

# Содержание

Предисловие . . . . .	11
1. Кот Шрёдингера . . . . .	14
Кот Шрёдингера . . . . .	16
Не так, как при бросании монеты . . . . .	19
Реальные явления могут вести себя подобно шрёдингеровским котам . . . . .	19
2. Размер абсолютен . . . . .	21
Размер в повседневной жизни . . . . .	22
Метод наблюдения имеет значение . . . . .	24
Большое или малое — это величина возмущений . . . . .	26
Причинность для больших объектов . . . . .	26
Возмущения, которыми нельзя пренебречь, — это важно . . . . .	29
Возмущение есть всегда . . . . .	30
Нельзя рассчитать будущее — только вероятности . . . . .	32
3. Кое-что о волнах . . . . .	34
Что такое волны? . . . . .	34
Волны характеризуются скоростью и частотой . . . . .	35
Океанские волны . . . . .	37
Звуковые волны . . . . .	37
Классические световые волны . . . . .	38
Видимый свет . . . . .	40
Сложение волн — интерференция . . . . .	41
Интерференционные картины и оптический интерферометр . . . . .	43

4. Фотоэлектрический эффект и объяснение Эйнштейна . . . . .	49
Фотоэлектрический эффект . . . . .	49
Волновая модель не работает. . . . .	50
Эйнштейн дает объяснение . . . . .	52
Красный свет выбивает более медленные электроны, чем голубой. . . . .	54
Очень красный свет не выбивает электронов . . . . .	56
С какой скоростью вылетает электрон . . . . .	57
5. Свет: волны или частицы? . . . . .	59
Классическое описание интерференции не годится для фотонов . . . . .	60
Новое описание фотонов в интерферометре . . . . .	63
Фотон интерферирует сам с собой . . . . .	65
Фотон может находиться в двух местах сразу . . . . .	65
Наблюдение вызывает непренебрежимо малое возмущение, приводящее к изменению состояния . . . . .	66
Возвращаемся к котам Шрёдингера . . . . .	67
Возвращаемся к фотоэлектрическому эффекту . . . . .	69
6. Размеры фотона и принцип неопределенности Гейзенберга. . . . .	70
Частицы имеют длину волны . . . . .	71
Как выглядит волновая функция свободной частицы. . . . .	72
Частица с хорошо определенным импульсом размазана по всему пространству . . . . .	73
Интерференция волн разной длины . . . . .	75
Принцип суперпозиции. . . . .	78
Импульс частицы в состоянии суперпозиции определен не вполне четко . . . . .	82
Где находится частица, когда она пребывает в состоянии суперпозиции по импульсу? . . . . .	83
Принцип неопределенности Гейзенберга . . . . .	88
7. Фотоны, электроны и бейсбольные мячи . . . . .	92
Волны или частицы? . . . . .	92
Дифракция света . . . . .	93
Электроны в кинескопе ведут себя как снаряды . . . . .	97
Электроны и фотоны — это частицы и волны, а бейсбольные мячи — это лишь частицы . . . . .	104

8. Квантовый ракетбол и цвет фруктов . . . . .	107
Частица в ящике — классический случай . . . . .	109
Частица в ящике — квантовый случай. . . . .	112
Значения энергии квантовой частицы в ящике . . . . .	113
Связь результатов для частицы в ящике с реальными системами . . . . .	122
9. Атом водорода: история. . . . .	128
Спектр солнечного чернотельного излучения . . . . .	130
Боровская теория атома водорода (не вполне совершенная) . . . . .	136
10. Атом водорода: квантовая теория . . . . .	139
Уравнение Шрёдингера . . . . .	139
Что уравнение Шрёдингера говорит нам о водороде . . .	140
Четыре квантовых числа . . . . .	142
Энергетические уровни атома водорода . . . . .	144
s-орбитали атома водорода . . . . .	146
Пространственное распределение s-орбиталей . . . . .	148
Функция радиального распределения . . . . .	151
Формы p-орбиталей . . . . .	155
Формы d-орбиталей . . . . .	157
11. Многоэлектронные атомы и Периодическая таблица элементов . . . . .	160
Водород — особый . . . . .	161
Формы орбиталей важны для атомов крупнее водорода . . . . .	162
Энергетические уровни многоэлектронного атома . . . .	163
Три правила заполнения энергетических уровней электронами . . . . .	164
Периодическая таблица элементов. . . . .	168
Большинство элементов — металлы. . . . .	185
12. Молекула водорода и ковалентная связь . . . . .	188
Два атома водорода, находящихся далеко друг от друга . . . . .	189
Два атома водорода сближаются . . . . .	189
Приближение Борна — Оппенгеймера . . . . .	190
Образование связывающих молекулярных орбиталей . . . . .	194

Связывающие и разрыхляющие молекулярные орбитали . . . . .	196
Расселение электронов по молекулярным орбиталям . .	198
Молекула водорода есть, а молекулы гелия нет. . . . .	199
13. Что удерживает атомы вместе: двухатомные молекулы . .	206
Сигма-связи ( $\sigma$ ) и пи-связи ( $\pi$ ) . . . . .	207
Сигма-орбитали молекул . . . . .	209
Молекулярные пи-орбитали . . . . .	211
Связи в двухатомных молекулах: молекула фтора . . .	212
Молекулы неона не существует. . . . .	217
Молекула кислорода: правило Хунда имеет значение. .	217
Молекула азота. . . . .	221
Одиночные, двойные и тройные связи . . . . .	221
Гетеронуклеарные двухатомные молекулы . . . . .	224
Визуальные модели молекул. . . . .	229
14. Более крупные молекулы: формы многоатомных молекул. . . . .	231
Формы молекул: тетраэдрический метан . . . . .	232
Переходящие электроны . . . . .	237
Гибридные атомные орбитали: линейные молекулы. . .	239
Гибридные атомные орбитали: треугольные молекулы . . . . .	243
Гибридные атомные орбитали: тетраэдрические молекулы . . . . .	244
Углеводороды с одиночной связью . . . . .	247
Большие углеводороды имеют множество структур . . .	251
Двойные и тройные углерод-углеродные связи . . . . .	254
15. Пиво и мыло . . . . .	259
Спирты . . . . .	259
При комнатной температуре этанол жидкий, а не газообразный. . . . .	261
Вода образует водородные связи . . . . .	264
Вода — великий растворитель . . . . .	267
Этанол участвует в химических реакциях с кислородом. . . . .	267
Метанол крайне ядовит . . . . .	270
Мыло . . . . .	272

Крупные углеводороды — это масло и жир . . . . .	272
Крупные углеводороды могут иметь много разных структур . . . . .	274
Нефтепродукты и вода не смешиваются . . . . .	275
Строение молекул мыла . . . . .	275
16. В жирах важны двойные связи . . . . .	280
Из чего состоят жировые молекулы? . . . . .	280
Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты . . . . .	282
Формы жировых молекул . . . . .	283
Насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты . . . . .	284
Важность двойных связей в жирных кислотах . . . . .	285
Химически модифицированные жирные кислоты . . . . .	286
Частично гидрогенизированные и гидрогенизированные жиры . . . . .	287
Гидрогенизация жиров . . . . .	288
Читайте этикетки . . . . .	289
Транс-жиры . . . . .	289
Природа производит цис-жиры, а химическая обработка — транс-жиры . . . . .	292
Транс-жиры могут быть опасны . . . . .	293
Когда ноль — это ноль . . . . .	294
Омега-3 жирные кислоты . . . . .	295
Триглицериды . . . . .	297
Холестерин . . . . .	298
Вопреки общему мнению, холестерин полезен . . . . .	300
Проблема с холестерином . . . . .	302
17. Парниковые газы . . . . .	304
Углекислый газ, образующийся при сжигании ископаемого топлива . . . . .	304
Горение метана: природный газ . . . . .	305
Что такое парниковый газ? . . . . .	306
При сжигании ископаемого топлива выделяется углекислый газ . . . . .	308
Углекислый газ является парниковым в силу квантовых эффектов . . . . .	312
Чернотельный спектр Земли . . . . .	313

Парниковый эффект $\text{CO}_2$ является квантовомеханическим . . . . .	322
18. Ароматические молекулы . . . . .	323
Бензол: классический ароматический углеводород. . . . .	324
Бензольные делокализованные молекулярные пи-орбитали . . . . .	330
Нафталин с позиций задачи о частице в ящике . . . . .	335
19. Металлы, изоляторы и полупроводники . . . . .	337
Металлы . . . . .	338
Диэлектрики . . . . .	345
Полупроводники . . . . .	348
Сверхпроводимость . . . . .	354
20. Квантовое мышление. . . . .	357
Опыт учит нас понимать классический мир. . . . .	358
Понимание того, что мы видим вокруг себя, требует некоторого знания квантовой механики . . . . .	359
Энергетические уровни и цвета связаны с волновой природой частиц. . . . .	360
Квантовые механизмы скрепляют атомы между собой и определяют форму молекул . . . . .	362
Углекислый газ является парниковым в силу квантовых эффектов . . . . .	363
Очень горячие объекты испускают видимое чернотельное излучение . . . . .	366
Электрический нагрев — квантовое явление. . . . .	366
Абсолютно малое . . . . .	369
Глоссарий . . . . .	371