

С. Г. Абаимов, И. Ш. Ахатов,  
Ю. М. Белоусов, А. В. Михеенков,  
И. Я. Полищук

---

**РОСТ ЭНТРОПИИ В  
АНАЛИТИЧЕСКОЙ И  
КВАНТОВОЙ  
МЕХАНИКЕ**

---

**Фундаментальные основы  
МЕХАНИКИ**



URSS

---

**С. Г. Абаимов, И. Ш. Ахатов,  
Ю. М. Белоусов, А. В. Михеенков,  
И. Я. Полищук**

**РОСТ ЭНТРОПИИ  
В АНАЛИТИЧЕСКОЙ  
И КВАНТОВОЙ  
МЕХАНИКЕ**

**Фундаментальные основы  
механики**



**URSS  
МОСКВА**

**Абаимов Сергей Германович,  
Ахатов Искандер Шаукатович,  
Белоусов Юрий Михайлович,  
Михеенков Андрей Витальевич,  
Полищук Илья Яковлевич**

**Рост энтропии в аналитической и квантовой механике: Фундаментальные основы механики. — М.: ЛЕНАНД, 2020. — 344 с.**

Концепция роста энтропии является одной из самых сложных в термодинамике и статистической физике, поскольку она связана с разрушением симметрии оси времени, отсутствующим у детерминистических систем классической и квантовой механики. В замкнутых системах рост энтропии наблюдается при установлении термодинамического равновесия в ходе затухания неравновесных процессов, но за счет каких физических механизмов он возникает? Для ответа на данный вопрос необходимо привлечь такие сложные концепции, как фазовый объем, перемешивание траекторий и эргодичность. Поэтому одной из задач книги служит рассмотрение фундаментальных основ механики, как аналитической, так и квантовой, а также построение «мостика», связывающего эти теории, что позволяет ответить на вопрос о механизмах роста энтропии.

Также наша книга может рассматриваться как пререквизит курса по статистической физике. Студенту, изучившему курсы классической и квантовой механики, бывает трудно понять такие концепции, как, например, оператор эволюции, оператор Лиувилля, диагонализация матрицы плотности, учет классических вероятностей в матрице плотности или аспекты теории квантовых измерений, для которых в курсе статистической физики зачастую не остается времени.

Формат 60×90/16. Печ. л. 21,5. Зак. № АП-6385.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-9710-6649-1

© ЛЕНАНД, 2019

25303 ID 259923



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Определение понятия энтропии .....</b>	<b>7</b>
1.1. Основные понятия.....	7
1.2. Энтропия .....	10
1.3. Равновероятность микросостояний .....	15
1.4. Аддитивность энтропии.....	17
1.5. Литература .....	18
<b>Глава 2. Классическая механика.....</b>	<b>20</b>
2.1. От второго закона Ньютона к уравнениям Лагранжа .....	20
2.2. Вариационный принцип Гамильтона и интегральный инвариант Пуанкаре–Картана .....	27
2.3. Гамильтониан .....	36
2.4. Скобки Пуассона .....	42
2.5. Теорема Лиувилля .....	45
2.6. Оператор эволюции.....	52
2.7. Ансамбль, микросостояния, энтропия.....	63
2.8. Энтропия в классической механике .....	70
2.9. Усреднение по ансамблю, перемешивание, закон роста энтропии .....	71
2.10. Литература .....	82
<b>Глава 3. Квантовая механика .....</b>	<b>84</b>
3.1. Постулаты квантовой механики .....	85
3.2. Постулат о гильбертовом пространстве состояний .....	86
3.3. Описание состояния на основе измерений .....	93
3.4. Операторы величин.....	95
3.5. Представления вектора состояния .....	103
3.6. Представления тензоров и операторов.....	112
3.7. Построение базиса на основе набора собственных векторов.....	125
3.8. Представление оператора в собственном базисе.....	138
3.9. Переход от одного представления к другому .....	142

---

3.10. Вероятностная интерпретация вектора состояния .....	162
3.11. Измеримость и неизмеримость величин. Соотношения неопределенностей .....	172
3.12. Уравнение Шредингера. Стационарные микросостояния .....	179
3.13. Время как параметр и как оператор .....	192
3.14. Эволюция величин во времени, оператор эволюции .....	200
3.15. Представление Гейзенберга .....	212
3.16. Система, состоящая из подсистем .....	235
3.17. Смешанные состояния, матрица плотности взаимодействующей подсистемы .....	242
3.18. Теория измерений .....	247
3.19. Учет классических вероятностей с помощью статистического оператора .....	261
3.20. Пространство Лиувилля .....	264
3.21. Свойства статистического оператора .....	271
3.22. Диагонализация матрицы статистического оператора .....	286
3.23. Закон равномерного распределения микроканонического ансамбля, эргодическая гипотеза и закон возрастания энтропии .....	291
3.24. Литература .....	315
<b>Приложение 1. Модель Изинга .....</b>	<b>317</b>
Литература .....	323
<b>Приложение 2. Квазиклассическое приближение .....</b>	<b>325</b>
Литература .....	338