

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

COURS DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE

THERMODYNAMIQUE

PAR

H. POINCARÉ,

Membre de l'Institut.

RÉDACTION DE

J. BLONDIN,

Agrégé de l'Université.

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE ET CORRIGÉE



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1908

Анри Пуанкаре

ТЕРМОДИНАМИКА

Перевод с французского О. И. Яковенко

Под редакцией И. А. Квасникова,
доцента физического факультета МГУ



Москва ♦ Ижевск

2005

Интернет-магазин

MAFFESS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
- математика
- биология
- нефтегазовые технологии



Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту №05-01-14074.

Пуанкаре А.

Термодинамика. — М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»;
Институт компьютерных исследований, 2005. — 332 с.

Анри Пуанкаре — крупнейший французский математик рубежа XIX–XX вв., работы которого в области теоретической физики до сих пор сохраняют свое основополагающее значение и актуальность. Первое издание «Термодинамики» вышло в Париже в 1892 г. Книга основана на прочитанных автором лекциях по термодинамике и отражает его стремление дать полный обзор исходных положений этого раздела физики, а также известных к началу XX в. технических приложений. Представляет интерес и сам характерный для лекционного курса стиль изложения материала: с многочисленными повторениями, подробными выкладками, обсуждением многих (уже забытых) примеров и положений, выдержками из полемики по спорным вопросам между Пуанкаре и яркими физиками.

Книга представляет несомненную ценность для всех, кто интересуется научным творчеством Анри Пуанкаре; будет полезна специалистам по истории физических наук, преподавателям университетов и физикам-теоретикам, желающим расширить свой кругозор.

ISBN 5-93972-471-X

© Институт компьютерных исследований, 2005

<http://rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

Оглавление

От редакции	12
Предисловие к первому изданию	14
ГЛАВА 1. Принцип сохранения энергии	23
Открытие принципа эквивалентности.	23
Невозможность вечного движения.	23
Принцип сохранения движения.	25
Живая сила.	25
Теорема живых сил.	26
Сохранение энергии.	27
Работа внешних сил.	28
Случай, когда имеются условия сохранения энергии.	28
Следствия из невозможности вечного движения.	29
ГЛАВА 2. Калориметрия	32
Теплород.	32
Температура.	32
Количество тепла.	34
Уравнение состояния тела.	36
Абсолютная температура.	36
Удельная теплоемкость при постоянном давлении.	37
Удельная теплоемкость при постоянном объеме.	37
Тепло, получаемое во время бесконечно малого изменения состояния.	38
Геометрическое представление термического состояния тела.	38
Изотермические и адиабатические кривые.	39
Следствия из гипотезы неисчезновения теплорода.	39
Выделение тепла при трении.	40
ГЛАВА 3. Работы Сади Карно	42
Первые работы Сади Карно.	42
Работа, соответствующая ходу поршня.	42
Теплый и холодный источники.	44

Количество тепла, взятое у нагревателя и полностью переданное холодильнику.	45
Обратимость цикла машины.	45
Условия обратимости простейших изменений состояния системы.	46
Цикл Карно.	46
Коэффициент полезного действия цикла Карно максимален.	48
Коэффициент полезного действия цикла Карно не зависит от природы рабочего тела.	50
Функция Карно.	50
Применение к теплоемкости газов.	52
Последние идеи Сади Карно.	57
ГЛАВА 4. Принцип эквивалентности	59
Молекулярные гипотезы.	59
Внутренняя энергия изолированной системы.	59
Учет сил трения.	60
Расширение принципа сохранения энергии.	60
Эквивалентность работы и теплоты.	61
Экспериментальное определение механического эквивалента тепла.	62
Новые опыты Джоуля.	63
Опыты г-на Роулэнда.	64
Инвариантность E	65
Принцип эквивалентности как экспериментальный принцип.	66
<i>Замечание.</i>	67
Новые методы проверки принципа эквивалентности.	68
Опыты Хирна с паровыми машинами.	68
ГЛАВА 5. Подтверждение принципа эквивалентности на основе свойств газа	72
Выражение для внешней работы, произведенной жидкостью.	72
Определение величины E на основании значений теплоемкостей газов.	73
Опыты Джоуля по расширению газа.	75
Определение E	77
Изотермическое и адиабатическое расширение газа.	78
Опыты Клемана и Дезорма. Расчет отношения $\frac{C}{c}$	79
Вычисление отношения $\frac{C}{c}$, основанное на измерении скорости звука.	81

ГЛАВА 6. Проверка справедливости принципа сохранения энергии	88
Состояние тела не всегда определяется двумя переменными.	88
Применение принципа сохранения энергии к системе назлектризованных тел.	89
Случай гальванических элементов.	90
Электродинамические явления.	91
Случай упругих твердых тел.	93
Случай движущихся тяжелых жидкостей.	95
ГЛАВА 7. Принцип Карно–Клаузиуса	100
Принцип Карно.	100
Принцип Клаузиуса.	102
Возражения Хирна.	103
Формулировка, защищенная от предыдущих возражений.	106
Другая формулировка второго начала термодинамики.	108
ГЛАВА 8. Несколько следствий из принципа Карно. Энтропия. Характеристические функции	112
Знаки величин количеств тепла в тепловых машинах.	112
Некоторые свойства изотерм и адиабат.	112
Цикл Карно.	115
Коэффициент полезного действия цикла Карно зависит лишь от температур изотерм.	116
Коэффициент полезного действия произвольного цикла может быть меньше или равен коэффициенту полезного действия цикла Карно.	119
Выражение для функции Карно.	119
Определение абсолютной температуры.	121
Теорема Клаузиуса.	123
Энтропия.	124
Энтропия изолированной замкнутой системы всегда возрастает.	125
Теорема Клаузиуса как второй принцип термодинамики.	126
Характеристические функции г-на Массье.	128
ГЛАВА 9. Изучение газа	131
Различные способы расширения газа.	131
Уравнения состояния идеальных газов.	132
Закон Джоуля является приближенным.	134
Течение жидкостей.	134
Замечание, относящееся к жидкостям.	137
Применение к газам.	138
Опыты Джоуля и сэра В. Томсона.	140

Выражение для внутренней энергии газа.	142
Определение механического эквивалента тепла.	143
Оценка абсолютных температур с помощью газов.	144
Новые выражения для внутренней энергии газа.	147
ГЛАВА 10. Жидкие и твердые тела	150
Энтропия и внутренняя энергия идеальной жидкости.	150
Адиабатическое изменение состояния сжимаемой жидкости.	152
Формула Клапейрона.	153
Замечания для тел, имеющих максимум плотности.	154
Случай твердых тел.	157
Применение формулы Клапейрона.	157
Представление цикла из опыта Эдлунда.	159
ГЛАВА 11. Насыщенные пары	161
Насыщенные пары.	161
Выражение для энтропии системы, состоящей из жидкости и ее пара.	161
Скрытая теплота парообразования жидкости.	162
Экспериментальные проверки формулы Клапейрона.	163
Определение произвольной функции, входящей в выражение для энтропии.	167
Приближенные выражения для функций H , H' , S и U	169
Адиабатическое расширение насыщенного пара.	171
ГЛАВА 12. Обобщение теоремы Клаузиуса	174
Два определения обратимости.	174
Новая формулировка теоремы Клаузиуса.	174
Обобщение теоремы Клаузиуса.	175
Трудности, снятые обобщением теоремы Клаузиуса.	175
Значение интеграла Клаузиуса.	176
Лемма.	177
Теорема гг. Потье и Пелл�.	180
Теорема.	181
Теорема Клаузиуса.	183
Энтропия системы.	186
Условие возможности изменения состояния системы.	189
Теорема Гиббса.	190
Замечания по поводу циклов, которые можно представить геометрически	191
Второй метод	192

ГЛАВА 13. Изменения агрегатного состояния	201
Изменения агрегатного состояния тела.	201
Применение принципов термодинамики.	202
Внутренняя энергия системы, состоящей из тела, находящегося в двух агрегатных состояниях.	202
Энтропия системы.	204
Выражение для характеристических функций g -на Массье.	205
Условие возможности изменения агрегатного состояния.	206
Теорема о тройной точке.	207
Неравенство давлений пара, образовавшегося при одной и той же температуре из твердого и из жидкого состояний тела.	208
Влияние давления на температуру, при которой осуществляется обратимое изменение агрегатного состояния.	208
Замечание по поводу соотношения, связывающего температуру и давление при обратимом изменении состояния.	210
Формула Клаузиуса.	210
ГЛАВА 14. Паровые машины	218
Промышленный коэффициент полезного действия тепловой машины.	218
Термический коэффициент полезного действия.	219
Максимальное значение коэффициента полезного действия паровой машины.	220
Попытки повысить коэффициент полезного действия тепловой машины.	221
Использование тепла перегретой воды.	222
Новый верхний предел коэффициента полезного действия паровой машины.	223
Выражение для максимального коэффициента полезного действия перегретого пара.	226
Влияние перегрева на величину коэффициента полезного действия.	227
Паровые машины, работающие за счет расширения пара.	228
Распределение пара золотниками и вентилями.	229
Диаграмма и коэффициент полезного действия обратимой машины с непроницаемым для тепла цилиндром.	231
Влияние конденсации воды во время расширения.	233
Влияние длительности расширения и длительности сжатия на величину коэффициента полезного действия.	235
Влияние стенок цилиндра.	236
Влияние внутреннего трения пара.	238

Реальная диаграмма паровой машины.	238
Преимущества паровой рубашки и перегретого пара.	239
Сложные или компаундные машины.	243
Инжектор Жиффара.	243
ГЛАВА 15. Химические процессы	252
Различные виды химических реакций.	252
Теория г-на Гиббса.	252
Внутренняя энергия смеси газов.	255
Теплота преобразования.	257
Энтропия смеси газов.	258
Применение к химическим реакциям.	260
Замечания по поводу гипотезы г-на Дюгема.	262
Следствия этой гипотезы.	264
Подтверждение гипотезы г-на Дюгема.	265
ГЛАВА 16. Электрические явления	274
I. Электролитические элементы	274
Величины, определяющие состояние элемента.	274
Теория Гельмгольца.	275
Доказательство постулата Гельмгольца.	276
Влияние температуры и давления на электродвижущую силу.	279
II. Термоэлектрические элементы	282
Неоднородные цепи.	282
Элементарная теория термоэлектрических элементов.	282
Теория сэра В. Томсона.	284
Модификация предыдущей теории.	289
III. Теория г-на Дюгема	291
Электрический потенциал.	291
Системы, образованные из однородных проводников.	293
Выражения $U - AW$ и S как функции зарядов.	295
Контактная разность потенциалов и эффект Пельтье.	296
Истинная и кажущаяся разность потенциалов двух контактирующих тел.	300
Эффект Томсона и соответствующая электродвижущая сила.	301
IV. Некоторые замечания	304
Явление Пельтье при контакте проводника и диэлектрика.	304
Термический коэффициент полезного действия электромоторов.	309

ГЛАВА 17. Сведение принципов термодинамики к общим принципам механики	310
Различные теории.	310
Основы теории Гельмгольца.	310
Гипотеза о природе параметров.	313
Моноциклические системы.	315
Неполные системы.	316
Применение к тепловым явлениям.	318
Применение теории Гельмгольца к колебательным движениям. . .	321
Необратимые явления.	325
Работы Больцмана.	331