

Рейф Ф.

**Берклеевский курс физики.
Том 5**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Р31

Р31 **Рейф Ф.**
Берклеевский курс физики. Том 5 / Рейф Ф. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 356 с.

ISBN 978-5-458-30060-5

Книга представляет собой пятый том курса общей физики, созданного преподавателями Калифорнийского университета в Беркли. Особенность книги в том, что вопросы статистической физики, кинетики и термодинамики рассмотрены в конце курса, а не после механики, как обычно. Это делает изложение более строгим, интересным и наглядным, позволяет оперировать с разными простыми системами, как, например, идеальный газ и система нескольких спинов в магнитном поле. В книге приводится большое количество примеров и задач.

ISBN 978-5-458-30060-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

- Необратимые процессы 61, 130, 138
- Неопределенности принцип 213
- Низких температур физика 188—192
- Обобщенная сила 253, 287
- Обратимый процесс 138
- Обращенный во времени процесс 31
- Ограничение 127, 138
- Ома закон 314
- Осмоз 63
- Основное состояние 103
- Пар 274
- Пара давление 279, 289
 - , зависимость от температуры 280
- Парамагнетизм 161 — 165
- Параметр внешний 111, 138
 - интенсивный 204—206
 - макроскопический 41
 - термометрический 39, 61, 149, 173
 - экстенсивный 204—206
- Переходные множители для единиц 344
- Плавление 274
- Плавления точка 189
- Планка постоянная 344
- Плотность состояний 122
- Поляризация спинов 177, 206
- Постулаты 113—119
 - равной априорной вероятности 117
 - статистической механики 115—117
- Потока плотность 305
- Протона масса 344
- Процесс квазистатистический 119, 193, 205
 - коллективный 59
 - необратимый 61, 130, 138
 - обратимый 138
- Пружины постоянная 238
- Пуаз 301
- Пуазейля формула 320
- Пуассона распределение 325—327, 339
- Работа 135, 138
 - , ее измерение 193
 - механическая 194
 - электрическая 194
- Равновесие 26, 61, 138
 - , его общие свойства 41, 42
 - , приближение к нему 29—31
 - , флуктуации 18—27
- Равновесия условия 115
 - — для изолированной системы 269
 - — — любых взаимодействий 255—257
 - — — системы в контакте с резервуаром 270
 - — между фазами 274
 - — при тепловом взаимодействии 142—145
- Равномерного распределения энергии теорема 234—238
- Разреженный газ 18, 294, 295
- Рассеяния поперечное сечение 55, 296, 316
- Релаксации время 27, 61, 118
- Самодиффузия 310
- Сверхпроводимость 192
- Сверхтекучесть жидкого гелия 192
- Свет, скорость в вакууме 344
- Свободная энергия по Гельмгольцу 177, 289
 - — — Гиббсу 273, 287
- Свободного пробега время 295, 316
 - — длина 55, 61, 295, 316
- Сжимаемость 242
- Скорости селектор 231
- Скорость молекул 54
 - — наиболее вероятная 226
 - —, распределение 223—225
 - — средняя квадратичная 226
- Скрытая теплота 278, 287
- Случай 66, 97
- Случайность 19, 20
 - , ее статистическое измерение 130, 131

- Спинов система 38» 39
- , расчет намагниченности 161—165
- Среднее значение 97
- , вычисление 86—92
- для ансамбля 81, 82
- Среднее значение, определение 81, 82, 97
- по времени 26
- произведения 84
- суммы 82
- Стандартное отклонение 85, 97
- Статистическая механика 267
- независимость 72, 97
- сумма 167, 178
- термодинамика 267
- Статистическое описание 64—71
- системы 64—66, 128
- соотношение термодинамики 267
- Степени свободы 109, 138, 215
- Стирлинга формула 335
- Сублимация 274
- Суммирования обозначения 332
- Твердое тело 59
- Температура 48, 49, 61, 149—155, 173
- абсолютная 147, 174
- , измерение 152, 184, 187
- , определение 151
- Тепло 45—50, 61, 133, 138
- , его измерение 197—199
- , плотность потока 306
- , связь с абсолютной температурой 155
- Тепловое взаимодействие 45—48, 61, 132, 133, 138
- Тепловой насос 291
- резервуар 157, 174
- Теплоемкость 199—202
- идеального газа 202
- по квантовой механике 248, 249
- твердого тела 238—240
- , температурная зависимость при $T \rightarrow 0$ 203
- Теплоизоляция 133, 134
- Теплопроводность 60, 306—310, 317
- разреженного газа 306—310
- Термодинамика 257
- Термодинамики закон второй 266
- нулевой 150, 265
- первый 265
- третий 190, 266
- Термометр 49, 61, 150, 173
- Тройная точка 186, 205, 278
- Ультрацентрифуга 245
- Уравнение состояния 173, 174
- идеального газа 173, 332
- Фазового равновесия кривая 276, 288
- Фазовое пространство 214—216, 244
- Фазовые переходы 59
- Фазы 59, 274, 287
- , равновесие между ними 274—280
- Факториал числа 76
- , приближенное значение 334
- Факториал числа, приближенное значение производной 383
- Фаренгейта температурная шкала 188
- Физические константы 344
- Флуктуации 18—26, 268—273
- большой величины 27
- , вычисление при помощи ЭВМ 22—24
- крутильного маятника 43
- магнитного момента 87
- плотности идеального газа 90—94
- разности потенциалов 44
- , физические примеры 42—44
- энергии 328—330
- Фундаментальное
- термодинамическое соотношение 259
- Химический потенциал 290
- Химическое равновесие 58
- Холод 48
- , связь с абсолютной температурой 155
- Холодильник 291
- Цельсия температурная шкала 188, 344

Циклический процесс 207
Число состояний 122
—, зависимость от внешних параметров 250—254
—, общие свойства 123—126
— системы спинов 141
— частиц в ящике 124
Число состояний, численные оценки 140, 141
Шоттки аномалия 209
Шум 44
Электрическая проводимость 314, 317
— разреженного газа 315
Электрона масса покоя 344
Электрон-вольт (эВ) 188, 344
Энергии уровни 104
— вырожденные 103
— для системы спинов 104
— частиц в ящике 106, 107

Энергия внутренняя 138
—, ее измерение 196
—, флуктуации 328—330
— полная 138
Энтальпия 208
Энтропии принцип компенсации 282
Энтропия 147, 202—204
—, ее зависимость от температуры при $T \rightarrow 0$ 190
—, — — энергии 153, 189
—, — изменение в квазистатическом адиабатическом процессе 255
—, — — — процессе 254
—, — измерение 202
— идеального газа 261
— и поглощенное тепло 156, 157
—, связанная с ядерными спинами 190
Эффузия 229, 244
Ядерный магнетон 344

ПРЕДИСЛОВИЕ ОБЩЕГО РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА

Мы являемся свидетелями возникновения новых отраслей физики и все более глубокого проникновения ее во все области современной науки и техники. Возникает вопрос: как при этом правильно поставить преподавание общей физики, являющейся основой мировоззрения и специальных знаний будущего ученого и инженера? Что действительно важно понять и знать и чем можно пренебречь?

Вопросы об улучшении преподавания общего курса физики часто обсуждаются, однако принимаемые решения обычно не идут дальше очередного изменения программ. Одной из попыток создания современного курса общей физики были «Фейнмановские лекции по физике», получившие у нас заслуженное признание. Другая попытка радикального решения этой проблемы была предпринята в университете Беркли (США, Калифорния), где в 1961 г. был создан специальный комитет, состоявший из ученых, поставивших своей целью создание учебника нового типа. Первые два тома этого учебника (механика, электричество и магнетизм) вышли в 1965 г., в последние годы закончено издание трех остальных томов (волны, квантовая и статистическая физика). Кроме того, три небольшие книги содержат описание тридцати шести работ Берклеевской физической лаборатории, идейно связанной с новым общим курсом.

Создатели Берклеевского курса стремились изложить в учебнике классическую физику, органически связав ее с основными идеями специальной теории относительности, квантовой физики и статистики,— именно в этом-то и заключены основные достоинства учебника.

Курс предназначен не только для физиков, но и для будущих инженеров, химиков и биологов. Объем его значительно превосходит претензии даже физиков и оставляет поэтому как преподавателю, так и студенту большую свободу в выборе материала.

Следует отметить прекрасную организацию курса. Превосходные рисунки, большое количество задач различной трудности (часто из смежных с физикой областей), описание классических опытов и выдержки из оригинальных работ увеличивают ценность и привлекательность курса.

Инициатива перевода на русский язык Берклеевского курса физики в значительной степени принадлежит проф. С. П. Капице. Настоящий том отредактирован проф. А. О. Вайсенбергом.

Мы уверены, что Берклеевский курс физики окажется интересным и полезным широкому кругу учащихся и преподавателей.

А. И. Шальников

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА V ТОМА

Автор последнего, пятого, тома Берклеевского курса физики — Фредерик Рейф, профессор университета в Беркли, известный работами в области экспериментальной физики твердого тела и низких температур. Пятый том Берклеевского курса соответствует курсу термодинамики и кинетической теории вещества, обычно излагаемому сразу после механики. Перенос столь фундаментальных и тонких вопросов в конец курса общей физики имеет много преимуществ. Действительно, к этому времени студент успевает ознакомиться с основными идеями строения атома и квантовой механики и приобретает, таким образом, хорошую основу для понимания статистической физики. Отказавшись от традиционного изложения, автор подробно и с большой ясностью рассматривает основные идеи статистической физики и на базе последней излагает основные термодинамические законы. Эта программа выполнена весьма последовательно и на высоком педагогическом уровне. Особенно следует отметить тщательное и подробное рассмотрение флуктуаций, понятия температуры, рисунки распределения частиц, полученные с помощью электронной вычислительной машины, и систематическое использование системы спинов для иллюстрации статистического поведения частиц.

Мы надеемся, что книга будет полезна студентам различных специальностей и заинтересует преподавателей.

А. О. Вайсенберг

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К БЕРКЛЕЕВСКОМУ КУРСУ ФИЗИКИ

Данный учебник представляет собой двухгодичный курс общей физики, предназначенный для студентов, специализирующихся в области исследовательской работы, а также и для будущих инженеров. Мы желали представить классическую физику, насколько это возможно, в том виде, в каком она используется физиками-профессионалами, работающими на «переднем крае» исследований. Мы пытались создать курс, который акцентировал бы основные положения физики. Нашей особой задачей было естественное введение в курс классической физики идей специальной теории относительности, квантовой физики и статистической физики.

Курс предназначенся для любого студента, изучавшего физику в средней школе. Математика, включающая математический анализ, должна проходиться одновременно с данным курсом.

В настоящее время в США создается несколько новых курсов физики. Мысль написать новый курс физики овладевает многими учеными-физиками, с одной стороны, благодаря успехам развития естественных и прикладных наук, с другой стороны, под влиянием того возросшего интереса к науке, который теперь существует в средней и высшей школе.

Основные идеи данного курса были сформулированы Ф. Моррисоном из Корнелльского университета и Ч. Киттелем во время обсуждения, имевшего место в конце 1961 г. Мы пользовались поддержкой Дж. Мэйса и его коллег из Национального фонда науки и У. Мишеля, тогдашнего председателя комиссии по преподаванию физики в колледжах.

Для ведения работы на первых стадиях был создан неофициальный комитет, в который вначале входили: Л. Альварец, У. Фреттер, Ч. Киттель, У. Найт, Ф. Моррисон, Э. Парселл, М. Рудерман и Дж. Захариас. Комитет впервые собрался в мае 1962 г. в Беркли; в это время им и была намечена предварительная принципиально новая схема построения курса физики. Ввиду занятости некоторых членов комитета его состав был изменен в январе 1964 г., и ныне комитет состоит из авторов настоящего учебника. Вклад других участников отмечен в предисловиях к отдельным томам.

Предварительный план и его концепции оказали большое влияние на окончательную разработку материала курса. План раскрывал в деталях темы и их соотношения, которые, как мы полагаем, должны и могут быть преподнесены студентам начальных курсов, специализирующимся по исследовательскому либо инженерному профилю. В наши намерения никак не входило создавать курс, предназначенный лишь для одаренных студентов или студентов, прошедших предварительную подготовку. Мы намеревались представить принципы физики с единой и необычной точки зрения, и потому отдельные части курса могут показаться новыми не только студентам, но и преподавателям.

Курс состоит из пяти томов:

- I. Механика (Киттель, Найт, Рудерман).
- II. Электричество и магнетизм (Парселл).
- III. Волны (Крауфорд).
- IV. Квантовая физика (Вихман).
- V. Статистическая физика (Рейф).

Авторы каждого тома были свободны выбирать стиль и метод изложения, которые казались наиболее подходящими для их предмета. Первоначальная разработка данного курса привела А. Портиса к мысли о создании нового практикума по классической физике, ныне известного как Берклеевская физическая лаборатория.

Может показаться, что в нашем курсе, излагающем основы физики, эксперименту уделено недостаточное внимание. Дело, однако, в том, что важнейшие эксперименты выполняются в лаборатории, которая создана специально для того, чтобы дополнить курс лекций.

*Ю. Комминс, Ф. Крауфорд-младший, У. Найт,
Ф. Моррисон, А. Портис, Э. Парселл, Ф. Рейф,
М. Рудерман, Э. Вихман, Ч. Киттель (председатель)*

Беркли, Калифорния

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К V ТОМУ

Последний, пятый, том Берклеевского курса физики посвящен изучению больших (т.е. макроскопических) систем, состоящих из огромного числа атомов или молекул, и является введением к статистической механике, кинетической теории и термодинамике.

При рассмотрении материала автор не придерживался исторического подхода и отошел от традиционных методов изложения. Его целью было рассмотреть предмет с современной точки зрения и показать, с возможно большей ясностью и последовательностью, что главные идеи атомной теории образуют базу, которой достаточно для описания и предсказания основных свойств макроскопических систем.

Создавая эту книгу, автор имел в виду студента, который прошел курсы элементарной физики и строения атома и впервые приступает к статистической физике. Все изложение основано на единственном принципе, а именно на стремлении изолированной системы достичь состояния наименьшей упорядоченности. Хотя внимание сосредоточено на простейших системах, их рассмотрение производится с помощью весьма общих методов, имеющих широкое применение. Автор старался получить важнейшие соотношения наиболее быстрым и прямым путем, стремясь пробудить этим физическую интуицию читателя.

Автор подробно обсуждает физические идеи, не вдаваясь в математическую сторону проблемы, широко использует простые примеры для иллюстрации общих и абстрактных концепций, и постоянно производит численные оценки наиболее важных величин, с тем, чтобы связать теорию с реальным миром наблюдения и опыта.

Содержание этого тома тщательно отобрано, так как целью автора было рассмотреть наиболее фундаментальные идеи, которые необходимы не только будущему физiku, но и химику, биологу или инженеру. Указания для преподавателей и студентов являются путеводителем по книге. Необычный способ расположения материала объясняется тем, что макроскопическое и атомное рассмотрение явлений проводятся параллельно. Разумеется, такой подход ни в коей мере не лишает студента преимуществ

традиционного способа изложения. В частности, следует отметить следующее:

1. Прочтя главу 7 (и даже пропустив главу 6), студент будет так же хорошо знаком с основными идеями и приложениями классической термодинамики, как если бы он следовал традиционным методам изучения. Его преимуществом будет, однако, лучшее понимание физического смысла энтропии и знакомство с методами статистической физики.

2. Автор старался показать, что в ряде случаев статистическая теория приводит к результатам, которые совершенно не зависят от микроскопической модели строения рассматриваемой системы. Этим подчеркивается общий характер законов классической термодинамики и их независимость от конкретных моделей.

Чтобы изучить эту книгу, студенту, кроме элементарных познаний в области классической механики и электромагнетизма, необходимо знакомство с основными атомными представлениями и понимание следующих идей квантовой механики: смысла квантовых состояний и уровней энергии, принципа неопределенности Гейзенберга, волн де Бройля, спина и задачи о частице в ящике.

Математические требования не выходят за пределы умения вычислить производные и простые интегралы и знания рядов Тейлора. Любой студент, знакомый с основным содержанием предыдущих томов Берклеевского курса, будет хорошо подготовлен к изучению этого тома.

Как было сказано в начале предисловия, целью автора было сделать доступными начинающему студенту весьма сложные и тонкие понятия статистической физики. Эту цель легко сформулировать, но выполнить ее трудно. Книга потребовала от автора весьма значительных усилий и он получит удовлетворение, если поставленная задача окажется выполненной.

Ф. Рейф