

**С. М. СТИШОВ**

# **Фазовые переходы**

**для начинающих**

Издание третье, дополненное



Москва ♦ Ижевск

2019

УДК 536.7  
ББК 22.36  
С809



Книга издана благодаря частичной финансовой поддержке  
Российского научного фонда

---

**Стишов С. М.**

С809 Фазовые переходы для начинающих. — Изд. 3-е, доп. — М.–Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 170 с.

Книга посвящена описанию фазовых переходов первого и второго рода и критических явлений. В отличие от стандартных курсов, книга содержит множество экспериментальных примеров, иллюстрирующих различные фазовые переходы.

Наряду с изложением «обязательного» материала (масштабная инвариантность, преобразования Каданова и пр.) книга содержит материал, который не описывается в обычных учебниках или монографиях (проблема жестких сфер, плавление, квантовые фазовые переходы и т. д.).

Издание предназначено, главным образом, для студентов и экспериментаторов, хотя и иные исследователи могут найти здесь полезный материал.

**ББК 22.36**  
**УДК 536.7**

**ISBN 978-5-4344-0810-3**

© С. М. Стишов, 2019  
© АНО «Ижевский институт  
компьютерных исследований», 2019

# Оглавление

<b>Предисловие</b> . . . . .	6
<b>ГЛАВА I. Введение</b> . . . . .	8
<b>ГЛАВА II. Модель Ван дер Ваальса и критические явления</b>	15
II.1. Уравнение Ван дер Ваальса . . . . .	15
II.2. Критические показатели . . . . .	20
II.3. Критическая температура в модели Ван дер Ваальса .	22
<b>ГЛАВА III. Плавление</b> . . . . .	31
III.1. Плавление твердых сфер . . . . .	31
III.2. Плавление мягких сфер и реальных простых систем .	35
III.3. Энтропия плавления . . . . .	39
<b>ГЛАВА IV. Ступенчатый потенциал, квантовые эффекты и «холодное» плавление</b> . . . . .	42
IV.1. «Коллапсирующие» системы . . . . .	42
IV.2. Квантовые эффекты и «холодное» плавление . . . . .	46
<b>ГЛАВА V. Фазовые переходы второго рода и критические явления</b> . . . . .	52
V.1. Теория Брэгга – Вильямса . . . . .	54
V.2. Теория Ландау . . . . .	58
V.2.1. Фазовый переход второго рода . . . . .	58
V.2.2. Трикритическая точка (критическая точка непрерывного перехода) . . . . .	61
V.2.3. Изолированная критическая точка . . . . .	66

V.3. Флуктуационные эффекты при фазовых переходах . . .	69
V.3.1. Теория Орнштейна – Цернике . . . . .	69
V.3.2. Флуктуации в теории Ландау . . . . .	73
V.4. Корреляционная длина и критические показатели . . .	74
<b>Литература</b> . . . . .	85
<b>Дополнение I.</b> . . . . .	88
1. Модель Изинга . . . . .	88
2. Нарушенная симметрия и моды Голдстоуна . . . . .	89
3. Мягкие моды . . . . .	90
4. Преобразования Каданова . . . . .	90
5. Ренормализационная группа: основные понятия . . . . .	93
<b>Дополнение II. Флуктуации и фазовые переходы</b> . . . . .	96
1. Классические фазовые переходы . . . . .	97
2. Квантовые фазовые переходы . . . . .	100
Литература . . . . .	102
<b>Дополнение III. Квантовые фазовые переходы</b> . . . . .	104
1. Введение . . . . .	104
2. Кратко о фазовых переходах . . . . .	105
3. Что такое квантовые фазовые переходы? . . . . .	107
4. Примеры систем с квантовым критическим поведением . . . . .	115
4.1. Тяжелофермионные соединения $CeCu_{6-x}Au_x$ , $YbRh_2Si_2$ , $YbRh_2(Si,Ge)_2$ , $CePd_2Si_2$ , $CeIn_3$ . . . . .	115
4.2. Зонные ферромагнетики $UGe_2$ , $ZrZn_2$ . . . . .	122
Литература . . . . .	125
<b>Дополнение IV. Магнитный фазовый переход в MnSi</b> . . . . .	127
1. Введение . . . . .	127
2. Общая характеристика MnSi . . . . .	129
3. Физические свойства MnSi при атмосферном давлении . . . . .	133
3.1. Магнетизм . . . . .	133

3.2. Теплоемкость . . . . .	139
3.3. Тепловое расширение . . . . .	141
3.4. Упругие свойства и затухание ультразвука . . . . .	144
3.5. Электрическое сопротивление . . . . .	147
3.6. Природа фазового перехода в MnSi . . . . .	147
4. Фазовая диаграмма и исследования MnSi при высоких давлениях . . . . .	150
4.1. Фазовая диаграмма . . . . .	150
4.2. Неферми-жидкостное поведение . . . . .	154
4.3. «Частичный» геликоидальный порядок в неферми- жидкостной фазе MnSi . . . . .	157
4.4. Фазовое расслоение в MnSi при высоких давлениях . . . . .	160
5. Заключение . . . . .	160
6. Приложения . . . . .	163
Литература . . . . .	167