

Л. Больцман

Лекции по теории газов

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Л11

Л11 **Л. Больцман**
Лекции по теории газов / Л. Больцман – М.: Книга по Требованию, 2013. –
556 с.

ISBN 978-5-458-30886-1

Книга Больцмана состоит из двух частей. Часть первая посвящена теории одноатомных идеальных газов. Во второй части рассматриваются реальные газы (теория ван-дер-Ваальса) и газы, состоящие из многоатомных молекул. В последней, седьмой, главе второй части Больцман, уже выходя за пределы теории газов, затрагивает совершенно общие принципиальные вопросы, связанные с необратимостью и вторым началом термодинамики.

ISBN 978-5-458-30886-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

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 первоизданном 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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Классические исследования Больцмана по кинетической теории газов были первоначально опубликованы в целом ряде статей, появившихся с 1866 г. в Докладах (Sitzungsberichte) Венской Академии наук и в других научных журналах. Эти исследования вначале не были оценены по достоинству, хотя Максвелл, сам тогда много занимавшийся кинетической теорией, и воздал им должное. Значительно позже, в 1896 и 1898 гг., Больцман выпустил курс лекций по теории газов, в котором подытоживались его работы, и только после появления в свет этого курса фундаментальные труды Больцмана получили более широкое распространение.

Книга Больцмана состоит из двух частей. Часть первая посвящена теории одноатомных идеальных газов. Во второй части рассматриваются реальные газы (теория ван-дер-Ваальса) и газы, состоящие из многоатомных молекул. В последней, седьмой, главе второй части Больцман, уже выходя за пределы теории газов, затрагивает совершенно общие принципиальные вопросы, связанные с необратимостью и вторым началом термодинамики.

Курс Больцмана отличается глубиной, ясностью и законченностью изложения. Он явился первоисточником и образцом для позднейших руководств по кинетической теории газов. Научная литература по кинетической теории газов и в настоящее время не отличается богатством. Если не говорить о нескольких учебниках, соответствующих ограниченному университетскому курсу и не претендую-

щих на полноту изложения математической теории, то кроме лекций Больцмана в мировой литературе имеется (на английском языке) только одна книга — вышедшая в 1939 г. монография Чепмена и Каулинга «Математическая теория неоднородных газов». Эта книга охватывает уже более поздние работы (Энскога, Чепмена и др.), посвященные решению кинетического уравнения Больцмана. Книга Чепмена и Каулинга очень трудна и по форме мало удачна. Поэтому, хотя в настоящее время курс лекций Больцмана по своему содержанию уже во многом устарел, он и сейчас представляет не только историческую ценность как книга, подытоживающая классические исследования Больцмана, но и как руководство по кинетической теории газов. По своей манере все изложение Больцмана чрезвычайно прозрачно.

Литературный стиль Больцмана несколько старомоден и громоздок. Это создавало иногда затруднения при переводе. Во всяком случае, мы стремились добиться возможной близости к оригинальному тексту.

Ссылки на примечания, помещенные в конце книги, заключены в квадратные скобки. В этих примечаниях мы старались разъяснить места, оставшиеся у Больцмана неясными как по форме, так и по существу вопроса. Мы старались также указать, в каких пунктах утверждения Больцмана следует сейчас считать устаревшими. Терминология Больцмана несколько отличается от принятой в настоящее время. Мы всюду ее сохранили, сделав соответствующие оговорки в примечаниях.

Перевод книги выполнен Ю. Э. Залкинд. В оригинале лекции Больцмана выходили в трех изданиях, ничем не отличавшихся друг от друга. При переводе было исправлено значительное количество опечаток.

ЛЮДВИГ БОЛЬЦМАН



ОЧЕРК РЕДАКТОРА



Ludwig Boltzmann



ЛЮДВИГ БОЛЬЦМАН

(1844—1906)

Людвиг Больцман принадлежит к числу крупнейших физиков-теоретиков девятнадцатого столетия и является одним из основоположников современной физики. Имя Больцмана связано с обоснованием и развитием статистической физики.

Первым отделом теоретической физики, в котором нашли себе систематическое применение статистические методы, была кинетическая теория газов; к идеальному газу эти методы можно было применять в наиболее простом и чистом виде. Больцман сформулировал основное интегро-дифференциальное уравнение теории газов — так называемое кинетическое уравнение, носящее ныне его имя. Это уравнение в настоящее время является основой всей математической теории газов.

Обобщая и совершенствуя методы статистической теории, Больцман нашел пути, которые позволили применять их уже не только к такому схематизированному объекту, как идеальный газ, но и к любым вообще телам, находящимся в любых физических условиях. Открытый им фундаментальный закон стационарного «больцмановского распределения» красной нитью проходит через все отделы статистической физики, начиная с общих ее основ и вплоть до самых конкретных применений.

Центральным пунктом всей статистической физики является больцмановская статистическая интерпретация

второго начала термодинамики. В знаменитой *H*-теореме Больцман дал доказательство второго начала в применении к идеальному газу. Логическим завершением идей Больцмана явилась статистическая механика Гиббса, которая легла в основу всей статистической термодинамики.

Больцман родился в Вене 20 февраля 1844 г. Свое научное образование он получил в Вене, где слушал Стефана, в Гейдельберге и Берлине. В 1867 г., по окончании курса, Больцман был оставлен при Венском университете в качестве ассистента физического института. В 1869 г. он был приглашен на должность профессора теоретической физики в Грац. Это был период расцвета научной деятельности Больцмана, к которому относятся наиболее важные его работы.

В 1873 г. Больцман вернулся в Вену в качестве профессора математики, но в 1876 г. он опять переехал в Грац, уже как ординарный профессор экспериментальной физики. К этому времени имя его приобретает известность, хотя вначале только в довольно узком кругу специалистов-теоретиков. В 1875 г. Больцмана избирают членом-корреспондентом и в 1885 г. — действительным членом Венской Академии наук. В 1889 г. он переезжает в Мюнхен, а в 1894 г. возвращается в Венский университет и занимает кафедру теоретической физики после смерти Стефана.

Выступая в научных дискуссиях с большим полемическим задором, Больцман приобрел репутацию человека с беспокойным, неуживчивым характером. Отчасти, быть может, по этой причине он неоднократно переезжал из одного университета в другой. В 1900 г. он уезжает в Лейпциг. Там ему, однако, не понравилось, и в 1902 г. он возвращается в Вену с намерением больше оттуда уже не уезжать. 16 сентября 1906 г. он покончил самоубийством в Дуино, близ Аббации, где часто проводил отпуск вместе со своей семьей.

Труды Больцмана делятся на две основные группы, значение которых неодинаково. С одной стороны, это — фундаментальные работы по кинетической теории газов и по обоснованию статистической физики, с другой — иссле-

дования, частью экспериментальные, связанные с электромагнитной теорией Максвелла.

Больцман принадлежал к числу поклонников и пропагандистов максвелловской теории электромагнитного поля, шедшей тогда вразрез с привычными взглядами и казавшейся в то время математически чрезвычайно сложной. В ряде как экспериментальных, так и теоретических работ Больцман стремился продемонстрировать справедливость уравнений Максвелла и их плодотворность для научного исследования. Его работы были посвящены измерениям диэлектрической постоянной (Больцман проверял ее связь с показателем преломления), теории электрострикции и магнетострикции, термоэлектрическим явлениям, электромагнитным волнам и т. д. Он также впервые указал, что эффект Холла дает возможность измерять концентрацию носителей тока.

В своих теоретических работах Больцман был прежде всего убежденным и ревностным сторонником молекулярной теории. Восходящее к античности представление о том, что макроскопические материальные тела вовсе не являются непрерывной средой, что они состоят из громадного числа мельчайших частиц, представление, связанное, уже в более поздние времена, с именем Бернулли и особенно развитое Ломоносовым, в девятнадцатом веке привело к созданию законченной физической теории — кинетической теории материи и статистической физики. Больцману принадлежат наиболее глубокие идеи, завершающие эту линию развития.

Молекулярно-кинетическое истолкование первого начала термодинамики, закона сохранения энергии, было первоначально основной идеей кинетической теории материи. Главной заслугой Больцмана является молекулярно-кинетическое истолкование второго начала термодинамики и установление статистического смысла понятия энтропии.

Вторая половина девятнадцатого века была периодом больших открытий в кинетической теории газов, приведших к созданию статистической физики. Равновесное распределение скоростей газовых молекул, полученное Максвеллом впервые в 1859 г. («первое доказательство» Максвелла),

в 1866 г. было им выведено газокинетически для одноатомного газа при отсутствии внешних сил. В 1868—1871 гг. Больцман в двух фундаментальных работах обобщает доказательство Максвелла на газы, находящиеся во внешнем силовом поле. Он устанавливает при этом формулу «больцмановского распределения» — формулу, которая в дальнейшем стала основой всей статистической физики. Позже, в 1876 г., он дает простое доказательство стационарности этого распределения, пригодное также и для случая, когда между молекулами газа действуют нецентральные силы (Больцман говорит о сложных, многоатомных молекулах).

Уже первая работа Больцмана, сделанная им в возрасте 21 года, носила название «Механический смысл второго начала». Однако эта работа носила еще чисто механистический характер. Только шесть лет спустя, добавив к основным законам классической механики принципы и методы статистической теории, Больцман пришел к молекулярно-статистической интерпретации второго начала термодинамики.

В 1872 г. появляется важная его работа, содержащая H -теорему, доказывающую, что только больцмановское распределение удовлетворяет условиям статистического равновесия. Больцман вводит при этом функцию H — средний логарифм функции распределения. Доказывая, что функция H с течением времени не может возрастать, он получает право истолковать ее (с обратным знаком) как аналог энтропии. В 1877 г. он указывает связь этой функции с числом перестановок, соответствующим априорной вероятности данного распределения.

При доказательстве стационарности больцмановского распределения, так же как и при доказательстве H -теоремы, Больцман исходит из выведенного им основного интегродифференциального уравнения для функции распределения, так называемого кинетического уравнения Больцмана. В ряде работ (1880—1883 гг.) он разрабатывает затем методы приближенного решения этого уравнения, выводит из него гидродинамические уравнения и т. д. Уравнение Больцмана является в настоящее время фундаментом всей кинетической теории газов.