

А.П.Кобушкин

*Институт теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова НАН
Украины*

*Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт"*

ЛЕКЦИИ ПО КВАНТОВОЙ
ФИЗИКЕ.

I. АТОМНАЯ ФИЗИКА

Кієвъ, 1999—2000 г.

*Нас так природа сотворила
К противуречию склонна
А.С. Пушкин, “Евгений Онегин”*

Содержание

1	Введение	11
2	Модель атома Бора и ее следствия	15
2.1	Опыты Резерфорда	15
2.2	Линейчатый спектр атома водорода. Комбинационный принцип Ритца	21
2.3	Постулаты Бора	23
2.4	Расчет энергетического спектра и постоянной Ридберга	24
2.5	Опыт Франка-Герца	26
2.6	Недостатки боровской теории атома водорода	28
3	Корпускулярно–волновой дуализм	30
3.1	Двойственная природа света	30
3.2	Несколько слов о специальной теории относительности и корпускулярных свойствах света	31
3.3	Экспериментальное подтверждение корпускулярно–волнового дуализма. Опыт Комптона	33
3.4	Универсальность корпускулярно-волнового дуализма. Волны де Бройля	37
3.5	Экспериментальное подтверждение существования волн де Бройля	38
3.6	Физический смысл волн де Бройля	41
3.7	Амплитуда вероятности или волновая функция	43
3.8	Плоские волны и волновые пакеты	47
3.9	Принцип неопределенностей	48
3.9.1	Интегралы по траекториям	50

3.10	Задачи	51
4	Уравнение Шредингера	58
4.1	Обоснование уравнения Шредингера	58
4.1.1	Аналогия с оптикой	58
4.1.2	Операторы физических величин	60
4.1.3	Явный вид операторов импульса и координаты	64
4.1.4	Уравнение непрерывности	64
4.1.5	Процесс измерения и редукция волнового пакета	65
4.2	Стационарные решения уравнения Шредингера	66
4.2.1	Стационарное уравнение Шредингера	66
4.2.2	Выбор нормировки для дискретного и непрерывного спектров	68
4.2.3	Суперпозиция квантовых состояний	69
4.3	Задачи	70
5	Квантовая механика в простейших одномерных системах	72
5.1	Свободное движение частицы	72
5.2	Частица в одномерной прямоугольной яме	75
5.3	Туннельный эффект	81
5.3.1	Автоэлектронная эмиссия	82
5.4	Гармонический осцилятор	83
5.4.1	Гармонический осцилятор в представлении чисел заполнения	88
5.5	Задачи	91
6	Момент импульса в квантовой теории	94
6.1	Момент импульса в классической механике	94
6.1.1	Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения между его компонентами	95
6.2	Гамильтониан частицы, находящейся в сферически-симметричном поле	97
6.3	Квантовая частица в сферически-симметричном поле	99

6.3.1	Спектр собственных значений и собственные функции операторов \hat{L}^2 и \hat{L}_3	100
6.3.2	Квантовая частица в сферически-симметричном поле	104
6.4	Четность	105
6.4.1	Оператор инверсии пространства и его собственные значения	105
6.4.2	Четность частицы находящейся в сферически-симметричном поле	106
6.4.3	Сохраняется ли четность?	107
6.5	Задача	107
7	Магнитный момент в квантовой механике	109
7.1	Магнитный момент орбитального “движения” заряженной частицы	109
7.1.1	Классический случай	109
7.1.2	Магнитный момент орбитального “движения” квантовой частицы	111
7.1.3	Квантование энергии частицы во внешнем магнитном поле	113
7.2	Спин электрона и других частиц	115
7.2.1	Опыт Штерна-Герлаха	115
7.2.2	Открытие спина электрона	117
7.3	Спин и магнитные моменты частиц	118
7.4	Магнитомеханические явления	120
8	Сложение моментов количества движения в квантовой механике	122
8.1	Полный момент импульса электрона в атоме	122
8.2	Сложение двух моментов количества движения. Общий случай	125
9	Простейшие атомы	128
9.1	Атом водорода	128

9.1.1	Расчет уровней и волновых функций для связанного электрона в атоме водорода	128
9.1.2	Плотность распределения электронного “облака” в атоме водорода	132
9.1.3	Водородоподобные атомы	135
9.2	Атомы щелочных металлов	135
9.2.1	Понятие о самосогласованном потенциале	135
9.2.2	Спектры атомов щелочных металлов	137
10	Принцип тождественности частиц в квантовой механике	141
10.1	Принципиальная неразличимость тождественных частиц в квантовой механике	141
10.2	Перестановочная симметрия волновой функции тождественных частиц	144
10.2.1	Принцип Паули	146
10.3	Задача	147
11	Многоэлектронные атомы	149
11.1	Двухэлектронный атом	149
11.1.1	Орто- и пара-состояния	149
11.1.2	Симметричные и антисимметричные спиновые волновые функции двух электронов	151
11.1.3	Орбитальные волновые функции с определенной симметрией относительно перестановки электронов	152
11.1.4	Основное состояние гелиеподобного атома (состояние $(1s)^2$)	153
11.1.5	Первое возбужденное состояние гелиеподобного атома (состояние $1s2s$)	155
11.2	Периодическая система элементов Менделеева	158
11.2.1	Электронные оболочки в атомах	158
11.2.2	Число элементов в периодах	161
11.2.3	Открытие гафния	164

12	Механический и магнитный моменты атомов	166
12.1	LS и jj связи	166
12.2	Спектроскопические обозначения	167
12.3	Атом во внешнем магнитном поле	168
12.3.1	Случай слабого магнитного поля. Фактор Ланде	168
12.3.2	Атом в сильном магнитном поле	170
13	Электромагнитные переходы в атомах	172
13.1	Испускание и поглощение света атомом	172
13.1.1	Правила отбора. Электрические дипольные пе- реходы	173
13.1.2	Другие типы переходов	177
13.2	Электронный парамагнитный резонанс	178
13.3	Правила отбора и эффект Зеемана	179
13.3.1	Нормальный эффект Зеемана	180
13.3.2	Аномальный эффект Зеемана	180
13.4	Время жизни возбужденного состояния и ширина энер- гетического уровня	181
14	Релятивистские эффекты в атомных спектрах	184
14.1	Тонкая структура атомных спектров	184
14.1.1	Мультиплетность тонкой структуры спектров .	184
14.1.2	Спин-орбитальное взаимодействие в атоме . . .	185
14.1.3	Другие релятивистские поправки	188
14.2	Еще о поправках к уровням атома водорода	191
14.3	Правила отбора по полному моменту количества дви- жения	193
15	Рентгеновские спектры	196
15.1	Рентгеновские спектры излучения и поглощения. За- кон Мозли.	196
16	Свойства молекул	201
16.1	Адиабатическое приближение. Электронные, враща- тельные и колебательные возбуждения в молекулах .	201