

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

**В.С. Кузнецов**

## **ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ**

*Учебное пособие*

*Рекомендовано  
Научно-методическим советом университета для студентов  
направления “Физика”*

Ярославль 2006

УДК 531  
ББК В 36я73  
К 89

*Рекомендовано  
Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2006 года*

Рецензенты:

доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИМИ РАН А.В. Проказников;  
кафедра общей физики Ярославского государственного педагогического  
университета им. К.Д. Ушинского.

**Кузнецов, В.С.** Основы физической кинетики: учебное пособие  
К 89 /В.С. Кузнецов; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 99 с.  
ISBN 5-8397-0501-2(978-5-8397-0501-2)

Излагаются основные понятия и закономерности термодинамики необратимых процессов и микроскопической теории кинетических явлений. Предлагаемый материал подобран в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта по данной учебной дисциплине и предназначен для студентов физических факультетов, обучающихся по направлению 510400 "Физика" (дисциплина "Физическая кинетика", блок ОПД), очной и очно-заочной форм обучения.

Ил. 6. Библиогр.: 10 назв.

УДК 531  
ББК В 36я73

ISBN 5-8397-0501-2(978-5-8397-0501-2)

© Ярославский  
государственный  
университет, 2006  
© В.С. Кузнецов, 2006

# Оглавление

Введение .....	5
<b>1. Термодинамика необратимых процессов .....</b>	<b>5</b>
1.1. Некоторые общие определения .....	5
1.2. Общие положения термодинамики необратимых процессов ..	6
1.3. Уравнения баланса .....	8
1.4. Уравнение баланса массы .....	11
1.5. Уравнение баланса энергии .....	14
1.6. Уравнение баланса кинетической энергии .....	15
1.7. Уравнение баланса потенциальной энергии .....	18
1.8. Уравнение баланса полной механической энергии .....	19
1.9. Уравнение баланса внутренней энергии .....	20
1.10. Уравнение баланса для энтропии .....	21
<b>2. Линейная термодинамика     необратимых процессов .....</b>	<b>25</b>
2.1. Формализм Онзагера .....	25
2.2. Термоэлектрические явления .....	30
2.3. Кинетические эффекты в магнитном поле .....	32
2.4. Гальваномагнитные эффекты .....	36
2.5. Термомагнитные эффекты .....	37
<b>3. Нелинейная термодинамика     необратимых процессов .....</b>	<b>39</b>
3.1. Введение .....	39
3.2. Устойчивость по Ляпунову .....	41
3.3. Орбитальная устойчивость .....	41
3.4. Структурная устойчивость .....	42
3.5. Эволюционное уравнение .....	43
3.6. Однородные системы с двумя переменными .....	46
3.7. Понятие бифуркации .....	51
3.8. Простые синергетические модели .....	51

3.9. Аттрактор .....	59
3.10. Фракталы .....	61
<b>4. Микроскопическая теория неравновесных процессов.....</b>	<b>63</b>
4.1. Уравнение Смолуховского. Принцип детального равновесия	64
4.2. Уравнение Фоккера – Планка .....	65
4.3. Уравнение кинетического баланса .....	71
4.4. Кинетическое уравнение Больцмана .....	74
4.5. H-теорема Больцмана .....	79
4.6. Решение уравнения Больцмана для стационарного состояния в приближении времени релаксации .....	83
4.7. Плотность электрического тока и плотность потока энергии, переносимой электронами .....	86
4.8. Приближение самосогласованного поля. ....	88
4.9. Уравнение Власова .....	89
4.10. Продольные плазменные колебания .....	92
4.11. Поперечные плазменные колебания .....	95
4.12. Продольные колебания в электрон-ионной системе .....	95
<b>Литература .....</b>	<b>99</b>

# Введение

В термодинамике и статистической физике обычно рассматриваются системы, находящиеся в так называемом термодинамически равновесном состоянии, когда в системе отсутствуют какие-либо потоки и макроскопические параметры системы не зависят от времени или меняются бесконечно медленно.

На практике мы часто сталкиваемся с системами, характеристики которых быстро меняются во времени, и в этих системах наблюдаются различные потоки с конечными скоростями. При теоретическом изучении таких неравновесных процессов возможны два принципиально разных подхода: феноменологический и микроскопический.

В первом случае задача заключается в установлении связей между макроскопическими параметрами без использования в явном виде атомно-молекулярных представлений. Установление этих связей и составляет содержание так называемой термодинамики необратимых процессов.

Второй подход предполагает дальнейшее развитие основных представлений статистической физики.

## 1. Термодинамика необратимых процессов

### 1.1. Некоторые общие определения

Термодинамика необратимых процессов является сравнительно молодым и быстро развивающимся разделом теоретической физики, имеющим многочисленные приложения в области теплофизических, электрофизических, химических и биологических явлений.

Разработка термодинамики необратимых процессов, которая давала бы информацию о протекании процессов во времени, пока ещё далека от завершения. Ещё даже не ясно, будет ли создана какая-то общая теория, так как неизвестно, всегда ли параметры, необходимые для описания процессов, определяются только макроскопическими характеристиками системы.

Важным этапом развития термодинамики необратимых процессов явились поиски вариационной формулировки феноменологической теории. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты на основе аналогий с вариационными принципами теоретической механики в лагранжевой или гамильтоновых формах. Исключительная общность последних и возможность распространения их на немеханические области физики