

# Оглавление

Предисловие.....	11
------------------	----

## Квантовая механика

Г л а в а I. Введение .....	13
-----------------------------	----

### § 1. Экспериментальные основания квантовой механики .....

1. Дискретность величин (13). 2. Корпускулярно-волновой дуализм (14). 3. Существование явлений, не имеющих классических аналогов (14).

### § 2. Особенности квантовой механики .....

1. Отсутствие траекторий частиц (15). 2. Принцип неопределенности (15). 3. Измерение (15).

### § 3. Математический аппарат квантовой механики .....

1. Гильбертово пространство (16). 2. Скалярное произведение (16). 3. Сходимость последовательностей (17). 4. Две реализации (17). 5. Операторы (19). 6. Представление операторов (21). 7. Самосопряженные операторы (22). 8. Унитарные операторы (22). 9. Разложение по полным системам (23).

Г л а в а II. Основные положения квантовой механики .....	25
---	----

### § 1. Физические переменные и их операторы .....

1. Величины в квантовой механике (25). 2. Оператор координаты (25). 3. Оператор импульса (26). 4. Операторы других величин (28). 5. Оператор энергии (28).

### § 2. Состояние квантовомеханической системы ..

1. Описание состояний (29). 2. Принцип суперпозиции (29). 3. Смысл описания (30).

### § 3. Измерение физических величин .....

1. Первое измерение (32). 2. Повторное измерение (33). 3. Измерение двух величин (34). 4. Неравенство Гайзенберга (34).

### § 4. Изменение состояний .....

1. Волновая функция (35). 2. Уравнение Шредингера (36). 3. Производная от квадратичной формы (37). 4. Сохранение нормировки (38). 5. Эволюция средних значений (38). 6. Производная от оператора (38). 7. Примеры (38). 8. Уравнение неразрывности (39). 9. Стационарные состояния (40). 10. Свойства стационарных состояний (41). 11. Общее решение (41).

<b>Г л а в а III. Простейшие квантовомеханические системы</b> .....	42
<b>§ 1. Свободная частица</b> .....	—
<b>§ 2. Операторы рождения, уничтожения и номера состояния</b> .....	43
1. Определения (43). 2. Собственные значения оператора $\hat{N}$ (44).	
3. Собственные векторы оператора $\hat{N}$ (45). 4. Представление операторов (45).	
<b>§ 3. Гармонический осциллятор</b> .....	45
1. Классический осциллятор (45). 2. Уравнение Шредингера (46).	
3. Операторная форма уравнения (47). 4. Собственные значения и собственные функции оператора энергии гармонического осциллятора (47). 5. Многочлены Эрмита (49). 6. Сравнение квантового и классического осцилляторов (50).	
<b>Г л а в а IV. Момент в квантовой механике</b> .....	54
<b>§ 1. Понятие момента</b> .....	—
1. Механический момент (54). 2. Общий момент (55). 3. Коммутация с квадратом (55).	
<b>§ 2. Собственные значения момента</b> .....	56
1. Определения (56). 2. Неравенство (56). 3. Два оператора и их свойства (56). 4. Собственные значения $\hat{J}^2$ и $\hat{J}_z$ (57).	
<b>§ 3. Орбитальный момент</b> .....	58
1. Операторы квадрата и проекции (58). 2. Уравнения на собственные значения (58). 3. Величины собственных значений (59).	
4. Функции Лежандра (59). 5. Сферические функции (60).	
<b>§ 4. Спиновый момент</b> .....	61
1. Спин элементарных частиц (61). 2. Спин электрона (61).	
<b>§ 5. Сложение моментов</b> .....	62
1. Определение суммы моментов (62). 2. Диагонализуемые операторы (63). 3. Собственные значения квадрата суммы моментов (64). 4. Собственные векторы квадрата суммы моментов (64). 5. Сложение спинов 1/2 (65).	
<b>§ 6. Сложение произвольного момента со спином 1/2</b> .....	65
1. Нормировка собственных векторов (65). 2. Операторы проекций (65). 3. Собственные векторы квадрата суммы моментов $l$ и $1/2$ (66). 4. Коэффициенты Клебша—Гёрдана (66). 5. Сложение двух спинов 1/2 (67).	
<b>Г л а в а V. Частица в центральном поле</b> .....	68
<b>§ 1. Свободная частица</b> .....	—
1. Уравнение Шредингера (68). 2. Радиальное уравнение (69).	
3. Асимптотика радиальной функции (69). 4. Асимптотика полного решения (70). 5. Вероятностная трактовка (71).	

§ 2. Общий случай .....	71
1. Радиальное уравнение (71). 2. Асимптотика решений (71). 3. Распределение вероятностей (72). 4. Частные случаи распределения по углам (73).	
§ 3. Атомная система единиц .....	74
§ 4. Электрон в кулоновском поле .....	76
1. Радиальное уравнение (76). 2. Поведение решения вблизи центра (77). 3. Вырожденные гипергеометрические функции (78). 4. Спектр энергии (80). 5. Радиальные и полные с.ф. (81).	
§ 5. Атом водорода и водородоподобные ионы ...	82
1. Уравнение Шредингера и разделение переменных (82). 2. Спектр водородоподобных ионов (84). 3. Состояния (86).	
Г л а в а VI. Полуклассическая теория излучения .....	88
§ 1. Эйнштейновские коэффициенты вероятностей переходов .....	—
1. Определения (88). 2. Соотношения между коэффициентами (89). 3. О вынужденном излучении (90).	
§ 2. Формула для коэффициента $A_{ik}$ .....	91
§ 3. Излучение осциллятора .....	93
1. Правила отбора (93). 2. Коэффициенты перехода (94).	
§ 4. Правила отбора для атома водорода .....	94
§ 5. Переход $2 \rightarrow 1$ атома водорода .....	96
§ 6. Замечания .....	98
§ 7. Профиль и ширина линии .....	99
1. Распад возбуждения (99). 2. Вероятностная трактовка (100). 3. Форма линии (100). 4. Многоуровневый атом (101).	
Г л а в а VII. Приближенные методы квантовой механики .....	103
§1. Стационарная теория возмущений .....	—
1. Предположения (103). 2. Возмущения различных порядков (104). 3. Случай невырожденного уровня (105). 4. Случай вырожденного уровня (106). 5. Эффект Штарка атома водорода (108).	
§2. Квазиклассическое приближение .....	111
1. Преобразование уравнения Шредингера (111). 2. Уравнения первого и второго приближений (112). 3. Физический смысл второго уравнения (112). 4. Стационарные состояния (113). 5. Одномерное движение (114). 6. Условие применимости (115). 7. Интерпретация решения (115). 8. Условие квантования по Бору (117). 9. Интерпретация условия квантования (119).	
§ 3. Вариационный метод .....	120

Г л а в а VIII. Спин и тождественность частиц .....	123
§ 1. Спин электрона .....	—
§ 2. Тонкая и сверхтонкая структура уровней атома водорода .....	126
1. Тонкая структура (126). 2. Другие поправки (128). 3. Схема первых двух уровней (130).	
§ 3. Тождественность частиц .....	131
1. Принцип неразличимости (131). 2. Два класса частиц (132). 3. Волновые функции невзаимодействующих частиц (133). 3. Вол- новые функции двух невзаимодействующих электронов в электри- ческом поле (134).	
§ 4. Атом гелия .....	136
1. Классификация уровней (136). 2. Энергия основного состоя- ния (137). 3. Возбужденные состояния (140). 4. Схема уровней атома гелия (141).	
Г л а в а IX. Элементарная теория столкновений .....	143
§ 1. Классическое эффективное сечение упругих столкновений .....	—
1. Предположения и описание движения частиц (143). 2. Зако- ны сохранения (144). 3. Столкновение (145). 4. Две системы от- счета (147). 5. Параметры столкновения (147). 6. Определение эффективного сечения (148). 7. Случай радиального взаимодей- ствия (150). 8. Вычисление сечения при радиальном взаимодей- ствии (151). 9. Примеры (154).	
§ 2. Квантовое эффективное сечение и его связь с волновой функцией .....	156
1. Определение эффективного сечения (156). 2. Постановка задачи о рассеянии (158). 3. Связь с волновой функцией (158).	
§ 3. Основное интегральное уравнение теории столкновений .....	159
1. Уравнение для рассеянной волны (159). 2. Функция Грина урав- нения Гельмгольца (160). 3. Основное уравнение (161).	
§ 4. Борновское приближение .....	162
1. Первый порядок приближения (162). 2. Сферически симмет- ричный потенциал (163). 3. Потенциальная яма (164). 4. Условие применимости (164). 5. Экранированный кулоновский потенци- ал (165). 6. Кулоновский потенциал (166).	
§ 5. Столкновения тождественных частиц .....	168
1. Сечение (168). 2. Рассеяние неполяризованных частиц (169). 3. Формула Мотта (170).	

# Статистическая физика и основы кинетики

<b>Глава I. Основные положения термодинамики</b> .....	171
<b>§ 1. Первое начало термодинамики</b> .....	—
1. Два подхода в термодинамике (171). 2. Механические величины (171). 3. Внутренние и внешние параметры (172). 4. Адиабатический процесс (172). 5. Теплота (173).	
<b>§ 2. Равновесие и второе начало термодинамики</b> .....	174
1. Термодинамическое равновесие (174). 2. Температура (174). 3. Обратимые и необратимые процессы (175). 4. Второе начало термодинамики (175).	
<b>§ 3. Обратимые процессы</b> .....	176
1. Свободная энергия (176). 2. Адиабатический процесс (177). 3. Линейная связь между функциями $G$ и $g$ (178). 4. Абсолютная температура (179). 5. Энтропия (180). 6. Основное уравнение термодинамики обратимых процессов (181). 7. Связь свободной энергии с энтропией (181).	
<b>§ 4. Некоторые приложения</b> .....	182
1. Теплоемкость (182). 2. Цикл Карно (182). 3. КПД произвольного цикла (184).	
<b>§ 5. Идеальный газ</b> .....	185
1. Уравнение состояния (185). 2. Связь между теплоемкостями идеального газа (186). 3. Теплоемкости идеального газа (187). 4. Энтропия идеального газа (187). 5. Уравнение адиабаты (188).	
<b>§ 6. Необратимые и неравновесные процессы</b> ...	189
1. Необратимые адиабатические переходы (189). 2. Энтропия неравновесных состояний (189). 3. Закон возрастания энтропии (191). 4. Условие равновесия (192).	
<b>Глава II. Распределения Гиббса</b> .....	193
<b>§ 1. Основные положения статистической физики</b> .....	—
1. Особенности систем с большим числом частиц (193). 2. Основные определения (193). 3. Функция распределения (194). 4. Свойства функции распределения (195).	
<b>§ 2. Теорема Лиувилля</b> .....	196
<b>§ 3. Распределения Гиббса</b> .....	198
1. Подход Гиббса (198). 2. Каноническое распределение (198). 3. Большое каноническое распределение (200).	

§ 4. Термодинамические величины в статистической физике .....	200
1. Энтропия (200). 2. Информационная энтропия (201). 3. Температура (202). 4. Аддитивные величины (203). 5. Основное термодинамическое равенство в дифференциальной форме (203). 6. Термодинамические потенциалы (204). 7. Основное термодинамическое тождество в интегральной форме (205). 8. Условие равновесия при переменном числе частиц (206).	
§ 5. Экстремальность распределений Гиббса ....	207
§ 6. Вывод термодинамических равенств из большого канонического распределения .	209
1. Основное равенство (209). 2. Выражение для функции распределения (210). 3. Формула для числа частиц (210). 4. Формула для энтропии (211). 5. Формула для давления (211).	
§ 7. О других распределениях Гиббса .....	211
1. Микроканоническое распределение (211). 2. Вывод большого канонического распределения из микроканонического (212).	
§ 8. Замечания .....	214
1. О методе Гиббса (214). 2. О системах с фиксированным числом частиц (215). 3. О квантовой статистике (215). 4. Об энтропии (216).	
Г л а в а III. Идеальный газ .....	218
§ 1. Неравновесный идеальный газ .....	—
1. Распределение частиц по состояниям (218). 2. Больцмановский газ (218). 3. Газ фермионов (219). 4. Газ бозонов (220). 5. Пример (221).	
§ 2. Равновесные распределения идеального газа .....	221
1. Способ вывода (221). 2. Характеристики распределений (222). 3. Распределение Ферми—Дирака (223). 4. Распределение Бозе—Эйнштейна (223). 5. Общие формулы (224). 6. Вероятностная трактовка (225). 7. Переход к больцмановскому распределению (225).	
§ 3. Классический идеальный газ .....	226
1. Потенциал и число частиц (226). 2. Формула Максвелла—Больцмана (226). 3. Однородные газы (227). 4. Уравнение состояния (227). 5. Нерелятивистские газы (227). 6. Число частиц (227). 7. Функция распределения (228). 8. Энтропия (228). 9. Энергия (228).	
§ 4. Давление .....	229
1. Молекулярно-кинетический вывод (229). 2. Статистический вывод (229).	

§ 5. Законы термодинамического равновесия ...	230
1. Формула Максвелла (230). 2. Формула Больцмана (232). 3. Формула Саха (234).	
§ 6. Барометрическое распределение .....	236
1. Функция распределения (236). 2. Большой термодинамический потенциал и энтропия (237). 3. Барометрические формулы (238). 4. Энергия (239). 5. Основное тождество в дифференциальной форме (239).	
§ 7. Флюктуации термодинамических величин ..	240
1. Флюктуации числа частиц (240). 2. Флюктуации энергии (242).	
Г л а в а IV. Газы элементарных частиц .....	245
§ 1. Общие распределения .....	—
1. Особенности газов элементарных частиц (245). 2. Концентрация, давление и плотность энергии (245). 3. Нерелятивистский предел (247). 4. Ультрарелятивистский предел (247).	
§ 2. Слабо вырожденные нерелятивистский и релятивистский газы .....	248
1. Нерелятивистский газ (248). 2. Релятивистский газ (250).	
§ 3. Полностью вырожденный нерелятивистский газ фермионов .....	252
§ 4. Сильно вырожденный нерелятивистский газ фермионов .....	253
1. Асимптотическая оценка интегралов (253). 2. Уравнение состояния (254).	
§ 5. Полностью вырожденный релятивистский газ фермионов .....	256
1. Общий случай полного вырождения (256). 2. Предельные случаи (257). 3. Простой вывод уравнений состояния (258).	
§ 6. Сильно вырожденный газ бозонов .....	259
§ 7. Сводка результатов .....	262
§ 8. Фотонный газ .....	263
Г л а в а V. Элементы кинетической теории .....	268
§ 1. Кинетическое уравнение для идеального газа .....	—
1. Функция распределения (268). 2. Первый способ вывода (269). 3. Второй способ вывода (270).	
§ 2. Интеграл столкновений Больцмана .....	270
1. Предположения (270). 2. Столкновение (272). 3. Вывод интеграла столкновений (272). 4. Другая форма интеграла столкновений (274).	
§ 3. Равновесные распределения .....	275

§ 4. Свойства интеграла столкновений .....	276
1. Коэффициент поглощения (276). 2. Определение функционалов (276). 3. Симметризация по импульсам (277). 4. Симметризация по сортам частиц (277). 5. Сумма симметризованных функционалов (277). 6. Обращение суммы функционалов в нуль (278).	
§ 5. <i>H</i> -теорема Больцмана .....	278
§ 6. Интеграл столкновений с учетом обменных эффектов .....	279
Г л а в а VI. Приложения статистики и кинетики к задачам других разделов физики .....	282
§ 1. Модель атома Томаса—Ферми .....	—
1. Предположения (282). 2. Уравнение Томаса—Ферми (282). 3. Дополнительные условия (283). 4. Упрощение уравнения (284). 5. Окончательная формулировка модели (284). 6. Поведение решения вблизи ядра (285). 7. Численное решение (288).	
§ 2. Потенциал точечного заряда в плазме .....	289
1. Плазма без заряда (289). 2. Заряд в плазме (289). 3. Уравнение Больцмана и его решение (290). 4. Концентрации при малом потенциале (291). 5. Радиусы Дебая (292). 6. Решение уравнения для потенциала (292). 7. Случай невозмущенного максвелловского распределения (293). 8. Условие применимости (293).	
§ 3. Тормозное излучение и поглощение .....	294
1. Постановка задачи (294). 2. Оценка излучаемой энергии (295). 3. Спектр излучения электрона (296). 4. Усреднение по скоростям (297). 5. Поглощение (299).	
§ 4. Ионизации и рекомбинации водородоподобных ионов .....	300
1. Сечение рекомбинации (300). 2. Излучательная способность (301). 3. Коэффициент ионизации (301).	
§ 5. Полное сечение при кулоновском взаимодействии в плазме .....	304
Указатель литература .....	306