства собственных состояний
10. Как определяются операторы?
11. Почему операторы должны быть эрмитовыми?
12. Что можно сказать о наблюдаемых, имеющих общие собственные вектора?
13. Координатное представление
14. Импульсное представление
15. Канонические коммутативные соотношения
16. Доказать соотношения неопределенности Гейзенберга
17. Динамическое уравнение Шредингера
18. Оператор эволюции
19. Динамическое уравнение Шредингера в картине Гейзенберга
20. Динамическое уравнение Шредингера в картине взаимодействия
21. Моментный базис
22. Уравнение Шредингера в координатном представлении
23. Уравнение Шредингера в импульсном представлении
24. Стационарное уравнение Шредингера
25. Энергетические уровни атома водорода
26. Тонкая структура атома водорода
27. Лэмбовский сдвиг
28. Квантовые числа

29. Собственные векторы и значения оператора полного момента количества движения J
30. Спин
31. Инвариантность и законы сохранения
32. Тождественные частицы и статистика. Фермионы и бозоны.
33. Связь спина и статистики
34. Какая константа движения связана с инвариантностью относительно зеркального отражения?
35. Матрица Паули
36. Многоэлектронные атомы
37. Как определяется число состояний в электронной оболочке
38. Правила отбора
39. Парагелий и ортогелий

ОБЩИЙ ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. <https://www3.nd.edu/~johnson/Publications/book.pdf>.
2. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-422-atomic-and-optical-physics-ii-spring-2013/video-lectures/lecture-1-introduction-to-atomic-physics/>
3. https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20Lecture%20PPT%20slides%201_8.pdf
4. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
5. <https://itp.tugraz.at/~arrigoni/vorlesungen/atomphysik-quantenmechanik/public/mynotes-nobook.pdf>
6. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/>
7. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_toc.html
8. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_10.html
9. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_11.html
10. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/node42.html>

11. <https://users.physics.ox.ac.uk/~ewart/Atomic%20Physics%20lecture%20notes%20C%20port.pdf>
12. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_19.html
13. Р. Х. Гайнутдинов, А. А. Мутыгуллина, “Лэмбовский сдвиг и естественное уширение спектральных линий атомов, взаимодействующих с интенсивным лазерным полем”, Физико-математические науки, Учён. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 150, № 2, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2008, 21–28.
14. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_03.html
15. http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_19.html
16. <http://nptel.ac.in/courses/115101003/>
17. <http://www.fen.bilkent.edu.tr/~bulutay/438-538/amo.pdf>
18. <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/qm/Quantumhtml/node66.html>
19. https://ufn.ru/ufn67/ufn67_9/Russian/r679d.pdf