

**Программа курса
«Атомная физика»
для студентов астрономического отделения**

1. Излучение абсолютно черного тела. Спектральная плотность энергии равновесного излучения. Формула Релея-Джинса. «Ультрафиолетовая катастрофа». Формула Вина. Гипотеза квантов энергии. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина.
2. Интенсивность излучения и поток энергии излучения. Формула Стефана-Больцмана для потока.
3. Спектр излучения солнца. Реликтовое излучение.
4. Корпускулярные свойства излучения. Явление фотоэффекта.
5. Корпускулярные свойства излучения. Тормозное рентгеновское излучение. Квантовый предел.
6. Корпускулярные свойства излучения. Эффект Комптона. Рассеяние мягких квантов на пучках релятивистских электронов. Обратное комптоновское рассеяние как один из механизмов охлаждения солнечной короны.
7. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля. Опыты К.Девиссона и Л.Джермера. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости. Расплывание волнового пакета. Физический смысл волны де Бройля.
8. Соотношение неопределенностей координата-импульс. Детерминированность классической физики и вероятностный подход в квантовой механике. Проблема измерений в квантовых системах. Измерения «без взаимодействия».
9. Соотношение неопределенностей энергия-время. Конечные времена жизни состояний. Уширение спектральных линий.
10. Модели атомов. Атом Томсона. Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома. Атом Бора и постулаты Бора. Экспериментальное доказательство дискретной структуры атомных уровней. Опыты Франка и Герца. Спектральные серии и уровни энергии водородного атома.
11. Спектральные серии водородоподобных систем. Изотопический сдвиг атомных уровней.
12. Квантование Бора-Зоммерфельда для эллиптических орбит. Принцип соответствия. Релятивистское обобщение модели Бора.
13. Операторы физических величин в квантовой механике. Физический смысл волновой функции. Плотность потока вероятности и уравнение непрерывности.
14. Собственные функции и собственные значения для различных операторов. Состояние частицы с точно определенным импульсом.
15. Точно определенные и средние значения физических величин. Определение средних значений и дисперсии координаты и импульса частицы в случае гауссова волнового пакета.
16. Нестационарное уравнение Шредингера. Разделение переменных. Стационарное уравнение Шредингера. Стационарные состояния.
17. Стационарные состояния свободной частицы. Плотность потока вероятности для свободной частицы.
18. Стационарные состояния в бесконечно-глубокой потенциальной яме.
19. Стационарные состояния в потенциальной яме конечной глубины. Соотношение неопределенностей. Условие существования единственного связанного состояния.
20. Поток частиц, налетающий на потенциальную ступеньку. Коэффициент отражения. Проникновение в классически запрещенную область.
21. Барьер конечной ширины. Коэффициенты отражения и прохождения. Туннельный эффект. Сравнение с результатами классической теории.
22. Автоэлектронная эмиссия. Альфа-распад атомных ядер. Периоды полураспада.
23. Линейный гармонический осциллятор. Классическая аналогия. Осциллирующий волновой пакет. Когерентное состояние осциллятора.
24. Стационарные состояния в центрально-симметричном потенциале. Разделение переменных. Уравнение для угловой части волновой функции. Собственные функции и собственные значения для операторов квадрата момента импульса и z-проекции момента импульса. Распределения плотности вероятности по углу.
25. Трехмерная сферическая яма конечной глубины. Условие существования связанных состояний.
26. Движение частицы в кулоновском потенциале. Стационарные состояния и уровни энергии электрона в атоме водорода. Радиальное и угловое распределение вероятности. Сравнение с моделью атома

водорода по Бору. «Случайное» вырождение. Спектр атома водорода без учета тонкой структуры и эффектов более высоких порядков малости. Средние значения потенциальной и кинетической энергий.

27. Собственный механический момент импульса электрона. Правило сложения моментов. Суммарный механический момент импульса электрона. Спин-орбитальное взаимодействие в атоме водорода. Тонкая структура спектра атома водорода. Формула Дирака. Величина расщепления.

28. Сверхтонкая структура спектра атома водорода. Величина расщепления.

29. Одноэлектронное приближение для многоэлектронных систем. Атомы щелочных металлов. Учет поляризационных эффектов. Стационарные состояния и уровни энергии в атомах щелочных металлов. Квантовый дефект. Спектр атомов Li и Na. Тонкая структура спектров щелочных металлов. Изозлектронная последовательность атомов Li и Na.

30. Многоэлектронные атомы. Иерархия взаимодействий в многоэлектронном атоме. L-S и j-j связь. Сложение невзаимодействующих моментов количества движения. Систематика состояний многоэлектронных атомов. Конфигурация, терм, состояние.

31. Тожественность микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Волновая функция системы из двух невзаимодействующих электронов. Термы конфигурации двух эквивалентных электронов.

32. Общие принципы описания многоэлектронных атомов. Заполнение атомных подоболочек и оболочек электронами. Термы многоэлектронных атомов. Правила Хунда. Основные состояния элементов таблицы Менделеева.

33. Атом гелия. Основное состояние. Теория возмущений. Отрицательный ион водорода. Неприменимость теории возмущений. Роль межэлектронных корреляций.

34. Возбужденные состояния атома гелия. Триплетные и синглетные термы. Кулоновская и обменная поправки к энергии состояния. Энергетический спектр гелия. Автоионизационные состояния.

35. Тонкая структура спектра многоэлектронных атомов. Правило интервалов Ланде. Величина расщепления. Понятие о сверхтонкой структуре спектра многоэлектронных систем.

36. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем. Нестационарная теория возмущений. Вероятности вынужденных и спонтанных переходов. Сила осциллятора. Правила сумм.

37. Матричный элемент перехода оператора дипольного момента. Правила отбора. Вероятность спонтанного перехода $2P-1S$ в атоме водорода.

38. Спектральные серии атома водорода. Спектральные серии атомов щелочных металлов. Относительная интенсивность линий мультиплетов.

39. Электромагнитные переходы и правила отбора в многоэлектронных атомах. Правило Лапорта.

40. Квантовое электромагнитное поле и его взаимодействие с атомом. Спонтанные переходы. Уширение спектральных линий. Лэмбовский сдвиг атомных уровней. Опыт Лэмба и Ризерфорда.

41. Атом в магнитном поле. Магнитный момент атома. Фактор Ланде. Эффекты Зеемана и Пашена-Бака. Критическое магнитное поле. Опыт Штерна и Герлаха.

42. Переходы между компонентами сверхтонкой структуры атома водорода. Радиолиния $\lambda=21.1$ см. Радиоастрономия. Переходы между высоковозбужденными ридберговскими состояниями. Микроволновая спектроскопия.

43. Запрещенные переходы. Небулярные линии. Переходы между термами одной конфигурации. Корональные линии.

44. Метастабильные состояния атома водорода. Переход $2S-1S$ в атоме водорода в газовых туманностях.

45. Борновское приближение при возбуждении атома электронным ударом. Сечение возбуждения резонансных переходов.

46. Понятие об элементарных процессах в плазме.

47. Коэффициенты Клебша-Гордана. $6j$ символы. Коэффициенты Рака.

Основная литература.

- Попов А.М., Тихонова О.В. Лекции по атомной физике, М.: Физ.фак. МГУ, 2007
- Шпольский Э.В. Атомная физика, т.1,2. М.: Наука, 1974
- Матвеев А.Н. Атомная физика, М.: Высшая школа, 1989
- Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику, М.: Наука, 1988
- Вихман Э., Квантовая физика, М.: Наука, 1974
- Сивухин Д.В. Курс общей физики, т.5, ч.1, М.: Наука, 1988
- Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров, М.: Наука, 1977
- Бете Г., Солпитер Квантовая механика атома с одним и двумя электронами М.: 1960

Дополнительная литература.

- Борн М. Атомная физика, М.: Мир, 1965
- Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике, т.3,8,9 М.: Мир, 1967
- Фано У., Фано Л. Физика атомов и молекул, М.: Наука, 1980
- Флюгге З. Задачи по квантовой механике, т.1,2. М.: Мир, 1974
- Милантьев В.П., Атомная физика, М.: Из-во Университета дружбы народов, 1999