

УДК 53:519.25(075.8)

К78

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, профессор *В.Г. Дубровский*

д-р физ.-мат. наук, профессор *О.В. Кибис*

д-р физ.-мат. наук, доцент *Т.С. Шамирзаев*

Работа подготовлена на кафедре полупроводниковых приборов
и микроэлектроники НГТУ для студентов инженерно-физических
специальностей

Краснопевцев Е.А.

К78 Статистическая физика равновесных систем : учебное по-
собие / Е.А. Краснопевцев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ,
2020. – 420 с. – (Учебники НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4253-1

Излагаются основы статистической физики классических
и квантовых равновесных систем. Приводятся примеры, иллю-
стрирующие теоретические положения из области микро- и нано-
электроники, фотоники, физики конденсированного состояния.
Предлагаются задачи для самостоятельной работы.

Издание предназначено для студентов, изучающих курсы: «Фи-
зика твердого тела», «Физика полупроводников», «Физика conden-
сированного состояния», «Нанoeлектроника», «Фотоника», где ис-
пользуются методы и результаты статистической физики.

УДК 53:519.25(075.8)

ISBN 978-5-7782-4253-1

© Краснопевцев Е.А., 2020

© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Часть 1. КЛАССИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....	13
Глава 1. Основы теории вероятностей	15
1.1. Вероятность случайного события	15
1.2. Случайная дискретная величина	17
1.3. Производящая функция.....	21
1.4. Случайная непрерывная величина	23
1.5. Характеристическая функция	24
1.6. Биномиальное распределение.....	25
1.7. Распределение Пуассона	29
1.8. Нормальное распределение Гаусса	32
Примеры 1	36
Глава 2. Фазовое пространство и спектр энергии	53
2.1. Фазовое пространство системы частиц	54
2.2. Степени свободы.....	56
2.3. Объем микросостояния	58
2.4. Фазовая траектория и фазовый ансамбль	61
2.5. Теорема Лиувилля	63
2.6. Энергетическая плотность состояний.....	67
2.7. Число микросостояний газа	69
2.8. Число микросостояний частицы.....	70
2.9. Энергетическая плотность состояний частицы	73
Примеры 2	75
Глава 3. Микроканоническое распределение.....	83
3.1. Распределение микросостояний по фазовому пространству	83
3.2. Характеристики макросостояния	84
3.3. Статистический смысл давления.....	88
3.4. Статистический смысл температуры	91



3.5. Статистический смысл энтропии	95
Примеры 3	97
Глава 4. Каноническое распределение.....	99
4.1. Распределение микросостояний по фазовому пространству.....	99
4.2. Статистический интеграл.....	101
4.3. Распределение микросостояний по энергии	104
4.4. Макрохарактеристики и статистический интеграл.....	105
4.5. Принцип Ландауэра.....	109
4.6. Теорема Бора – ван Лёвен	112
4.7. Распределение тепловой энергии по степеням свободы	113
4.8. Теплоемкость простого тела	116
4.9. Погрешность измерения на основе упругой силы.....	117
4.10. Флуктуационное напряжение на активном сопротивлении	119
Примеры 4	122
Глава 5. Распределение Максвелла – Больцмана.....	131
5.1. Распределение Максвелла.....	132
5.2. Потоки.....	140
Примеры 5	144
Задачи 1	153
5.3. Распределение Больцмана.....	158
Примеры 6	161
Глава 6. Термодинамические потенциалы системы с переменным числом частиц	169
6.1. Химический потенциал	170
6.2. Активность системы	174
6.3. Распределение частиц по уровням энергии.....	175
6.4. Химический потенциал и плотность состояний	179
6.5. Вероятность энергии у частицы	179
6.6. Термодинамический потенциал Гиббса	182
6.7. Большой термодинамический потенциал.....	183
Глава 7. Большое каноническое распределение	185
7.1. Статистический интеграл и макрохарактеристики.....	186
7.2. Большое каноническое распределение	188
7.3. Термодинамические характеристики системы	189
7.4. Распределение по энергии и числу частиц	191
Примеры 7	192
Задачи 2	195



Глава 8. Флуктуационно-диссипационная теорема	199
8.1. Восприимчивость и передаточная функция	199
8.2. Сопоставление системы с электрической цепью	202
8.3. Тепловые флуктуации силы	204
8.4. Мощность тепловыделения	205
8.5. Корреляция	206
8.6. Броуновское движение	208
Глава 9. Условия применимости классической статистической физики	211
9.1. Противоречия классической теории с экспериментом	211
9.2. Квантовые свойства микрочастиц и применимость классической теории	212
Часть 2. КВАНТОВАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	217
Глава 10. Энергетическая плотность состояний	219
10.1. Плотность состояний квантовой частицы	219
10.2. Локальная плотность состояний и функция Грина	223
Примеры 8	226
Глава 11. Каноническое распределение квантового газа	243
11.1. Распределение системы по состояниям	244
11.2. Распределение частицы по состояниям	245
11.3. Газ гармонических осцилляторов	248
11.4. Вращательное движение молекул	252
11.5. Парамагнетизм электронного газа	254
11.6. Диамагнетизм электронного газа	258
Часть 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕРМИОНОВ И БОЗОНОВ	261
Глава 12. Большое каноническое распределение квантовой системы	263
12.1. Состояния многочастичной системы	263
12.2. Состояния частицы	264
12.3. Распределение Ферми – Дирака	265
12.4. Распределение Бозе – Эйнштейна	269
12.5. Распределения классических и квантовых частиц	272
12.6. Дисперсия и корреляция числа частиц	278
Глава 13. Электронный газ металла и полупроводника	289
13.1. Трехмерный электронный газ	289
13.2. f -мерный газ фермионов	294



13.3. Контакт металлов.....	298
13.4. Собственная электропроводность полупроводника.....	300
13.5. Характеристики вырожденного электронного газа.....	306
13.6. Мезоскопические системы пониженной размерности.....	309
13.7. Кондактанс баллистического проводника.....	311
13.8. Теплопроводность баллистического проводника.....	318
13.9. Измерение плотности состояний сканирующим туннельным микроскопом.....	320
Примеры 9.....	324
Глава 14. Фотонный газ.....	335
14.1. Фотон.....	336
14.2. Фотонный газ в полости.....	338
14.3. Электронные переходы в атомах.....	350
14.4. Когерентность теплового излучения.....	354
Примеры 10.....	358
Глава 15. Фононный газ.....	363
15.1. Характеристики фононного газа.....	364
15.2. Термодинамика кристалла.....	370
Примеры 11.....	373
Глава 16. Конденсация Бозе – Эйнштейна.....	379
16.1. Характеристики бозе-конденсата атомов.....	381
16.2. Термодинамика идеального бозонного газа.....	385
16.3. Удержание газа ловушкой.....	389
16.4. Охлаждение газа.....	395
Примеры 12.....	400
Задачи 3.....	407
Приложения.....	413
1. Физические постоянные.....	413
2. Интегралы классической статистики.....	414
3. Интегралы квантовой статистики.....	415
4. Суммы рядов.....	416
Библиографический список.....	417
Предметный указатель.....	418