

С. Д. Хайтун

**«ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ»
НА ЗЕМЛЕ
И СЦЕНАРИЙ
ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

2

ВЕЧНЫЕ ДВИГАТЕЛИ 2-ГО РОДА И НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТЬ ЗАПРЕТА НА НИХ

Карно сделал вывод об обязательности холодильника у любой тепловой машины из идеи о неуничтожаемости теплорода, согласно которой при потреблении тепла оно не уничтожается, но только передается от более нагретого тела к менее нагретому (холодильнику). Однако сегодня мы знаем, что при потреблении тепла оно исчезает как тепло, превращаясь в другие формы энергии. Это делает вывод Карно ошибочным...



URSS

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт истории естествознания и техники
им. С. И. Вавилова

С. Д. Хайтун

**«ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ»
НА ЗЕМЛЕ
И СЦЕНАРИЙ
ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

Часть 2

**Вечные двигатели 2-го рода
и несостоятельность
запрета на них**



URSS
МОСКВА

Хайтун Сергей Давыдович

«Тепловая смерть» на Земле и сценарий ее предотвращения. Ч. 2: Вечные двигатели 2-го рода и несостоятельность запрета на них. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 304 с.

Как показывается в первой части книги, из-за рассеяния практически всей потребляемой нами энергии человечеству в обозримом будущем угрожает «тепловая смерть» на Земле, предотвратить которую могла бы энергетика, основанная на круговороте тепла. Из-за малости температурных градиентов рассеянного тепла такая энергетика может стать реальной только при использовании для сбора тепла энергетических установок, КПД которых не был бы ограничен сверху КПД Карно, т. е. вечных двигателей 2-го рода. Обоснованию несостоятельности запрета на них («от имени» второго начала термодинамики и посвящена вторая часть книги.

Этот запрет, полагает автор, явился следствием ряда ошибок, допущенных основателями термодинамики. 1. Карно сделал вывод об обязательности холодильника у любой тепловой машины из идеи о неуничтожаемости теплорода, согласно которой при потреблении тепла оно не уничтожается, но только передается от более нагретого тела к менее нагретому (холодильнику). Однако сегодня мы знаем, что при потреблении тепла оно исчезает как тепло, превращаясь в другие формы энергии. Это делает вывод Карно ошибочным. 2. Действующая на Земле тенденция к рассеянию нетепловых форм энергии в виде тепла некорректно трансформируется в не знающий исключений закон, что заставляет многих авторов отрицать самую возможность использования рассеянного в среде тепла как источника «даровой» энергии. 3. Закон возрастания энтропии некорректно сводится к «закону» возрастания тепловой энтропии, тогда как действует закон возрастания полной энтропии. Из несостоятельности «закона» возрастания тепловой энтропии следует вывод, что тепловая энтропия может убывать, а компенсация превращения тепла в работу может быть и нетепловой.

В книге анализируются некоторые из фигурирующих в литературе проектов вечных двигателей 2-го рода.

Как считает автор, во второй половине XIX века Большая Наука ошибочно выбрала в области термодинамики и статистической физики тупиковую ветвь развития. Эта ситуация (из-за фрактальности науки, в силу которой она развивается через каскад точек ветвления) вполне нормальна, однако сегодня Большой Науке пора переходить с этой тупиковой ветви на магистральную, иначе эволюция покажет нас «тепловой смертью».

Вторая часть книги обращена к читателю, имеющему достаточное физико-математическое образование.

Издательство «Книжный дом «ЛИБРОКОМ»».
117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Исч. л. 19. Зак № 1930.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Введение	10
Глава 5. Компоненты, на которые распадается второе начало термодинамики, как оно представлено в литературе	16
5.1. Четыре компоненты второго начала	17
5.2. Первая компонента второго начала: выравнивание температур в чисто тепловых процессах, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым	19
5.3. Вторая компонента второго начала: превращение нетепловых форм энергии в теплоту не требует компенсации, обратное — требует	21
5.3.1. Формулировки второй компоненты второго начала	21
5.3.2. Реальность, стоящая за второй компонентой второго начала: тепловая энтропия обладает спецификой, отличающей ее от остальных форм энергии	27
5.4. Третья компонента второго начала: определение тепловой энтропии (Клаузиуса)	28
5.5. Другие определения энтропии	31
5.5.1. Статистические энтропии Больцмана и Гиббса	31
5.5.2. Энтропия системы как (макро)вероятность ее состояния (принцип Больцмана)	33
5.5.3. О смысле физической энтропии	35
5.5.4. Информационная энтропия	36
5.5.5. Структурная энтропия	39
5.5.6. Соотношение разных определений физической энтропии	40
5.6. Четвертая компонента второго начала: закон возрастания энтропии	44

5.7. Запрет на превращение тепла в другие формы энергии без тепловой компенсации неявно опирается на «закон» возрастания тепловой энтропии: предварительные соображения	48
Глава 6. Полная энтропия vs. тепловая энтропия	51
6.1. Полная и тепловая энтропии в литературе не различаются.....	51
6.2. Примеры нетепловых изменений энтропии	54
6.3. Уточнение раздела 5.1: пять компонент второго начала	61
6.4. Закон возрастания полной энтропии на фоне универсальной эволюции	61
6.4.1. Эволюционное саморазвитие взаимодействий (материи) в определенном направлении.....	62
6.4.2. Энергия как мера количества взаимодействий.....	62
6.4.3. Соответствие паттернов форм энергии материальной системы ее структуре	64
6.4.4. Эволюционное наращивание структурных «этажей» материи и отвечающих им паттернов форм энергии	66
6.4.5. Нефизические взаимодействия сотканы из физических, но не сводятся к ним.....	67
6.4.6. Закон возрастания полной энтропии как физическая проекция закона, обозначающего вектор универсальной эволюции	70
6.5. Полная энтропия как энтропия распределения плотности потока полной энергии	71
6.6. Тепловая энтропия как энтропия распределения плотности потока тепловой энергии.....	74
Глава 7. Закон возрастания полной энтропии против «закона» возрастания тепловой энтропии.....	76
7.1. Глобальная и локальная формулировки закона возрастания полной энтропии.....	76
7.2. Несостоятельность сомнений в справедливости закона возрастания полной энтропии	77
7.2.1. Первый источник сомнений: «физическая» эволюция (в сторону упрощения) против наблюдаемой эволюции (в сторону усложнения).....	77

7.2.2. Второй источник сомнений: проблема необратимости	81
7.2.3. Авторская аксиоматика закона возрастания полной энтропии	91
7.3. Глобальная и локальная формулировки «закона» возрастания тепловой энтропии	93
7.4. Проявления «закона» возрастания тепловой энтропии в случае его справедливости	94
7.4.1. Наступление теплового равновесия в результате выравнивания температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым (случай чисто тепловых процессов)	94
7.4.2. Запрет на превращение тепла в другие формы энергии без тепловой компенсации опирается на «закон» возрастания тепловой энтропии	95
7.5. Несостоятельность в общем случае «закона» возрастания тепловой энтропии	96
7.5.1. Несостоятельность в общем случае «закона» возрастания тепловой энтропии как следствие состоятельности закона возрастания полной энтропии	96
7.5.2. Наступление теплового равновесия в присутствии нетепловых взаимодействий	96
7.5.2.1. Возникновение температурного градиента в вертикальном столбе атмосферы из-за гравитационного поля Земли	97
7.5.2.2. Наступление «тепловой смерти» Вселенной из-за гравитационных и других нетепловых взаимодействий	102
7.5.3. Примеры превращения тепла в другие формы энергии, не сопровождаемого тепловой компенсацией	106
7.5.4. Уточнение раздела 5.3: компенсация превращения тепла в нетепловые формы энергии может быть нетепловой	115
7.5.5. Уточнение раздела 5.3.2: объяснение специфичности тепловой формы энергии	116
7.6. Уточнение раздела 6.3: у второго начала термодинамики только две независимые компоненты	119
Глава 8. Классические тепловые машины и второе начало термодинамики	121
8.1. Теория Карно: возникновение идеи обязательности холодильника для тепловой машины из ошибочного тезиса о неуничтожаемости теплорода	121

8.2. Теория Клаузиуса: тепловая энтропия за цикл классической тепловой машины растёт.....	126
8.3. Рост тепловой энтропии за цикл классической тепловой машины обеспечивается не вторым началом, а ее (такой машины) циклическостью.....	130
8.4. Псевдоциклические тепловые машины.....	132
8.5. Нециклические (непрерывного действия) тепловые машины.....	135
8.6. Уточнение разделов 8.2–3: циклические тепловые машины без холодильника.....	139
Глава 9. Вечные двигатели 2-го рода и несостоятельность запрета на них.....	150
9.1. Существующие определения вечных двигателей 2-го рода и их некорректность.....	150
9.2. Уточнение понятия вечного двигателя 2-го рода и несостоятельность запрета на такой двигатель как следствие несостоятельности «закона» возрастания тепловой энтропии.....	158
Глава 10. «Фабрики холода» с КПД, ограниченным и не ограниченным сверху КПД Карно, как основа термоциклической энергетики.....	161
10.1. «Фабрики холода» с КПД, ограниченным сверху КПД Карно: элементы термоциклической энергетики сегодня.....	162
10.2. «Фабрики холода» с КПД, не ограниченным сверху КПД Карно: проекты вечных двигателей 2-го рода.....	163
Заключение.....	168
Приложение 1. Равновесные термодинамические равенства.....	172
Приложение 2. Элементы неравновесной термодинамики.....	176
П. 2.1. Неравновесные макроскопические неравенства.....	176
П. 2.2. Линейная (околоравновесная) термодинамика.....	179
П. 2.3. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии.....	181

Приложение 3. Энтропия и беспорядок	184
П. 3.1. Попытки решения проблемы применимости закона возрастания энтропии (проблемы двух эволюций).....	184
П. 3.1.1. Первое направление: нескритическое восприятие закона возрастания энтропии.....	185
П. 3.1.2. Второе направление: флуктуационная гипотеза.....	189
П. 3.1.3. Третье направление: закон возрастания энтропии действует не везде.....	193
П. 3.1.4. Четвертое направление: за усложнение отвечает среда (концепция Шрёдингера и др.).....	199
П. 3.1.5. Первая модификация концепции Шрёдингера и др.: синергетика.....	206
П. 3.1.6. Вторая модификация концепции Шрёдингера и др.: подключение теории естественного отбора.....	209
П. 3.1.7. Третья модификация концепции Шрёдингера и др.: дихотомия система/среда ускоряет рост энтропии.....	212
П. 3.1.8. Пятое направление: рост энтропии может сопровождаться ростом сложности даже в изолированной системе.....	218
П. 3.1.9. Шестое направление: эволюционное усложнение объясняется теоремой Пригожина (концепция Галимова).....	232
П. 3.1.10. Седьмое направление: эволюционное усложнение объясняется давлением взаимодействий.....	235
П. 3.2. Авторское решение.....	242
П. 3.2.1. Порядок из хаоса или хаос из порядка: две ветви на древе познания.....	243
П. 3.2.2. Пересмотр ценностей: энтропия не является мерой беспорядка.....	244
П. 3.2.3. Индикаторы и латентты.....	245
П. 3.2.4. Сложность: «общечеловеческое» и физическое восприятие.....	246
П. 3.2.5. Роль взаимодействий.....	248
П. 3.2.6. Переохлажденная жидкость.....	256
П. 3.2.7. Петров и Денбиг.....	258
П. 3.2.8. Резюме.....	263
Литература	265
Именной указатель	293
Предметный указатель	300

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга является плодом многолетних размышлений автора над понятием энтропии. Первую свою статью на эту тему я написал в 1967 г., сразу по окончании Московского физико-технического института, однако опубликована она была уже после того, как в 1972 г. я оказался в Институте истории естествознания и техники АН СССР (РАН), в котором работаю по сей день. С тех пор я касался этого понятия во многих публикациях. Если в первой из них [Хайтун, 1974] авторская точка зрения относительно энтропии была достаточно стандартной, то со временем она всё более отходила от мейнстрима. В 1991 г. [Haitun, 1991] я пришел к выводу, что энтропия реальных систем, в отличие от энтропии отдельно взятого математического распределения, не является мерой беспорядка, в чем «виновны» взаимодействия, которые, определяя развитие реальных систем, сами изменяются во времени, делая баланс энтропии и беспорядка неопределенным.

Этот результат привел к новой проблеме: если энтропия реальных систем не является мерой беспорядка/сложности, то почему эволюционный рост энтропии происходит с ростом сложности? Ее решение было предложено в книге «Феномен человека на фоне универсальной эволюции» (2005) в рамках авторской версии универсального эволюционизма, которая «сама собой» привела к выводу об угрозе «тепловой смерти» человечества из-за экспоненциального, с удвоением каждые 23,5–35 лет, роста потребления энергии с последующим ее рассеянием в виде тепла.

При сохранении такого роста энергопотребления антропогенный поток тепла в биосфере через 285–430 лет сравняется с потоком тепла от Солнца, что для земной биосферы станет смертельным, полномасштабные же катастрофические явления начнутся, когда энергопотребление достигнет 0,1 % (одна оценка) или 1 % (другая оценка) от солнечного потока, что произойдет соответственно через 50–80 или 130–200 лет.

Предпринято в «Феномене человека...» рассмотрение неорганической, органической и социальной эволюции в едином ключе убедило меня также в том, что вектор эволюции безусловно существует, имея несколько компонент:

- 1) интенсификация «метаболизм» разной природы, включая энергообмен и обмен веществ;
- 2) интенсификация и расширение круговоротов энергии и вещества, и др.

Будучи одним из основных законов природы, вектор эволюции обявляет всё и вся развиваться в заданном им направлении или погибнуть.

Это значит, что *затормозить сколько-нибудь существенно рост потребления энергии - и потребления вообще — человечество не может, потому что это принесет ему гибель.*

В поисках выхода пришлось вплотную заняться анализом взаимоотношений энтропии с теплотой, подводом второму началу термодинамики, запрещающему, согласно традиции, вечные двигатели 2-го рода, т. е. энергетические установки, которые используют в качестве источника энергии рассеянное тепло среды и которые не имеют холодильника, из-за чего их КПД не лимитируется КПД Карно. Вот эта каноническая точка зрения в поисках избавления от угрозы «тепловой смерти» --- и подвергается в настоящей книге критическому анализу.

Принято считать, что холодильник необходим всякой тепловой машине для компенсации уменьшения (тепловой) энтропии, связанного с превращением тепла в другие формы энергии. Главный авторский тезис состоит в том, что *компенсация уменьшения тепловой энтропии может быть и нетепловой*, поскольку никакого «закона» возрастания *тепловой* энтропии природа не знает, действует только закон возрастания *полной* энтропии. Это и делает в принципе возможным вечный двигатель 2-го рода. Если их удастся развернуть в необходимых масштабах, то можно будет перейти к (термоциклической) энергетике, построенной на круговороте тепла, что и снимет угрозу «тепловой смерти». Диктуемого эволюцией роста энергопотребления тогда можно будет добиваться, интенсифицируя круговорот тепла без увеличения общего количества тепла, рассеянного в среде.

Работа выполнена в секторе теоретико-методологических проблем истории естествознания Института истории естествознания и техники РАН им. С. И. Вавилова. Сотрудникам Сектора во главе с А. А. Печенкиным и заводделом методологических и социальных проблем развития науки Ю. И. Кривоносову автор выражает свою признательность за содействие. Считаю также своим приятным долгом поблагодарить за неизменно благожелательное отношение на всех стадиях работы заводделом истории физико-математических наук Г. М. Иддиса. Остро критическое отношение к развиваемым в книге положениям сотрудников сектора истории физики и механики во главе с Вл. П. Визгиным и жесткая полемика с моим другом В. И. Роговым стимулировали работу на всем ее протяжении. Критика и всегда-то полезна, заставляя вас находить возможно более весомые и возможно более четко сформулированные аргументы, однако когда вы беретесь за столь рискованную тему, что наиболее участвующие из оппонентов выражают свое искреннее беспокойство за ваше душевное здоровье, она становится жизненной необходимостью. Всем, кто вольно или невольно помогал таким образом, автор выражает свою признательность, не возлагая, естественно, на них ответственность за излагавшиеся в книге положения и возможные ошибки.

ВВЕДЕНИЕ

Математик может говорить, что ему вздумается, но физик должен, хотя бы в какой-то мере, быть в здравом уме.

Джозайя Виллард Гиббс

Вплотную занявшись сегодня потеплением климата, мировое сообщество пока упускает, мне кажется, очень важную, быть может — самую важную, составляющую этой проблемы. Большинство экспертов считает сегодня, что потепление является следствием промышленных выбросов в атмосферу парниковых газов, особенно — углекислого газа CO_2 . Соответственно основные усилия сосредоточены на изыскании средств снижения концентрации CO_2 в атмосфере.

В этом, на мой взгляд, и состоит ошибка. Очистка атмосферы — дело, разумеется, благое, однако это лишь ненадолго отсрочит катастрофу. Дело в том, что, потребляя энергию, мы только превращаем одну ее форму в другую, в конечном же счете практически вся добываемая нами энергия рассеивается в виде тепла, подвергая биосферу тепловым перегрузкам.

Если и когда человечество будет ежегодно добывать, рассеивая затем в виде тепла, столько же энергии, сколько ее достигает за год поверхности Земли в виде солнечного излучения, развитым формам жизни придет конец. С удвоенным потоком тепла биосфере определенно не справиться.

Количество добытой в 2003 г. энергии примерно в 5000 раз меньше энергии солнечной радиации. Однако энергопотребление удваивается каждые 23,5–35 лет (это соответствует ежегодному приросту 2–3 %), так что, *при сохранении нынешних темпов роста*, оно сравняется по мощности с достигающей Земли солнечной энергией через 285–430 лет. Реально же проявления перегрева станут катастрофическими, когда добываемая энергия достигнет 0,1 % (одна оценка) или 1 % (другая оценка) от солнечной энергии, т. е. через 50–80 или 130–200 лет соответственно. Собственно, это и есть та самая «тепловая смерть», о которой говорили классики термодинамики во второй половине XIX в. и которая в XX в. была отвергнута применительно ко Вселенной. Теперь она реально угрожает нам на Земле. Существенно, что

тепловое загрязнение среды возникает не из-за потребления «грязных» видов топлива, но вызывается потреблением энергии как таковой. Переход к «чистым» видам топлива ничего в этом плане не даст.

Пока мировое сообщество эту проблему не обсуждает. Те же немногочисленные авторы, которые ее видят, вполне логично, на мой взгляд, ограничиваются высказыванием надежды на то, что человечество как-нибудь да сможет затормозить рост добычи энергии. Я, однако, уверен в том, что

сколько-нибудь существенное замедление роста потребления энергии и потребления вообще невозможно.

К такому выводу приводит активно развиваемый в последние десятилетия универсальный эволюционизм [Big History], который в едином ключе рассматривает неорганическую, органическую и социальную эволюцию и который позволяет утверждать, что безусловно существует вектор эволюции, имеющий несколько компонент [Хайтун, 2005а. Разд. 4.8]:

- 1) интенсификация энергообмена и обмена веществ,
- 2) интенсификация и расширение круговоротов энергии и вещества и др.

Законы эволюции, полагаю я, — столь же обязательные к исполнению законы природы, как и законы гравитации. Мы ведь прекрасно знаем, что будет с нами, прыгни мы с самолета без парашюта. Если человечество попытается сколько-нибудь существенно затормозить энергопотребление, то, пойдя поперек законов эволюции, погибнет. Гибель «поперечных» или недостаточно «параллельных» вектору эволюции социумов многократно наблюдалась в прошлом.

Предлагаю не испытывать судьбу и — в качестве возможного сценария действий — разработать меры, которые позволили бы решить проблему потепления климата, не снижая темпов роста потребления энергии. Идея звучит просто: нельзя ли собирать рассеиваемое нами тепло, чтобы вновь и вновь использовать его энергию?

Именно это делают традиционные гео- и гидротермальные циклические тепловые установки, которые работают на вулканическом тепле или тепле горячих источников, подчиняясь известным соотношениям термодинамики. Таковы же экспериментальные океанические установки, работающие за счет разницы температур между глубинными и поверхностными слоями воды (одна такая установка размещена, например, на старом танкере). Наиболее же показательны в этом плане тепловые насосы, которые всё более массово используются сегодня во всем мире для отопления зданий и которые собирают тепло, рассеянное в поверхностных слоях Земли или в воздухе. Реально все они работают как «фабрики холода», охлаждающие среду.

Мы могли бы понаставить их («фабрики холода») повсюду в атмосфере и/или океане. Собирая тепло, которое сегодня безвозвратно рассеивается в среде, перегружая биосферу, «фабрики холода», если их удастся реализовать в должных масштабах, не только предоставят нам альтернативный источник энергии, но и изменят лицо всей энергетике. *Энергопотребление приобретет форму круговорота тепла*, чего от нас, собственно, и «добивается» эволюция. Энергетика такого типа — за отсутствием более подходящего термина — может быть названа *термоциклической*.

Добыча ископаемых энергоносителей сводится в этом сценарии к минимуму — ею придется компенсировать лишь то небольшое количество энергии (проценты или доли процента), которое в ходе потребления выбывает каждый цикл из теплооборота. «Фабрики холода» станут основными источниками энергии.

Диктуемой законами эволюции интенсификации энергопотребления можно будет добиваться ускорением круговорота тепла без теплового загрязнения среды.

Если бы рассеивалась *вся* потребляемая энергия, то у нас не было бы возможности охлаждать ноосферу, и тогда ее температура продолжала бы расти из-за парникового эффекта. Возможность регулирования климата появляется благодаря именно тому обстоятельству, что небольшая часть потребленной энергии выбывает каждый раз из энергооборота. Добывая ископаемые энергоносители меньше необходимого, можно будет охлаждать ноосферу, больше необходимого — нагревать ее. Это предоставит возможность бороться не только с потеплениями климата, но и с похолоданиями, которые неоднократно сменяли друг друга на Земле в прошлом и которые могут дать о себе знать в будущем.

Переход к термоциклической энергетике принес бы разрешение и энергетического кризиса, связанного с близящимся исчерпанием традиционных энергоресурсов планеты.

Таков в общих чертах наш сценарий энергетического и климатического будущего землян. Альтернативный сценарий связан с торможением роста потребления энергии.

Оба сценария означают для человечества радикальную перестройку всего образа жизни на протяжении ближайших ста лет, однако первый направлен по вектору эволюции, а второй — против.

Я и мои немногочисленные единомышленники считаем, что второй сценарий губителен, тогда как большинство исследователей, игнорируя вектор эволюции, придерживается именно его.

Но одно дело — полемика ученых и другое — реальная жизнь. Когда дело касается столь важных вещей, человечество не может полагаться на какую-то одну точку зрения. Надо учитывать и вероятность того, что правы мы с коллегами, и того, что правы наши оппоненты. Нельзя класть яйца в одну корзину. Разрабатывать следует параллельно оба сценария, чтобы в дальнейшем реализовать какой-то один из них или их комбинацию.

Возвращаясь к авторскому сценарию, заметим, что у гео- и гидротермальных установок, к сожалению, невелики ресурсы источников энергии; ресурсы океанических установок — в условиях энергетике как круговорота тепла — неисчерпаемы, однако их КПД, ограниченный сверху КПД Карно, из-за малой разницы температур имеет потолок около 7%, реально не превышающая 2–3%. Невысок КПД и тепловых насосов, также лимитируемый КПД

Карно. Поднять же этот потолок, согласно традиции, не позволяет второе начало термодинамики, которое, в каноническом его прочтении, утверждает, что энергетические установки, полностью превращающие тепло в работу и имеющие благодаря этому КПД, не ограниченный сверху КПД Карно, невозможны, и которое обязывает их (энергетические установки) иметь холодильник, сброс части извлекаемого из среды тепла в который обеспечивает рост тепловой энтропии (энтропии Клаузиуса), диктуемый, как полагают, вторым началом.

Таким образом, на пути создания термоциклической энергетики стоит запрет, налагаемый, согласно канонической точке зрения, вторым началом термодинамики на вечные двигатели 2-го рода.

От вечных двигателей 2-го рода откровенно пахнет серой, почему без крайней на то необходимости автор этих строк не решился бы подвергнуть сомнению запрет на них. Однако такая необходимость существует, и вызывается она более чем реальной угрозой «тепловой смерти». Если сколько-нибудь существенное торможение темпов роста потребления энергии и на самом деле запрещено законами эволюции, то

перед человечеством возникает жесткая дилемма: либо попытаться установить несостоятельность запрета на вечные двигатели 2-го рода и в случае удачи реализовать термоциклическую энергетику, либо погибнуть.

Угроза «тепловой смерти» — это мощный стимул для максимально благожелательного рассмотрения аргументов против запрета на вечные двигатели 2-го рода. Поскольку же этот запрет выводят из второго начала термодинамики, постольку мы должны повнимательнее к нему (второму началу) присмотреться.

Со вторым началом и на самом деле не всё ладно, о чем свидетельствует множество существующих в литературе разных его формулировок. В нашей книге приводится 47 разных формулировок второго начала, а реально их еще больше. Это разнообразие контрастирует, например, с формулировками закона сохранения энергии, которые в тех же руководствах практически слово в слово повторяют друг друга.

Множество существующих сегодня формулировок и трактовок второго начала термодинамики говорит об отсутствии ясности относительно его содержания.

Такое впечатление сложилось не только у меня:

«Термин „второе начало термодинамики“ употребляется в физике уже более ста лет. Однако до сих пор разные авторы вкладывают в него различное содержание» [Сивухин, 1979. С. 139].

«По-видимому, нет другой области, в которой при ее создании и применениях делалось бы такое большое число неверных утверждений и выводов, как в термодинамике. Такие ошибки допускали как

основатели термодинамики, так и другие ученые, что говорит о трудности изучаемого предмета. Анализ этих ошибок и заблуждений поучителен» [Базаров, 1991. С. 162].

«...второе начало термодинамики относят к наиболее трудным для изучения законам физики» [Полторак, 1991. С. 37].

Отсюда и возникает основная задача этой книги: из множества формулировок и трактовок второго начала термодинамики мы попытаемся выслушать ядро закона природы, который за всем этим стоит, имея при этом в виду решение практического вопроса о справедливости или несправедливости запрета на вечные двигатели 2-го рода:

«...рассматривая все возражения против второго начала, не нужно забывать, что в конце концов, если только нет ошибки в рассуждениях, они направлены против невозможности *perpetuum mobile* второго рода» [Планк, 1925а. С. 98].

Учитывая богатое прошлое второго начала и запрета на вечные двигатели 2-го рода, мы будем работать в жанре *активной истории науки*, когда анализ данной научной проблемы или дисциплины совмещается с анализом ее истории. Кредо автора этих строк состоит в том, что точка зрения, наиболее продуктивная в историко-научном плане, почти наверняка окажется и наиболее верной относительно самой проблемы, и наоборот.

Как показывает проведенный в книге анализ, в том, что в литературе называется вторым началом термодинамики, скрываются пять разных положений, из них одно ошибочное:

- 1) в чисто тепловых процессах происходит выравнивание температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым;
- 2) существует асимметрия между процессами превращения нетепловых форм энергии в теплоту, с одной стороны, и превращения теплоты в другие виды энергии — с другой: первые, в отличие от вторых, не требуют компенсации;
- 3) для равновесного (обратимого) случая может быть введено равенство $dS = dQ/T$, которое является здесь определением (тепловой) энтропии;
- 4) действует закон возрастания полной энтропии;
- 5) действует «закон» возрастания тепловой энтропии.

Закон возрастания полной энтропии и «закон» возрастания тепловой энтропии одновременно справедливыми быть не могут. Показав несостоятельность сомнений в справедливости закона возрастания полной энтропии, одним источником которых является наблюдаемая эволюция в сторону усложнения (мы показываем ошибочность для реальных систем трактовки энтропии как меры беспорядка), а другим — проблема необратимости (мы показываем, что в области необратимых явлений симметрич-

ная по времени гамильтонова механика, из которой многие авторы пытались вывести закон возрастания энтропии, не работает),

мы приходим к выводу о несправедливости «закона» возрастания тепловой энтропии. Этот вывод подкрепляется рассмотрением ряда примеров превращения тепла в другие формы энергии, не сопровождаемого тепловой компенсацией. Всё это делает запрет на вечные двигатели 2-го рода несостоятельным,

открывая дорогу к созданию термоциклической энергетики.

Тот факт, что со стороны физики отсутствует запрет на создание вечных двигателей 2-го рода, еще не означает, что создание таких двигателей, которые могли бы быть положены в основание термоциклической энергетики, т. е. достаточно мощных, экономически выгодных и экологически безопасных, и на самом деле возможно. Термоядерный синтез, к примеру, законами физики тоже не запрещен, однако с созданием соответствующей энергетической установки ничего не получается уже полвека.

Пока неясно, какими могут быть пути создания вечных двигателей 2-го рода. Поэтому в последней главе рассматриваются несколько проектов таких двигателей, которые были отобраны автором из нескольких десятков встретившихся в литературе разработок таких двигателей и которые показались ему наиболее достоверными.

К сожалению, рассмотрение проектов вечных двигателей 2-го рода чрезвычайно осложнено сегодня тем обстоятельством, что из-за запрета, наложенного на их рассмотрение Большой Наукой, эта область исследований и разработок оказалась задвинутой на задворки науки. Вынужденное же пребывание там заставляет авторов проектов вечных двигателей 2-го рода вариться в собственном соку, что, естественно, снижает научный уровень их текстов, часто — до недопустимо низкого уровня. Здесь очень сложно отделить плеселы от ржи.

Поэтому к каждому отдельно взятому проекту вечного двигателя 2-го рода — за одним-двумя исключениями — автор этих строк относится достаточно скептически — уж очень недостоверно звучит всякий раз информация о таких разработках. Позитивно же — по изложенным выше причинам — я отношусь лишь к самой идее вечных двигателей 2-го рода. Моей задачей было не предъявить проекты таких энергоустановок, которые можно было бы немедленно запускать в производство, но продемонстрировать некоторые существующие здесь идеи и убедить читателя в том, что эта область исследований заслуживает позитивного к себе отношения. Если и когда за отбор разумных (перспективных) проектов вечных двигателей 2-го рода возьмутся крупные энергетические компании, подключив серьезные научные силы, то, уверен, результаты не заставят себя долго ждать.

Если бы этой книгой удалось переломить негативное отношение Большой Науки к вечным двигателям 2-го рода и побудить энергетические компании взять их исследования и разработки под свое крыло, то «сверхзадача» автора этих строк была бы выполнена.

ГЛАВА 5

Компоненты, на которые распадается второе начало термодинамики, как оно представлено в литературе

Начиная разбираться с запретом «от имени» второго начала термодинамики на вечные двигатели 2-го рода, вы сразу же сталкиваетесь с тем, что содержание второго начала, как оно представлено в литературе, донельзя размыто. Только К. А. Путилов [1939] приводит 18 формулировок второго начала, реально же их гораздо больше, тогда как, например, закон сохранения энергии формулируется в разных курсах физики практически одинаково; еще меньше различий в трактовке, не говоря уже о написании, уравнений Гамильтона или Максвелла. Множество сосуществующих формулировок закона, конечно же, свидетельствует об отсутствии ясности в его понимании:

«Термин „второе начало термодинамики“ употребляется в физике уже более ста лет. Однако до сих пор разные авторы вкладывают в него различное содержание» [Сивухин, 1979. С. 139]

Анализируя содержание второго начала термодинамики, мы опирались на большое количество (около 70) курсов физики, а также на оригинальные физические работы и историко-научные исследования¹, включая посвященные энтропии монографии. В разд. 5.2, 5.3.1, 5.4, 5.6, 8.1 и 9.1 приводится в общей сложности 47 формулировок второго начала из встретившихся нам в

¹ [Кудрявцев, 1948–1971; Roller, 1950; Ter Haar, 1955; Koenig, 1959; Спасский, 1963–1964; Brush, 1965–1972; 1967; 1976; 1983; 1988; Dutta, 1968; Гельфер, 1969–1973; Klein, 1970; Хайгун, 1974, 1986, 1994, 1996; Clark, 1976; Алексеев, 1983; Ребане, 1984; Atkins, 1984; Sheynin, 1985; Covey, 1988, Entropy, Information..., 1988; Haitun, 1991; Мезенцева, 1997; Штеренберг, 2003].

литературе и сочтенных нами разными. При этом некоторые формулировки, например чересчур формальный, на мой взгляд, постулат К. Каратеодори

«В любой окрестности произвольно заданного начального состояния имеются состояния, которые нельзя как угодно точно аппроксимировать адиабатическими² изменениями состояния» [Carathéodory, 1909; Рус. пер. С. 197],

на основании которого он вводит понятие энтропии и который в принципе мог бы рассматриваться в разд. 5.4, в настоящей книге задействованы не были.

5.1. Четыре компоненты второго начала

Часто приходится читать о тождественности разных формулировок второго начала:

«Существует несколько эквивалентных формулировок второго начала термодинамики» [Физика..., 1999. С. 94].

«...все приведенные Путиловым³ формулировки второго начала термодинамики (и сотни других формулировок) являются тождественными, т. е. вытекают одна из другой» [Опарин, 2004. С. 28].

Это и так, и не так. Конечно же, все многочисленные формулировки второго начала не могут быть и не являются тождественными, как не могут они все быть и разными, образуя достаточно сложно устроенное множество, на котором, однако, может быть наведен некоторый порядок:

«Наиболее логично поступают те авторы, которые понимают под вторым началом основной постулат: постулат Томсона—Планка, постулат Клаузиуса или эквивалентные им утверждения.

Другие авторы сводят содержание второго начала термодинамики к двум положениям, являющимся следствиями основного постулата: 1) существованию энтропии S как функции состояния системы; 2) принципу возрастания энтропии. Эти два положения, как впервые отметила Т. А. Афанасьева-Эренфест (1876–1964), логически независимы друг от друга... многие авторы по примеру Афанасьевой-Эренфест понимают под вторым началом термодинамики только одно следствие основного постулата, а именно существование энтропии как функции состояния системы» [Сивухин, 1979. С. 139].

² Об адиабатических процессах см. в разд. 6.2 (соотношения (6.2.6–7) и связанный с ними текст).

³ [Путилов, 1939].

Для начала мы выделим в том, что исторически именуется вторым началом термодинамики, четыре положения:

- 1) в чисто тепловых процессах происходит выравнивание температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым;
- 2) существует асимметрия между процессами превращения не тепловых форм энергии в теплоту, с одной стороны, и превращения теплоты в другие виды энергии — с другой: первые, в отличие от вторых, не требуют компенсации;
- 3) для равновесного (обратимого) случая может быть введено равенство $dS = dQ/T$, которое является здесь определением (тепловой) энтропии;
- 4) действует закон возрастания энтропии.

В разд. 6.3 мы увидим, что четвертая компонента второго начала в свою очередь расщепляется на две — закон возрастания полной энтропии и «закон» возрастания тепловой энтропии. А пока последовательно рассмотрим в настоящей главе четыре указанных компонента. С тем, однако, ограничением, что в разд. 5.2–3 мы не будем касаться формулировок второго начала, в которых идет речь о циклических тепловых машинах и характерных для них круговых процессах.

На то есть веские основания. История второго начала термодинамики парадоксальна. С. Карно, Р. Клаузиуса и др. классиков термодинамики XIX в. привело к открытию этого закона природы именно рассмотрение циклических тепловых машин (нелинейных тепловых машин тогда просто не были известны). Однако частный случай круговых процессов имеет свои особенности, которые, затмевая восприятие второго начала, привели классиков — такова точка зрения автора этих строк — к систематической ошибке в его (второго начала) понимании. За анализ этих особенностей мы возьмемся поэтому только в гл. 8, после того как выработаем максимально четкие представления о втором начале термодинамики. За одним исключением — мы слегка коснемся круговых процессов в разд. 5.4, где — по историческим причинам — без них просто нельзя обойтись и где их «коварство» не успеет себя проявить из-за мимолетности контакта.

Рассмотрение же формулировок второго начала, в которых идет речь о запрете на вечные двигатели 2-го рода, производится в гл. 9, потому что этот запрет круто замешен на тех самых особенностях круговых процессов, которые исказили, как я полагаю, восприятие второго начала классиками термодинамики и которые рассматриваются в гл. 8.

В заключение раздела терминологическое замечание. Ранее автор этих строк называл второе начало термодинамики *тепловой проекцией закона возрастания энтропии* [Хайтун, 2005а. Гл. 1–2], утверждая соответственно, что оно не работает за пределами тепловых явлений [Там же. Разд. 3.2.3]. Такое понимание второго начала *правильно* (если рассуждать

строго логически, т. е. формально, то второе начало термодинамики и на самом деле может распространяться только на тепловые явления), но, как я теперь понимаю, *непродуктивно*. И непродуктивно по той простой причине, что оставляет за бортом всё то множество трактовок второго начала, которые встречаются в литературе и которое мы обязаны упорядочить, если хотим навести во всем этом хозяйстве какой-то порядок.

5.2. Первая компонента второго начала: выравнивание температур в чисто тепловых процессах, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым

Формулировки второго начала, относящиеся к настоящему разделу, разобьем на две группы.

1. Формулировки, в которых говорится о процессах перехода тепла от одного нагретого тела к другому:

- 1.1. «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому» [Clausius, 1850; Цит. по: Clausius, 1876; Рус. пер. С. 133]⁴.
- 1.2. «Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь место без компенсации» [Clausius, 1876; Рус. пер. С. 134]⁵.
- 1.3. «Автоматическая машина без помощи внешнего воздействия со стороны не в состоянии передавать теплоту от одного тела к другому, находящемуся при более высокой температуре» [Thomson, 1851; Рус. пер. С. 167].
- 1.4. «Настоящий смысл положения Клаузиуса заключается в том, что тепло вообще никаким способом, с помощью какого бы то ни было процесса, не может быть перенесено с более холодного тела на более теплое, без того, чтобы не осталось других изменений („компенсаций“») [Планк, 1925а. С. 93]⁶.

⁴ Аналогичные формулировки: [Пирогов, 1888. С. 15; Циолковский, 1914. С. 5; Хвольсон, 1923. С. 408; Планк, 1925а. С. 93; Путилов, 1939. С. 5; Мюнстер, 1971. С. 18; Радужкевич, 1971. С. 74; Ансельм, 1973. С. 135; Яковлев, 1976. С. 195; Фейнман и др., 1977б. С. 339; Кириллин и др., 1979. С. 53; Сивухин, 1979. С. 92; Гухман, 1986. С. 333; Квасников, 1991. С. 69; Физика..., 1999. С. 751].

⁵ Аналогичные формулировки: [Пирогов, 1888. С. 15; Вукалович, Новиков, 1972. С. 44; Андрищенко, 1975. С. 38; Новиков, 1984. С. 55; Гухман, 1986. С. 333].

⁶ Аналогичные формулировки: [Ноздрев, 1967. С. 93; Румер, Рывкин, 1972. С. 35; Ферми, 1973. С. 32; Яковлев, 1976. С. 190, 195; Сивухин, 1979. С. 92–93; Савельев, 1986. С. 342; Физика..., 1999. С. 95].

1.5. «...сущность постулата Клаузиуса заключается в том, что переход теплоты от более холодного тела к более тепловому, хотя и вполне осуществим, но никогда не происходит *одни*: его необходимо сопровождает другой физический процесс. Таким вторым, сопровождающим процессом, существование которого определяет самую возможность рассматриваемого перехода теплоты, может оказаться переход теплоты от более теплого тела к более холодному, переход работы в теплоту, диффузия двух газов (Больцман) и т. п. (выделено О. В. Хвольсоном. — С. X.)» [Хвольсон, 1923. С. 408].

2. Формулировки, в которых говорится о выравнивании температур:

2.1. «Различные соображения, касающиеся природы и поведения теплоты, привели меня к убеждению, что проявляющееся при теплопроводности и обыкновенном излучении тепла стремление теплоты переходить от более теплых тел к более холодным, выравнивая таким образом существующие разницы температур, связано так тесно с самой ее сущностью, что оно должно иметь силу при всех обстоятельствах» [Clausius, 1876; Рус. пер. С. 133].

2.2. «...если температура в какой-нибудь ограниченной области остается везде одинаковой, то в данном запасе теплоты не происходит никаких явлений, т. е. изменений. Наоборот, если температура двух точек различна, то неизбежно произойдет... *выравнивание существующих различий в температуре*. Поскольку дело идет о чисто тепловых процессах, никогда не может произойти увеличения температурного различия, — наоборот, всегда лишь его уменьшение (выделено В. Оствальдом. — С. X.)» [Оствальд, 1913. С. 117].

С обеими группами формулировок этой компоненты второго начала всё в порядке. В случае *чисто тепловых процессов* тепло и на самом деле всегда переходит, — когда предоставляется такая возможность, скажем, при прямом контакте двух тел, — от более горячего из них к менее горячему.

Два тела с разными температурами — это, очевидно, частный случай тепловой системы с неоднородным распределением температуры, о которой (системе) можно сказать, что — опять же *для чисто тепловых процессов* — описывающее ее распределение температуры всегда становится со временем более однородным. Такое поведение тепловой системы является проявлением четвертой компоненты второго начала (разд. 5.6), точнее «закона» возрастания тепловой энтропии (разд. 7.3), справедливого в случае чисто тепловых процессов (разд. 7.4) и не справедливого в общем случае, когда в системе наряду с тепловыми процессами протекают нетепловые (разд. 7.5). В этом общем случае возможен и переход тепла от менее горячего тела к более горячему, а распределение температуры системы

может становиться со временем более неоднородным, однако происходящее при этом уменьшение тепловой энтропии должно быть компенсировано нетепловыми процессами, обеспечивающими на фоне уменьшения тепловой энтропии рост полной энтропии системы.

5.3. Вторая компонента второго начала: превращение нетепловых форм энергии в теплоту не требует компенсации, обратное — требует

5.3.1. Формулировки второй компоненты второго начала

Формулировки второго начала термодинамики, относящиеся к настоящему разделу, разобьем на три группы.

1. Формулировки, в которых говорится об условиях, при которых возможно превращение тепла в другие формы энергии (в работу)⁷:

- 1.1. «...повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновение движущей силы (т. е. работы. — С. Х.)» [Carnot, 1824; Рус. пер. С. 22].
- 1.2. «...недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы (т. е. работы. — С. Х.): нужно еще добыть холод... В самом деле, если бы вокруг нас были тела только такие горячие, как и топка, каким бы образом можно было сконденсировать пар? Куда бы его деть, раз он получен? Не следует думать, что его можно, как это практикуется в некоторых машинах, выбросить в атмосферу: атмосфера не приняла бы его. Она принимает его в обычных условиях, потому что выполняет роль большого холодильника, потому что она находится при более низкой температуре» [Там же. С. 20]⁸.
- 1.3. «...только когда теплота переходит от более теплого тела в менее теплое, она может быть превращена в механическую энергию, и то не вся, а лишь часть ее. Теплоту тела, которого мы не можем охладить, мы не можем превратить ни в механическую, ни в электрическую или химическую энергию» [Helmholtz, 1854; Рус. пер. С. 12].
- 1.4. «То обстоятельство, что с помощью тел, находящихся в тепловом равновесии друг с другом, нельзя произвести никакого процесса,

⁷ «...энергия — это способность к совершению работы... Попросту говоря, работа — это энергия в действии» [Голдин, 1983. С. 25].

⁸ Аналогичные формулировки: [Шамбалаль, 1967. С. 27; Гухман, 1986. С. 347; Савельев, 1986. С. 344; Фен, 1986. С. 128; Оларин, 2004. С. 12].

или, как говорят несколько точнее, — нельзя произвести никакой работы, является весьма важным утверждением, которое носит название второго начала термодинамики» [Ландау, 1949. С. 116–117].

- 1.5. «...в природе невозможны процессы, единственным следствием которых было бы совершение механической работы, произведенной в результате охлаждения теплового резервуара» [Физика..., 1999. С. 95]⁹.
- 1.6. «...невозможно превращение тепла в работу без компенсации» [Путилов, 1939. С. 4]¹⁰.
- 1.7. «Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов» [Thomson, 1851; Рус. пер. С. 165]¹¹.
- 1.8. «Мы... имели бы автоматически действующую машину, способную непрерывно извлекать теплоту тела, окруженного другими телами с более высокой температурой, и превращать эту теплоту в механическую работу... последнее противоречит нашей аксиоме (т. е. только что приведенному тезису В. Томсона. — С. X.)» [Там же. Рус. пер. С. 166].

Среди приведенных восьми формулировок, наряду с верными, имеются, на мой взгляд, и ошибочные. Формулировка 1.1 С. Карно безусловна верна, ибо всегда, когда наличествует градиент температуры, можно получить работу. Однако утверждение Карно 1.2, казалось бы просто уточняющее первое, но на самом деле усиливающее его, представляется ошибочным; этот наш вердикт распространяется и на опирающуюся на утверждение 1.2 формулировку 1.3. Дело в том, что — и это центральный пункт во всей истории с запретом на вечные двигатели 2-го рода —

превращение тепла в работу (в другие формы энергии) сопровождается уменьшением тепловой энтропии системы и потому невозможно, если всё изменение полной энтропии системы сводится к этому процессу. Однако, вопреки постулатам 1.2–3, в общем случае уменьшение тепловой энтропии, обусловленное превраще-

⁹ Это высказывание иногда приписывают В. Томсону (1851) [Ферми, 1973. С. 32; Физика..., 1999. С. 95], однако я не нашел такого утверждения в трех его статьях, опубликованных на русском языке [Thomson, 1851, 1852a, b]. Аналогичные формулировки: [Путилов, 1939. С. 3; Румер, Рывкин, 1972. С. 35; Фейнман и др., 1977б. С. 338–339, 356; Ферми, 1973. С. 32].

¹⁰ Аналогичная формулировка: [Квасников, 1991. С. 69].

¹¹ Аналогичные формулировки: [Пирогов, 1888. С. 15–16; Циолковский, 1914. С. 5; Хвольсон, 1923. С. 416; Андрющенко, 1975. С. 39; Кириллин и др., 1979. С. 53; Гухман, 1986. С. 346; Опарин, 2004. С. 19].

нием тепла в работу, может быть компенсировано и нетепловым образом (разд. 5.7 и 7.5).

Именно это соображение стоит за формулировками 1.5–6, которые представляются нам вполне корректными.

Что касается формулировки 1.4, то она некорректна уже потому, что, находясь в *тепловом* равновесии, система тел может иметь, например, *гравитационные* или *электрические* градиенты, и тогда из нее можно извлекать работу. Кроме того, ничто не мешает энергетической установке *самой создавать в равновесной среде нужные ей градиенты* (см., например, в разд. 10.2 об установке Орлова и др.).

Последние в этой группе формулировки В. Томсона 1.7–8 совершенно определенно ошибочны, на что указывают тепловые насосы, о которых шла речь в разд. 1.4.2.4, т. I и 3.4, т. I (в последнем уже приводилась формулировка 1.7) и которые черпают тепло в холодной среде. Тот факт, что на это расходуется работа, производимая иным источником энергии (например, электродвигателем), не меняет сути дела. Во-первых, потому что реально эта работа, как говорилось в разд. 1.4.2.4, т. I, примерно в 3–4 раза меньше забираемой из холодной среды тепловой энергии. А, во-вторых, потому что формулировками Томсона 1.7–8 это не возбраняется.

2. Формулировки, в которых превращение тепла в другие формы энергии (в работу) сравнивается с превращением других форм энергии (работы) в тепло:

2.1. «Никакое восстановление механической энергии без более чем эквивалентного рассеяния невозможно в неживых материальных процессах и, вероятно, никогда не осуществляется при помощи организованной материи, как наделенной растительной жизнью, так и подчиненной воле одушевленного существа» [Thomson, 1852b; Цит. по: Thomson, 1882. P. 514]¹².

2.2. «Когда теплота получается с помощью необратимого процесса (например трения), происходит *расточение* механической энер-

¹² Таков мой перевод этого достаточно темного тезиса Томсона. Канонический перевод: «Восстановление механической энергии в ее прежнем количестве без рассеяния ее в более чем эквивалентном количестве не может быть осуществлено при помощи каких бы то ни было процессов с неодушевленными предметами и, вероятно, также никогда не осуществляется при помощи организованной материи, как наделенной растительной жизнью, так и подчиненной воле одушевленного существа» [Thomson, 1852b; Рус. пер. С. 182]. Оригинал: “Any restoration of mechanical energy without more than an equivalent of dissipation, is impossible in inanimate material processes, and is probably never effected by means of organized matter either endowed with vegetable life or subjected to the will of an animated creature” [Thomson, 1852b; Цит. по: Thomson, 1882. P. 514].

гии, и полное *возвращение* ее к первоначальному состоянию невозможно... Когда теплота рассеивается путем *проводимости*, происходит *расточение* механической энергии, и полное *возвращение* ее к первоначальному состоянию невозможно (выделено В. Томсоном. — С. X.)» [Thomson, 1852b; Рус. пер. С. 181].

- 2.3. «„Образование тепла путем трения необратимо“. Этим... полностью исчерпывается содержание второго закона термодинамики» [Планк, 1936. С. 442].
- 2.4. «...механическая работа может сама собой превратиться в тепло, — хотя бы посредством трения, — но теплота не может сама собой превратиться обратно в работу» [Планк, 1925б. С. 12].
- 2.5. «...второе начало и в наше время часто формулируется следующим образом: превращение работы в тепло совершается полностью, превращение же тепла в работу — только частично» [Планк, 1925а. С. 89–90].
- 2.6. «Постулат Клаузиуса может быть... обобщен следующим образом. Все мыслимые процессы или, как мы их условились называть, *превращения* могут быть разделены на две группы. Превращения первой группы назовем *положительными* или *естественными*, превращения второй группы — *отрицательными* или *неестественными*.

К *положительным* или *естественным* превращениям относятся, например:

Переход теплоты от более теплого тела к более холодному.

Переход работы в теплоту.

Взаимная диффузия двух газов.

К *отрицательным* или *неестественным* превращениям относятся, например:

Переход теплоты от более холодного тела к более теплоту.

Переход теплоты в работу.

Разделение двух газов, составляющих смесь...

Обобщенный постулат Клаузиуса может быть выражен в виде следующих положений:

I. Положительные превращения могут происходить „сами собою“.

II. Отрицательные превращения не могут происходить „сами собою“, т. е. никогда не могут являться единственным результатом каких-либо процессов.

III. *Отрицательное превращение может совершаться только тогда, когда одновременно с ним совершается положительное превращение* (выделено О. Д. Хвольсоном. — С. Х.)» [Хвольсон, 1923. С. 408–409]¹³.

2.7. «...когда происходит преобразование работы в теплоту, дело может ограничиваться изменением термодинамического состояния одного лишь теплополучающего тела (например, при нагревании путем трения); в противоположность этому всегда, когда происходит преобразование теплоты в работу, наряду с охлаждением теплоотдающего тела непременно происходит изменение термодинамического состояния еще одного или нескольких тел. В термодинамике это изменение термодинамического состояния рабочего тела или других привлекаемых к участию в процессе тел называется *компенсацией* превращения тепла в работу (выделено К. А. Путиловым. — С. Х.)» [Путилов, 1939. С. 3–4].

Все приведенные в этом пункте семь формулировок второго начала, на мой взгляд, вполне корректны, фиксируя и на самом деле существующее различие процессов превращения нетепловых форм энергии в тепло (рассеяния, или диссипации энергии), с одной стороны, и обратных им процессов превращения тепла в нетепловые формы энергии — с другой: если первые протекают свободно («сами собой»), не требуя какой-либо компенсации, то вторые протекать «сами собой» не могут, требуя компенсации.

Именно в этом, в частности, видится смысл утверждения о необратимости трения в формулировках 2.2–3: если превращение кинетической энергии движения трущихся тел в тепло протекает «само собой», не требуя компенсации, то обратное превращение тепла в кинетическую энергию движения трущихся тел «само собой» произойти не может (формулировка 2.4), что и делает трение необратимым.

3. Формулировки, в которых указывается направление всех процессов превращения энергии в мире:

3.1. «В материальном мире существует в настоящее время общая [universal] тенденция к расточению [to the dissipation] механической энергии» [Thomson, 1852b; Рус. пер. С. 182]¹⁴.

3.2. «...мы можем весь запас энергии во Вселенной разделить на две части: одна из них представляет собою теплоту и должна ею оставаться, другая, — к которой принадлежат теплота более нагретых тел и весь запас механической, электрической, химической и магнитной энергии, — может быть превращена в любую форму энергии, и она-то и поддерживает все бесконечно разнообразные про-

¹³ Аналогичные формулировки: [Брюн, 1915. С. 31–21; Радушкевич, 1971. С. 75].

¹⁴ Аналогичная формулировка: [Хвольсон, 1923. С. 417].

цессы в жизни природы. Но теплота более нагретых тел непрерывно стремится при помощи теплопроводности и излучения перейти в менее нагретые тела и вызвать равновесие температур. При движении земных тел благодаря трению и толчкам часть механической энергии превращается в теплоту, которой только часть может быть опять превращена в механическую энергию; то же самое происходит и при каждом химическом или электрическом процессе. Из этого следует, что первая часть энергии природы, — неизменная теплота, — непрерывно увеличивается, тогда как вторая, — механическая, электрическая и химическая энергия, — непрерывно уменьшается; так что, если физические процессы во Вселенной будут непрерывно идти таким путем, вся энергия превратится, наконец, в теплоту, и тогда может наступить полное равновесие температуры. С этого момента дальнейшие превращения энергии окажутся невозможными, и все процессы природы должны будут приостановиться... с этого момента Вселенная будет обречена на вечный покой» [Helmholtz, 1854; Рус. пер. С. 12]¹⁵.

- 3.3. «... все процессы протекают на Земле таким образом, что количества энергии, свободные или годные к употреблению, непрерывно уменьшаются» [Оствальд, 1901. С. 191]¹⁶.
- 3.4. «... в известном нам мире количество свободной энергии¹⁷ постоянно убывает... Дело... обстоит так, что в мире, поскольку мы его знаем, количество возможностей событий постоянно становится всё меньше» [Оствальд, 1913. С. 99–100].
- 3.5. «Ценность энергии заключается в ее способности дать механическую работу; мы видели, однако, что неравномерное распределение теплоты, т. е. наличие нагревателя и охладителя, есть условие возможности получения из нее работы. Стремление к рассеянию уменьшает запасы ценной энергии. На этом основа-

¹⁵ Аналогичные формулировки: [Брюн, 1915. С. 27; Ноздрев, 1967. С. 92].

¹⁶ Аналогичная формулировка: [Андрюшенко, 1975. С. 38].

¹⁷ «В 1881 г.... Гельмгольц ввел понятие „свободная энергия“ и разделил внутреннюю энергию системы U на свободную, т. е. способную к превращениям, энергию F , и несвободную, т. е. неспособную к превращениям, энергию G : $U = F + G$. Свободная энергия системы F , т. е. энергия, способная превращаться в механическую работу, является одним из термодинамических потенциалов... Несвободная энергия G , т. е. энергия, которая в данных условиях не может быть превращена в работу, называется связанной, или покоящейся, энергией и равна произведению температуры T на энтропию S : $G = TS$, т. е. $F = U - TS$.

На основании такого разделения энергии... Оствальд дал новую формулировку второго начала термодинамики» [Опарин, 2004. С. 20]. О свободной энергии см. также в прил. 1; о законе убывания свободной энергии — в разд. П. 2.1.

нии Pfaundler высказал мысль о стремлении материи, как носителя энергии, которая вне материи не существует, к обесценению (Entwertung); энергия же стремится к „вырождению“ (Entartung)» [Хвольсон, 1923. С. 417]¹⁸.

С формулировками второго начала, представленными в данном пункте, произошла странная (впрочем, достаточно обычная для науки) метаморфоза: В. Томсон (формулировка 3.1) сформулировал свой тезис как констатацию действующей в окружающем нас мире *тенденции* к рассеянию механической энергии в виде тепла. Г. Гельмгольц (формулировка 3.2), обобщивший — что является его несомненной заслугой — тезис Томсона на все нетепловые формы энергии, одновременно деформировал его (тезис) в *закон*, что сделало его (Гельмгольца) формулировку ошибочной. Ошибочными, на мой взгляд, являются формулировки и других авторов (3.3–5), трактующих указанную тенденцию как закон. Мир вовсе не идет ко всеобщей деградации (см. разд. 7.5.2.2 и [Хайтун, 2005а]), а разные формы энергии нельзя ранжировать по их «ценности», определяемой способностью произвести механическую работу, о чем пойдет речь в следующем разделе.

5.3.2. Реальность, стоящая за второй компонентой второго начала: тепловая энтропия обладает спецификой, отличающей ее от остальных форм энергии

Если выделить из формулировок разд. 5.3.1 сухой остаток, то это будет констатация асимметрии между процессами превращения нетепловых форм энергии в тепло, с одной стороны, и обратными им процессами превращения тепла в нетепловые формы энергии — с другой. Если первые не нуждаются ни в какой компенсации, протекая легко и свободно, то вторые требуют компенсации. Однако, вопреки классическим формулировкам второго начала, эта компенсация, как будет показано в разд. 5.7 и 7.5, может быть и нетепловой, второе начало ограничивает процессы превращения теплоты в другие формы энергии только в том отношении, что полная энтропия при этом обязана расти, тепловая же энтропия расти не должна. Убывание тепловой энтропии, связанное с превращением нетепловых форм энергии в теплоту, компенсируется процессами, обеспечивающими рост нетепловых компонент энтропии и — в итоге — рост полной энтропии.

Провозглашенная В. Томсоном (формулировка 3.1) общая тенденция к рассеянию тепла действительно существует, что делает в определенном смысле справедливой и идею о «деградации энергии» (формулировки 3.2–5). Оба эти тезиса до некоторой степени отражают реальность, однако формулировки 3.2–5 некорректно трансформируют тезис Томсона из ос-

¹⁸ Аналогичная формулировка: [Зарафянц, 1935. С. 9; Соколов, Бродянский, 1981. С. 19–20].

торожной констатации *тенденции* к рассеянию тепла в провозглашение в не знающий исключений *закон*. Как будет показано в разд. 7.5, «закон» возрастания тепловой энтропии несостоятелен, а вместе с ним несостоятелен и «закон» рассеяния нетепловых форм энергии в виде тепла.

Не существует и никакого ряда разных форм энергии, которые бы различались по ценности, определяемой способностью совершать работу. Различие разных форм энергии в данном отношении, т. е. по способности совершать работу (превращаться в другие формы энергии), носит вполне дихотомический характер: с одной стороны — теплота, с другой — все остальные формы энергии. Фактом является то, что

нетепловым формам энергии легче превращаться в тепловую, чем тепловой энергии — в нетепловые ее формы. Превращение нетепловых форм энергии в тепло не требует никакой компенсации, тогда как превращение тепловой энергии в нетепловые ее формы нуждается в компенсации, обеспечивающей рост полной энтропии.

Все нетепловые формы энергии, включая (механическую) работу, оказываются таким образом в одной «категории», тогда как тепловая энергия находится в другой «категории». В чем состоит специфика тепловой энергии, отличающая ее от остальных форм энергии, будет объяснено в разд. 7.5.5.

5.4. Третья компонента второго начала: определение тепловой энтропии (Клаузиуса)

Понятие энтропии ввел Р. Клаузиус [Clausius, 1865] на основании рассмотрения кругового процесса¹⁹ для обратимой циклической тепловой машины, отталкиваясь от результатов С. Карно [Carnot, 1824], которые он перевел с языка теории теплорода на язык молекулярно-кинетической теории теплоты. Из цепочки равенств (3.2.2)

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_1} = 1 - \frac{Q_0}{Q_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1} \quad (5.4.1)$$

для КПД Карно, где Q_1 — тепло, полученное при температуре T_1 рабочим телом за цикл от нагревателя, и Q_0 — тепло, переданное при температуре T_0 рабочим телом за цикл холодильнику, видно, что

¹⁹ «КРУГОВОЙ ПРОЦЕСС (цикл), термодинамический процесс, при котором система, претерпев ряд изменений, возвращается в исходное состояние. Термодинамические параметры и характеристические функции состояния системы (внутренняя энергия U , энтальпия, изохорный и изобарный потенциалы, энтропия и др.) в результате кругового процесса принимают первоначальные значения, и, следовательно, их изменения при круговом процессе равны нулю» [Физика..., 1999. С. 333].

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{T_1}{T_0}, \quad \text{или} \quad \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_0}{T_0}, \quad (5.4.2)$$

т. е.

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_0}{T_0} = 0 \quad (5.4.3)$$

[Clausius, 1876: Рус. пер. С. 138]. Считая, далее, величину Q_1 положительной, а Q_0 — отрицательной, Клаузиус переписывает (5.4.3) в виде

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_0}{T_0} = 0. \quad (5.4.4)$$

[Там же]. Разделив цикл тепловой машины на бесконечно большое число бесконечно узких элементарных циклов и принимая во внимание, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} = \oint \frac{dQ}{T}, \quad (5.4.5)$$

Клаузиус переходит от (5.4.4) к интегральному равенству

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (5.4.6)$$

«Это уравнение, которое я впервые опубликовал в 1854 г.²⁰, дает весьма удобное выражение второго начала механической теории теплоты, поскольку оно относится к обратимым круговым процессам. Смысл его может быть выражен словесно следующим образом:

*Если в некотором обратимом круговом процессе мы разделим каждый поглощаемый изменяющимся телом (положительный или отрицательный) элемент количества теплоты на абсолютную температуру поглощения и полученное таким образом дифференциальное выражение проинтегрируем для всего кругового процесса, то значение интеграла равняется нулю.*²¹

Если интеграл $\int dQ/T$, относящийся к любым последовательным изменениям тела, становится равным нулю каждый раз, когда тело вновь возвращается в свое начальное состояние, то стоящее под

²⁰ [Clausius, 1854. S. 500].

²¹ «Рудольф Клаузиус впервые понял характер величины $\delta q/T$ и ту важную роль, какую она играет в термодинамике» [Фен, 1986. С. 246]. Отношение Q/T иногда называют *приведенной теплотой*; этот термин уже использовался нами в разд. 3.2, г. 1.

знаком интеграла выражение dQ/T должно быть полным дифференциалом некоторой величины, которая зависит только от данного состояния тела, а не от пути, которым тело в это состояние пришло²². Если мы обозначим эту величину через S , то сможем положить:

$$\frac{dQ}{T} = dS, \quad (5.4.7)$$

или

$$dQ = TdS. \quad (5.4.8)$$

Это уравнение дает еще одно выражение второго начала механической теории теплоты (выделено Р. Клаузиусом. — С. X.)» [Там же. С. 142–143]²³.

«Стоящее под знаком интеграла выражение dQ/T ... является дифференциалом некоторой величины... Мне пришлось уже в другом месте²⁴ ... предложить назвать эту величину *энтропией*, от греческого слова *τροπή* превращение (выделено Р. Клаузиусом. — С. X.)» [Там же. С. 156].

Как видим, в случае обратимого (квазиравновесного) цикла изменение энтропии за цикл по определению равно нулю. От дифференциального определения энтропии (5.4.7–8) и кругового процесса переходят к интегральному выражению для изменения энтропии тела при (квази)равновесном переходе из состояния 1 в состояние 2:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_{PABH}}{T}. \quad (5.4.9)$$

²² «...количество тепла, которое должно быть доставлено телу или отнято у него при переходе из одного состояния в другое, не определяется однозначно начальным и конечным состояниями, но существенно зависит от способа осуществления этого перехода. Иначе говоря, количество тепла Q не является функцией состояния тела, как, например, внутренняя энергия U (или свободная энергия F). Это, впрочем, следует из уравнения первого начала термодинамики

$$dQ = dU + dR, \quad (С. 5.4.1)$$

ибо работа dR , совершаемая телом (или над телом), зависит от того, каким путем она совершается, тогда как изменение внутренней энергии dU не зависит от того, каким именно образом произошло изменение состояния» [Кикоин, Кикоин, 1976. С. 271].

²³ Аналогичные формулировки второго начала термодинамики для (квази)равновесных процессов: [Путилов, 1939. С. 15; Кричневский, 1962. С. 192; Ансельм, 1973. С. 98; Базаров, 1991. С. 52, 73].

²⁴ [Clausius, 1965. S. 390].

«...уже Гельмгольц заметил, что для определения абсолютной температуры и энтропии не требуется ни рассмотрения круговых процессов, ни допущения существования идеального газа» [Планк, 1936. С. 438].

Некоторые авторы выражение (5.4.9) трактуется как еще одна формулировка второго начала термодинамики:

«Уравнение (5.4.9) есть выражение второй теоремы термостатики для всякого (и не кругового) обратного (обратимого. — С. Х.) процесса» [Окатов, 1871. С. 77].

Когда говорят об обратимом (квазиравновесном) цикле, то речь идет не только

«о возможности пройти рассматриваемый цикл преобразований в обратном направлении. Эта возможность... действительно необходима, но отнюдь не достаточна. Надо, чтобы в процессе преобразований система проходила через последовательность состояний, бесконечно близких состоянию равновесия» [Шамбадаль, 1967. С. 33].

Строго говоря, r зновесная ($S = \max$) система не обязательно является обратимой ($(dS/dt) = 0$), и наоборот. Примером равновесной необратимой системы может служить максвелловский газ (т. е. газ, распределение скоростей молекул которого имеет вид распределения Максвелла), излучающий вонне инфракрасное излучение и в результате постепенно остывающий. Газ нейтронов при комнатной температуре, напротив, может находиться в обратимом неравновесном состоянии. В самом деле, энергия возбуждения нейтронов, определяемая массой π -мезона (139,6 Мэв), настолько превосходит при этой температуре кинетическую энергию их теплового движения (десятки Кэв), что возбуждение нейтронов под действием столкновений оказывается невозможным, внутренняя энергия частиц этого газа, следовательно постоянна, а столкновения в нем упруги (обратимы). Поэтому остается постоянной и энтропия газа. Если начальное распределение скоростей нейтронов отличалось от максвелловского, то таким оно сохранится и впредь.

В разд. 5.5.6 будет говориться о некорректности квазиравновесного приближения при описании необратимых процессов.

5.5. Другие определения энтропии

5.5.1. Статистические энтропии Больцмана и Гиббса

Первым статистическое выражение для энтропии нашел Л. Больцман [Boltzmann, 1872], определивший ее для данной статистической системы как энтропию описывающего эту систему вероятностного распределения в фазовом пространстве одной молекулы (фазовом μ -пространстве):

$$S = -k \int f^1(r_1, p_1) \ln f^1(r_1, p_1) dr_1 dp_1 \quad (5.5.1)$$

($f^1(r_1, p_1)$) — одночастичная функция распределения, или функция распределения системы в пространстве координат r_1 и импульсов p_1 одной молекулы; k — постоянная Больцмана)²⁵.

Дж. В. Гиббс [Gibbs, 1902] обобщил энтропию Больцмана на фазовое пространство всех координат q и импульсов p системы (фазовое Γ -пространство):

$$S = -k \int \rho(q, p) \ln \rho(q, p) dq dp \quad (5.5.2)$$

($\rho(q, p)$) функция распределения системы в Γ -пространстве).

Квантовая фазовая энтропия (Гиббса):

$$S = -k \int \rho(x', x) \ln \rho(x, x') dx dx' = -k \int \rho(x, x') \ln(x', x) dx dx' \quad (5.5.3)$$

(здесь существенно перекрестное расположение штрихов). Это определение, по-видимому, было выписано нами впервые [Хайтун, 1996. С. 28]. Оно позволяет утвердиться в правильности идущего от Дж. фон Неймана определения квантовой энтропии матричным и операторным выражениями

$$S = -k \sum_{m, n} \rho_{mn} \ln \rho_{nm} = -k Sp \hat{\rho} \ln \hat{\rho} = -k \sum_n \rho_n \ln \rho_n \quad (5.5.4)$$

(ρ_n — диагональные элементы матрицы плотности ρ_{mn} в диагональном представлении; сумма ее диагональных элементов Sp не зависит от выбора представления, т. е. от набора собственных функций Ψ_n того или другого динамического оператора \hat{A}), которые могут быть получены подстановкой в (5.5.3) разложений

$$\rho(x', x) = \sum_{m, n} \Psi_n^*(x') \rho_{mn} \Psi_m(x), \quad \rho(x, x') = \sum_{m, n} \Psi_n^*(x) \rho_{mn} \Psi_m(x'). \quad (5.5.5)$$

Отсюда следует вывод об ошибочности определения квантовой энтропии выражением

$$S = -k \sum_n \rho_{nn} \ln \rho_{nn} \quad (5.5.6)$$

(ρ_{nn} — диагональные элементы матрицы плотности в произвольном представлении), использованного нами при рассмотрении квантового парадокса Гиббса [Хайтун, 1986. С. 115–116].

²⁵ Замечания, уточняющие некоторые историко-научные детали, см. в конце разд. 5.5.2.

В чистом состоянии, когда в диагональном представлении матрица плотности имеет только один отличный от нуля элемент, квантовая энтропия тождественно равна нулю, будучи отлична от нуля в смешанном состоянии, когда не равны нулю более одного элемента. Соответственно чистый ансамбль является квантовым аналогом классической нестатистической системы, т. е. системы, совершающей регулярное движение, а смешанный ансамбль — классической статистической системы, т. е. системы, в которой имеет место динамический хаос [Хайтун, 1996. С. 28].

5.5.2. Энтропия системы как (макро)вероятность ее состояния (принцип Больцмана)

Содержание статистической энтропии Больцман вскрыл через пять лет [Boltzmann, 1877b] после введения для нее выражения (5.5.1), отождествив энтропию с логарифмом вероятности (макро)состояния системы W . Этот тезис сегодня называют принципом Больцмана, записывая его формулой

$$S = k \ln W. \quad (5.5.7)$$

По самому ее смыслу (по определению) W растет при переходе реальных систем из одного состояния в другое в ходе их развития, а вместе с W растет и энтропия.

По определению W обладает тем свойством вероятности, что для *независимых* подсистем значения W перемножаются, $W = W_1 W_2$. Собственно, логарифм в определении (5.5.7) (а ранее в определении (5.5.1)) для того и был вставлен Больцманом, чтобы сделать энтропию аддитивной:

$$S = k \ln (W_1 W_2) = k \ln W_1 + k \ln W_2 = S_1 + S_2. \quad (5.5.8)$$

Величину W обычно отождествляют с числом микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние системы [Пригожин, 1985. С. 31; Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 176; Физика..., 1999. С. 70]²⁶. Это справедливо, однако, только при условии равновероятности всех этих микросостояний, что мы и имеем в случае равновесной замкнутой системы, или микроканонического ансамбля. Во всех других случаях разные микросостояния системы имеют разные вероятности реализации, так что их число ничего не говорит о вероятности макросостояния.

²⁶ «ВЕРЯТНОСТЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ, число способов, которыми может быть реализовано данное состояние макроскопической физической системы... Вероятность термодинамическая W равна числу микросостояний, реализующих данное макросостояние, из чего следует, что $W > 1$... Вероятность термодинамическая не является вероятностью в математическом смысле (последняя ≤ 1)» [Физика..., 1999. С. 70]. Если, однако, W разделить на число всех возможных микросостояний, то она, как и положено математической вероятности, будет иметь значения, меньшие единицы.

В общем неравновесном случае, поэтому, речь должна идти не об одном числе возможных микросостояний системы, но о наборе таких чисел для групп микросостояний, введенных так, чтобы в пределах каждой группы микросостояния могли считаться равновероятными. Задача состоит в том, чтобы образовать из этого набора групповых чисел возможных микросостояний некоторое интегральное число, которое бы характеризовало вероятность макросостояния системы в целом. Математически строго доказать, что таким числом как раз и является энтропия (5.5.1) или (5.5.2), в общем случае невозможно, сколько-нибудь корректные рассуждения такого рода удается провести только для газа *невозмущающихся* частиц, когда

$$W = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots} \quad (5.5.9)$$

$$\ln W \approx N \ln N - \sum n_i \ln n_i \quad (5.5.10)$$

(N — общее число молекул, n_i — число молекул в i -ой ячейке, т. е. число молекул, обладающих i -ми значениями координат и скоростей, факториал $m! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot m$ — число перестановок, т. е. размещений без повторений, из m элементов по m) [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 183–184]²⁷.

При переходе газа из одного состояния в другое n_i изменяются, а величина $N \ln N$ остается неизменной, так что к энтропии, которая призвана описывать *изменение* состояния, эта величина не имеет отношения. Отбрасывая $N \ln N$, получаем для энтропии известное выражение

$$S = -k \sum n_i \ln n_i, \quad (5.5.11)$$

которое и позволило Больцману связать (5.5.7) с (5.5.1). Полученное из (5.5.7) для газа *невозмущающихся* частиц выражение (5.5.11) «волшебным усилием» распространяют на системы с произвольными взаимодействиями. В статистической механике обобщение определения (5.5.11) приводит к энтропии Больцмана (5.5.1) и Гиббса (5.5.2). Поскольку в общем случае вычислять вероятность W мы всё равно не умеем, такое распространение (определение) представляется достаточно правомерным.

Несколько историко-научных замечаний. Формулу (5.5.1) Больцман выписывал в виде $H = \int f \ln f d\omega$, отождествляя с термодинамической энтропией величину H с отрицательным знаком. Формулы (5.5.7) и постоянной k Больцман в явном виде также не выписывал, это сделал за него

²⁷ Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц выводят здесь более сложные выражения для квантовых Ферми- и Бозе-газов, из которых затем путем предельного перехода получают классические выражения (5.5.9–11).

М. Планк, который первым осознал, что коэффициент пропорциональности между энтропией и логарифмом макростепенности является фундаментальной мировой константой²⁸. Название «принцип Больцмана» пошло от А. Эйнштейна.

Идея вероятностной трактовки энтропии в зародыше уже содержалась в статье самого Больцмана, опубликованной ранее в том же 1877 г. [Boltzmann, 1877a], и в книге О. Мейера [Meuser, 1877], опубликованной по временному промежутку между двумя упомянутыми статьями Больцмана 1877 г. Однако к идее о вероятностной природе энтропии в 1876 г., т. е. *раньше* Мейера и Больцмана, пришел Дж. В. Гиббс, который, в связи с формулировкой парадокса, носящего сегодня его имя и касающегося смешения газов [Хайтун, 1986], пришел к выводу, что

«невозможность некомпенсированного уменьшения энтропии сводится к невероятности» [Gibbs, 1876. P. 229; Рус пер. С. 169].

5.5.3. О смысле физической энтропии

Трактовка энтропии как (макро)вероятности данного состояния системы сыграла в свое время большую позитивную роль, сообщив энтропии статистическое наполнение, однако сегодня, когда эта трактовка энтропии всеми прочно усвоена, возникает законный вопрос: зачем вводить *две* величины — энтропию и (макро)вероятность, выполняющие одну и ту же функцию — возрастать в ходе необратимого развития реальных систем? Нельзя не признать это определение энтропии, увеличивающееся без острой в том нужды число вводимых в теорию фундаментальных сущностей, несколько тавтологичным²⁹. К тому же оно не раскрывает смысла энтропии — остается непонятным, что же, всё-таки, происходит в реальных системах с ростом энтропии?

Мы предлагаем видеть смысл энтропии в скорости ее роста:

энтропия — это величина, скорость возрастания которой является мерой скорости (интенсивности)³⁰ процессов необратимого превращения друг в друга разных форм энергии.

²⁸ «Планк... не считал k постоянной, введенной Больцманом, поскольку сам и обнаружил ее» [Лавенда, 1999. С. 23].

²⁹ Авторскую аксиоматику энтропии и закона возрастания энтропии, свободную, на наш взгляд, от этой тавтологичности, см. в разд. 7.2.3.

³⁰ Скорость и интенсивность процессов превращения энергии можно различать следующим образом. Скорость — это энергопревращение за единицу времени для всей системы, интенсивность — энергопревращение за единицу времени *на единицу массы*. Аналогичным образом, например, различают скорость и интенсивность энергообмена А. И. и А. А. Зотины применительно к потреблению кислорода живым организмом [1999. С. 9, 32].

Поскольку потребление энергии означает превращение одной ее формы в другую, постольку

скорость возрастания энтропии характеризует скорость потребления энергии.

Понимая так энтропию, мы следуем В. Томсону [Thomson, 1852b], который первым стал трактовать необратимые процессы как происходящие с превращением механической энергии в тепловую и точка зрения которого является для современной физики общепринятой. В общем случае в ходе необратимых процессов друг в друга превращаются разные формы энергии, не только механическая и тепловая. Эта трактовка необратимых процессов и вытекающая из нее трактовка энтропии были задвинуты «в угол» трактовкой энтропии реальных систем как меры беспорядка³¹. Теперь мы восстанавливаем справедливость.

Осмысливая энтропию через скорость ее роста, мы идем и за Р. Клаузиусом, который ввел тепловую энтропию через ее *изменение*, легко превращающееся в *скорость изменения* путем деления изменения энтропии на изменение времени: разделив дифференциал энтропии dS в соотношении (5.4.8) на дифференциал времени dt , получаем соотношение для скорости изменения тепловой энтропии dS/dt :

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T} \frac{dQ}{dt}. \quad (5.5.12)$$

5.5.4. Информационная энтропия

Теория информации была создана для количественного описания текстов разной природы — возникающих в результате речевой деятельности человека, генетических и т. п. С самого зарождения этой теории количественные определения информации внешне совпадали с определениями энтропии. Основатели теории информации Г. Найквист [Nyquist, 1924] и Р. В. Л. Хартли (1929) [Хартли, 1959] определили количество информации, заключенной в тексте, выражением

$$I = K \log P, \quad (5.5.13)$$

где K — константа, связанная с выбором единицы измерения, а P — «логарифм числа возможных символов» [Хартли, 1959. С. 12].

По написанию формула (5.5.13), как видим, совпадает с формулой Больцмана (5.5.7) для статистической энтропии.

К. Шеннон [Shannon, 1948] записал количество информации, приходящейся на символ сообщения, выражением

³¹ Об ошибочности этой трактовки см. разд. 7.2.1 и прил. 3.

$$I = -K \sum_i p_i \log p_i, \quad (5.5.14)$$

где p_i — вероятность появления в данном тексте i -го символа. Это выражение совпадает по написанию с формулами Больцмана (5.5.1) и Гиббса (5.5.2) в интегральной записи и с формулой (5.5.11) в дискретной записи. Переход от (5.5.13) к (5.5.14) может быть осуществлен тем же способом, каким в физике переходят от (5.5.7) к (5.5.11) (см. текст между соотношениями (5.5.8) и (5.5.11)).

Л. Больцман, впервые давший статистическую трактовку энтропии, фактически указал и путь выхода понятия энтропии за пределы физики, назвав интеграл вида (5.5.1) «мерой распределения», подразумевая, что энтропия характеризует «беспорядочность» отдельно взятого распределения, так что более сложному распределению отвечает меньшая его энтропия (см. разд. П. 3.2.5).

Если речь идет о распределении состояний физической (точнее, механической — см. разд. 5.5.6) системы в фазовом пространстве всех ее координат и импульсов (Γ -пространстве), то меру этого распределения $-\int f(q, p) \ln f(q, p) dq dp$ оказывается возможным трактовать как меру вероятности макросостояния данной системы. Если же речь идет о распределении вероятностей разных исходов опыта, то мера этого распределения $-\int f(x) \ln f(x) dx$ может интерпретироваться как характеристика неопределенности этого опыта, или как информация, которую мы получим, поставив опыт.

Таким образом, аналогия между формулами для информации и энтропии превращается в тождество, когда возможные исходы, фигурирующие при определении информации,

«могут быть представлены как возможные микросостояния физической системы» [Бриллюэн, 1960. С. 200].

Тогда величина P равна числу возможностей, соответствующих данному макроскопическому состоянию, т. е. вероятности макросостояния, фигурирующей в формуле Больцмана (5.5.7).

Для обозначения стороны понятия информации, обращенной к понятию энтропии, используют термин «информационная энтропия». Понятия информационной энтропии и энтропии (или, иначе, понятия информации и энтропии) пересекаются, получаемое при этом понятие Л. Бриллюэн называет *связанной информацией*.

Понятия энтропии и информации, «незаметно» перетекающие одно в другое, являются, таким образом, родственными и тесно связанными. Одним из общепринятых выражений связи, существующей между ними, яв-

ляется негэнтропийный принцип информации: *информация есть негэнтропия*, т. е. отрицательная энтропия.

На мой взгляд, однако, можно говорить и об энтропийном принципе информации: *информация есть энтропия*. С энтропийным принципом информации мы имеем дело или с негэнтропийным, зависит от того, как при определении информации подключается наблюдатель (субъект измерения).

Если речь идет об информации, которая содержится в опыте и которую наблюдатель получит в результате его постановки, то справедлив энтропийный принцип информации, формулы для энтропии и информации совпадают.

На таком языке говорят специалисты по теории связи, начиная с Хартли и Шеннона, поскольку они имеют дело с передачей информации, а передавать, разумеется, имеет смысл то новое, что содержится для корреспондента (наблюдателя) в тексте, а не то, что ему уже известно.

Если же мы говорим об информации, которой наблюдатель уже располагает о возможных исходах опыта (о тексте), то справедлив негэнтропийный принцип информации, формулы для энтропии и информации следует писать с разными знаками.

Именно на таком языке говорит Бриллюэн:

«Мы рассматриваем задачу с некоторым числом возможных ответов, если мы не имеем специальной информации о действительном положении. Если окажется, что мы располагаем некоторой информацией о задаче, то число возможных ответов уменьшится, а полная информация может даже оставить нам лишь единственный возможный ответ» [Там же. С. 15].

И в самом деле, информация, которой мы располагаем на некоторый момент времени о реальных системах, в ходе их естественной эволюции уменьшается, в противоположность энтропии, которая всегда растет. Соответственно эта информация имеет другой знак, чем энтропия. Так определенную информацию будем называть *бриллюэновской*:

$$I_B = K \int f(x) \ln f(x) dx. \quad (5.5.15)$$

Вводя произвольную аддитивную постоянную, информацию Бриллюэна можно определить также выражением

$$I_B = I_0 + K \int f(x) \ln f(x) dx, \quad (5.5.16)$$

что ничего не меняет по существу.

Информация же о реальных системах, которую мы можем получить, всё о них узнав, в ходе их эволюции растет, как и энтропия. Соответственно эта информация совпадет по знаку с энтропией. Так определенную информацию будем называть *шенноновской*:

$$I_{Ш} = -K \int f(x) \ln f(x) dx . \quad (5.5.17)$$

С учетом аддитивной постоянной она имеет вид

$$I_{Ш} = I_0 - K \int f(x) \ln f(x) dx . \quad (5.5.18)$$

Не обратив внимания на способ подключения наблюдателя, Бриллюэн, представляется, всё запутал: привнес его негэнтропийный принцип информации, тогда как формулы для информации пишут, следом за Найквистом, Хартли и Шенноном, тождественными формулам для энтропии.

На мой взгляд, попытки применения аппарата теории информации для описания физических систем [Поплавский, 1981; Зарипов, 1999] не очень продуктивны. Во-первых, в физике уже используется понятие энтропии, дублирование которого понятием информации не даст ничего нового. Во-вторых, применение в физике понятия информации может только внести путаницу из-за обсуждавшейся путаницы с информацией, вызванной неспроговариваемостью способа подключения субъекта измерения.

Собственно, этой путаницей и объясняются, мне кажется, попытки введения понятия информации в физику — идущая от Бриллюэна трактовка информации как отрицательной энтропии сует иллюзию возможности преодоления с помощью так понимаемой информации трудностей в физике, возникающих из-за трактовки энтропии реальных систем как меры беспорядка (см. в разд. П. 3.1.8 о работах Д. С. Чернавского и Н. Н. Заличева). Если вводить наблюдателя в информационную теорию корректно, то у информации не оказывается в этом плане преимуществ по сравнению с энтропией. Эти трудности, как показывается в разд. 7.2.1 и П. 3.2, преодолеваются совсем иначе — на пути признания ошибочности для реальных систем самой этой трактовки энтропии.

5.5.5. Структурная энтропия

Некоторые авторы³² говорят о *структурной энтропии* S_X , которая для распределения значений структурной переменной X вводится выражением

$$S_X = -K \int f(X) \ln f(X) dX , \quad (5.5.19)$$

³² [Бауэр, 1935; Лазарев, 1945; Elsasscr, 1958; Büchel, 1967; Аршавский, 1982].

где K — коэффициент, связанный с выбором единиц измерения.

По идее, структурной энтропией может быть охарактеризована любая материальная структура. Однако реально ее можно рассчитать лишь для одной структурной переменной X , тогда как для практически любой реальной системы пришлось бы вводить очень большое число таких переменных, к тому же, из-за феномена фрактальности наблюдаемого мира, иерархически организованных [Хайтун, 2005а. Разд. 4.5.2–3; 2007а. Разд. 6.1, 6.1.3], что делает вычисление полной структурной энтропии невозможным.

Заметим, что полная энтропия материальной системы, которая вводится в разд. 6.5 как энтропия распределения плотности потока полной энергии, представляет собой физическую редакцию чересчур формальной, на мой взгляд, структурной энтропии.

Заметим также, что структурная энтропия родственна информационной. Выражение (5.5.19) определяет информацию Шеннона (5.5.17), когда $f(X)$ имеет смысл вероятности появления в тексте (который также представляет собой определенную структуру) данного символа.

5.5.6. Соотношение разных определений физической энтропии

Энтропия Клаузиуса (5.4.7–8) — существенно тепловая величина, что ограничивает границы ее применимости рамками чисто тепловых (собственно *термодинамических*) явлений:

«Из соотношения (5.4.7) $dS = dQ/T$ следует, что энтропию S системы можно определить с помощью измерений тепла и термодинамической температуры» [Рейф, 1986. С. 199].

Очевидно, что «измерения тепла и термодинамической температуры»

в случае протекания в системе нетепловых процессов полную энтропию системы не определяют, а бесконечно малое приращение энтропии Клаузиуса, т. е. тепловой энтропии, не является полным дифференциалом, будучи таковым лишь в случае чисто тепловых процессов.

Поскольку же классическая

«термодинамика, изучающая равновесные (обратимые) процессы, для необратимых процессов устанавливает лишь неравенства, которые указывают возможное направление необратимых процессов» [Физика..., 1999. С. 465]³³,

³³ О термодинамических неравенствах см. разд. П. 2.1.

постольку в определениях (5.4.7–8) парадоксальным образом не задействовано главное свойство энтропии, из-за которого, собственно, это понятие и было введено, — изменяться в одну сторону в ходе *необратимых* процессов. Так как и обратимые, и (квази)равновесные процессы логически строго определяются только с помощью самой энтропии (обратимые — как процессы, идущие при постоянной энтропии, равновесные — как отвечающие максимальной энтропии)³⁴, то мы оказываемся в замкнутом круге.

Надо сказать, классики термодинамики вообще были склонны преувеличивать роль равновесных (квазиравновесных, квазистатических, обратимых) процессов, для которых они только и умели вычислять изменение энтропии Клаузиуса. Эта ситуация сохраняется по сей день:

«Методами термодинамики можно вычислять только приращение [тепловой] энтропии и только на *квазистатических* путях. На нестатических путях вычисление приращения энтропии исключено (выделено И. Р. Кричевским) [Кричевский, 1962. С. 246].

Чтобы оправдать применение равновесной термодинамики, включая определения энтропии Клаузиуса (5.4.7–8), в области необратимых процессов, заведомо здесь неприменимой, иногда говорят, что используется квазистатическое приближение, в котором процессы протекают бесконечно медленно. *Медленность процессов отождествляется с их квазиравновесностью (квазистатичностью)*:

«КВАЗИСТАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС (равновесный процесс), в термодинамике бесконечно медленный переход термодинамической системы из одного равновесного состояния в другое, при котором в любой момент времени физическое состояние системы бесконечно мало отличается от равновесного» [Физика..., 1999. С. 249].

На мой взгляд, такая логика может убедить кого-то только из-за отсутствия у термодинамики средств количественного анализа необратимых процессов. Что означает, к примеру, что тепловая машина работает так медленно, что ее функционирование квазиравновесно? Если такая машина, работая бесконечно медленно, произвела *пренебрежимо малое* количество работы, то тогда и говорить не о чем, это всё равно, как если бы она вообще не работала. Если же, действуя очень медленно, она произвела за некоторое время *конеч-*

³⁴ Использование роста энтропии как критерия необратимости процессов идет от М. Планка: «Значение второго начала состоит в том, что оно дает необходимый и достаточный критерий для определения обратимости или необратимости каждого происходящего в природе процесса» [Планк, 1925а. С. 95]. «...второе начало термодинамики говорит, что в природе для каждой системы тел существует величина, обладающая следующим свойством: при всех изменениях, которые затрагивают только эту систему, она или остается постоянной (обратимые процессы), или увеличивается (необратимые процессы). Величина эта... называется энтропией системы» [Там же. С. 96].

ное количество работы, увеличив энтропию системы на *конечную* величину, то ее функционирование уже нельзя считать квазиравновесным (обратимым).

Еще раз.

Важно не то, с какой скоростью действует тепловая машина, а то, какое количество работы и энтропии она при этом производит.

Если пренебрежимо малос, то ее функционирование и на самом деле может считаться квазиравновесным, будучи при этом эфемерным: это всё равно, как если бы она ничего не делала. Если же машина производит конечное количество работы и энтропии, то ее функционирование нельзя считать квазиравновесным.

В статистической физике ситуация принципиально иная, нежели в термодинамике, энтропия определяется здесь одними и теми же выражениями (5.5.1–2) и (5.5.7) и для обратимых, и для необратимых процессов. Однако, у статистической энтропии имеются свои ограничения.

Если энтропия Клаузиуса — *тепловая* величина, то энтропии Больцмана (5.5.1) и Гиббса (5.5.2) — *механические*. В самом деле, их определение на распределениях значений координат и импульсов системы характерно для *механики*, по определению описывающей лишь те процессы в системе, которые связаны с *движением* составляющих ее частей и которые соответственно характеризуются изменением значений координат $q_i(t)$ и импульсов $p_i(t)$.

Если процессы *не* сводятся к движению и *не* характеризуются изменением координат и импульсов, то они имеют немеханическую природу³⁵. Так что энтропии Больцмана и Гиббса неприменимы к немеханическим процессам и системам [Хайтун, 1996, С. 22], т. е. к большинству физических систем.

Принцип Больцмана (5.5.7) выводит понятие статистической энтропии за пределы механического описания. В

«классической интерпретации формула Больцмана трактуется как установленное (доказанное) соотношение между термодинамической энтропией S и вероятностной характеристикой состояния этой же системы W ... Эта весьма распространенная и восходящая к самому Больцману трактовка (5.5.7), как уже довольно давно стало ясно, ошибочна» [Цицин, 1969, С. 13].

Фактически же принципом Больцмана дается самое общее из существующих определение энтропии, фактически охватывающее и тепловую энтропию Клаузиуса (5.4.7–8). Поскольку последняя определена для равновесного случая и не определена — для неравновесного, постольку сравнивать ее со статистической энтропией Больцмана (5.5.7) также имеет смысл только для равновесного случая.

³⁵ См. в разд. 2.4.2.2, т. 1 о современных механистических представлениях.

Это делает, например, Ф. Рейф, доказывающий, что приращение энтропии $S = k \ln W$ (Рейф записывает эту формулу как $S = k \ln \Omega$) равновесной статистической системы произвольной природы, которое возникает в результате поглощения этой системой малого количества тепла, равно приращению тепловой энтропии Клаузиуса:

«Предположим, что система A поглощает малое количество теплоты. Тогда с подавляющей вероятностью начальные и конечные энергии системы равны соответственно средним значениям, \bar{E} и $\bar{E} + Q$. При поглощении этого тепла изменится также число доступных состояний $\Omega(E)$ системы A . С помощью разложения в ряд Тейлора мы находим

$$\begin{aligned} \ln \Omega(\bar{E} + Q) - \ln \Omega(\bar{E}) &= \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial E} \right) Q + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \ln \Omega}{\partial E^2} \right) Q^2 + \dots = \\ &= \beta Q + \frac{1}{2} \frac{\partial \beta}{\partial E} Q^2 + \dots \end{aligned} \quad (5.5.20)$$

Мы предполагаем, что количество поглощенной теплоты Q мало. Поэтому термодинамическая температура системы A остается почти неизменной, и... можно пренебречь членом, содержащим $\partial \beta / \partial E$. Таким образом, изменение величины $\ln \Omega(E)$ будет равно

$$\Delta(\ln \Omega) = \frac{\partial(\ln \Omega)}{\partial E} Q = \beta Q, \quad (5.5.21)$$

и мы приходим к следующему выводу: если система, находящаяся при термодинамической температуре $T = (k\beta)^{-1}$, поглощает количество теплоты Q , ее энтропия $S = k \ln \Omega$ меняется на малую величину ΔS , равную, если Q мало, $\Delta S = Q/T$ » [Рейф, 1986. С. 153].

Понятно, что нетепловые процессы при этом в системе предполагаются отсутствующими. Этот результат согласуется с приведенным в литературе доказательством равенства статистической и тепловой энтропии в случае равновесного идеального газа [Jauho, 1954a, b].

К сожалению, определение энтропии (5.5.7) вероятностью макросостояния системы из-за его чрезмерной общности носит слишком абстрактный характер, не предоставляя рецептов вычисления этой вероятности. Такие рецепты известны только для самых элементарных систем вроде идеального газа и не существуют для реальных физических систем. Этот изъян определения (5.5.7), на мой взгляд, объясняется тем, что в нем не представлена связь энтропии с процессами превращения разных форм энергии друг

в друга, составляющими сердцевину необратимых процессов, для описания которых понятие энтропии, казалось бы, и предназначено. В разд. 6.5 предлагается определение энтропии как энтропии распределения плотности потока полной энергии системы, свободное, на мой взгляд, от этого изъяна и в принципе пригодное для описания физических систем любой природы.

5.6. Четвертая компонента второго начала: закон возрастания энтропии

Впервые закон возрастания энтропии был сформулирован Р. Клаузиусом в той же работе [Clausius, 1865], в которой им было введено понятие энтропии (см. разд. 5.4). Для необратимого случая Клаузиус переписывает равенства (5.4.8) и (5.4.6) в виде неравенств

$$dQ \leq TdS, \quad (5.6.1)$$

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0. \quad (5.6.2)$$

«Некомпенсированные превращения могут быть только положительными» [Clausius, 1876. S. 224]³⁶.

Для изолированной системы (5.6.1) даст

$$dS \geq 0. \quad (5.6.3)$$

Необратимые процессы, утверждает Клаузиус, связаны с возрастанием энтропии во Вселенной,

«энтропия мира стремится к максимуму» [Clausius, 1865; Цит. по: Clausius, 1867. S. 44].

Это и есть первая формулировка закона возрастания энтропии.

Заметим уже здесь, что приписывание миру (Вселенной) в будущем некоего равновесного состояния с максимальным значением энтропии, аналогичного хорошо знакомому физикам второй половины XIX в. равновесному состоянию газа, — это утверждение, которое не вытекает из закона возрастания энтропии и которое, как к тому склоняется всё большее число ученых, чрезмерно упрощает действительное положение вещей, поскольку энтропия Вселенной может возрастать и бесконечно (см. разд. 7.5.2.2 и П. 3.2.5).

Заметим также (это будет важно для излагаемого в разд. 8.2), что интеграл в (5.6.2)

³⁶ Уточним, что неравенство (5.6.2) впервые появилось у Клаузиуса [Clausius, 1862] до введения им понятия энтропии.

«относится ко всей совершающей работу системе (горячий источник — рабочее тело — холодный источник) в целом, но никак не к рабочему телу. Что же касается рабочего тела, то..., поскольку в результате осуществления цикла рабочее тело возвращается в исходное состояние, энтропия рабочего тела не изменяется; иными словами, для рабочего тела всегда выполняется равенство

$$\oint dS = 0, \quad (5.6.4)$$

или, что то же самое, равенство (5.4.6)

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0.$$

...Интеграл в (5.4.6) относится к рабочему телу, и величина T , фигурирующая в этом уравнении, — это температура рабочего тела. Что же касается интеграла Клаузиуса в (5.6.2), то... этот интеграл относится ко всей системе в целом и... температура, фигурирующая в этом уравнении, — это температура источника тепла (которая в случае необратимого процесса передачи тепла не равна температуре рабочего тела)» [Кириллин и др., 1979. С. 87–88].

Закон возрастания энтропии появился как реакция физиков на бурно развивавшиеся в середине XIX в. эволюционные представления. Реакция, однако, оказалась не совсем неадекватной, что явственно и показывает формулировка Клаузиуса, согласно которой мир стремится к некоему конечному (равновесному) состоянию, по достижении которого развитие прекратится, а до того, стало быть, эволюция происходит с *замедлением*. Такое более чем странное понимание эволюции противоречит всей массе эволюционных фактов, что было ясно уже в XIX в. и тем более очевидно сегодня [Хайтун, 2005а].

Правильнее было бы ограничиться утверждением, что энтропия мира *возрастает*, поскольку у энтропии Вселенной нет максимума, а у Вселенной — равновесного состояния.

Впрочем, Клаузиус только солидаризовался со своими коллегами, которые, формулируя второе начало термодинамики до введения понятия энтропии, также говорили о непрерывном уменьшении в мире общего количества годной к употреблению свободной энергии и состоянии «вечного покоя», в котором рано или поздно окажется Вселенная (см. формулировки второго начала 3.1–5 в разд. 5.3.1).

Клаузиус сформулировал закон возрастания энтропии, используя свое определение *тепловой* энтропии. Другими словами, его закон требует повсеместного возрастания *тепловой* энтропии, что, как будет показано в

гл. 6–7, некорректно. Именно такое (тепловое) понимание энтропии, на мой взгляд, и приводит к выводу о неизбежности «тепловой смерти» Вселенной. Поскольку же «на самом деле» растет не тепловая, а полная энтропия Вселенной (см. разд. 7.1), постольку из закона возрастания энтропии ее (Вселенной) «тепловая смерть» не следует (см. разд. 7.5.2.2).

Введенная Л. Больцманом трактовка энтропии как (макро)вероятности состояния системы привела к соответствующему переосмыслению и закона возрастания энтропии:

«...Больцман указывает, что все положительные превращения представляют переходы от менее вероятного к более вероятному состоянию, и что, поэтому *второе начало должно быть понимаемо, как стремление переходить от менее вероятного к более вероятному состояниям* (выделено О. Д. Хвольсоном) [Хвольсон, 1923. С. 417].

В науке предрассудки держатся не менее стойко, чем в других областях человеческой деятельности. Так, многие авторы до сих пор полагают, что закон возрастания энтропии распространяется исключительно на изолированные системы. Брюссельской школе термодинамики, во многом — лично И. Пригожину [1960], мы обязаны распространением этого закона на неизолированные системы.

Систему, обменивающуюся со средой энергией и веществом, называют *открытой*, только энергией — *замкнутой*, не обменивающуюся ни энергией, ни веществом — *закрытой*, или *изолированной*. В случае неизолированной, т. е. открытой или замкнутой, системы изменение ее энтропии состоит из двух слагаемых:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}. \quad (5.6.5)$$

Величина $d_i S/dt$, обеспечиваемая внутренними процессами, называется *производством энтропии*, она же, отнесенная к единице объема V , — *локальным производством энтропии* σ :

$$\frac{d_i S}{dt} = \int \sigma dV. \quad (5.6.6)$$

Слагаемое $d_e S/dt$, представляющее собой скорость изменения энтропии за счет взаимодействия со средой, называется *поток энтропии*.

Закон возрастания энтропии в *глобальной* формулировке:

$$\frac{d_i S}{dt} \geq 0, \quad (5.6.7)$$

в локальной —

$$\sigma \geq 0. \quad (5.6.8)$$

Согласно глобальной формулировке закона возрастания энтропии, в случае неизолированной системы неотрицательно производство энтропии, согласно локальной, — неотрицательно локальное производство энтропии. (Положительное) производство энтропии за счет внутренних процессов, говорит локальная формулировка, происходит в каждом макроскопическом фрагменте наблюдаемого мира:

«...уменьшение энтропии в отдельной части системы, компенсируемое достаточным возрастанием энтропии в другой части системы, является запрещенным процессом... в любом макроскопическом участке системы приращение энтропии, обусловленное течением необратимых процессов, является положительным. Под понятием „макроскопический участок“ системы подразумевается любой участок, в котором содержится достаточно большое число молекул, чтобы можно было пренебречь микроскопическими флуктуациями... Такую формулировку второго закона можно было бы назвать „локальной“ формулировкой в противоположность „глобальной“ формулировке классической термодинамики» [Пригожин, 1960. С. 33].

В частном случае изолированной системы

$$\frac{d_e S}{dt} = 0, \quad (5.6.9)$$

так что получаем

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} \geq 0. \quad (5.6.10)$$

Перепишем только что приведенные выражения для закона возрастания энтропии с учетом того тривиального обстоятельства, что в них участвуют функции времени:

$$\frac{dS(t)}{dt} \geq 0. \quad (5.6.11)$$

$$\frac{d_i S(t)}{dt} \geq 0, \quad (5.6.12)$$

$$\sigma(t) \geq 0, \quad (5.6.13)$$

Фактически речь идет о том, что закон возрастания энтропии, подобно другим законам физики, действует *в каждый текущий момент времени*. Приведем скорректированную с учетом этого обстоятельства локальную формулировку этого закона:

скорость возникновения (производство) энтропии положительна или равна нулю (положительно или равно нулю) в каждый теку-

ший момент времени в каждом макроскопическом фрагменте наблюдаемого мира.

Как ни странно, то очевидное обстоятельство, что, согласно закону возрастания энтропии, энтропия растет *в каждый текущий момент времени*, ускользает от внимания исследователей, обсуждающих работу циклической тепловой машины (см. разд. 8.3), что оказывается роковым при обсуждении ими вопроса об обязательности для такой машины холодильника.

5.7. Запрет на превращение тепла в другие формы энергии без тепловой компенсации неявно опирается на «закон» возрастания тепловой энтропии: предварительные соображения

Как говорилось в разд. 5.3.2, процессы превращения тепла в другие формы энергии, в отличие от обратных им процессов превращения нетепловых форм энергии в тепло, нуждаются в компенсации, о чем и говорят приведенные в разд. 5.3.1 формулировки второго начала 1.2–3 и 1.5–6.

Сам факт необходимости такой компенсации бесспорен. Разногласия начинаются, когда обсуждается, о какого рода компенсациях идет речь. В формулировках 1.2–3 утверждается, что она обязана быть *тепловой*, тогда как в формулировках 1.5–6 природа компенсации не регламентируется, так что неявно допускается и *нетепловая* компенсация.

Компенсация превращения тепла в работу (в другие формы энергии) и на самом деле может быть нетепловой. Примеры нетепловой компенсации разбираются в разд. 7.5.3, а здесь для заправки приведем высказывания М. Планка и Э. Ферми, обсуждающих полное (без тепловой компенсации) превращение тепла в работу при изотермическом расширении идеального газа:

«...второе начало и в наше время часто формулируется следующим образом: превращение работы в тепло совершается полностью, превращение же тепла в работу — только частично, а именно: каждый раз, когда некоторое количество тепла превращается в работу, необходимо, чтобы в то же время другое количество тепла проделало соответственно превращение, служащее компенсацией, переходя, например, с более высокой температуры на более низкую. Такое утверждение в некоторых совершенно определенных случаях правильно; вообще говоря, оно не передает, однако, сущности дела, как мы, ясности ради, покажем на простом примере... Полная внутренняя энер-

гия³⁷ идеального газа зависит только от его температуры, не от объема. Если дать теперь идеальному газу расширяться, производя работу, и в то же время поддерживать его температуру постоянной, заимствуя тепло из резервуара тепла, находящегося при более высокой температуре, то энергия газа будет оставаться неизменной так же, как и его температура.

В этом случае можно сказать, что тепло, отданное резервуаром, полностью превращается в работу, без того, чтобы где бы то ни было произошло еще какое-либо превращение энергии» [Планк, 1925а. С. 89–90]³⁸.

«Существенной частью постулата Кельвина является то, что превращение теплоты в работу есть единственный конечный результат процесса³⁹... Рассмотрим... изотермическое расширение идеального газа, который находится в тепловом контакте с источником теплоты при температуре T . Так как энергия газа зависит только от температуры, а температура не изменяется во время процесса, то мы должны иметь $\Delta U = 0$. Из первого закона... получаем затем, что $L = Q$, т. е. работа L , совершенная при расширении газа, равна теплоте Q , которую он поглощает из источника. Имеется, таким образом, полное превращение теплоты Q в работу L . Но это не противоречит посту-

³⁷ «ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ, энергия физической системы, зависящая от ее внутреннего состояния. Внутренняя энергия включает в себя энергию хаотического (теплого) движения всех микрочастиц системы (молекул, атомов, ионов и т. д.) и энергию взаимодействия этих частиц. Кинетическая энергия движения системы как целого и ее потенциальная энергия во внешних силовых полях во внутреннюю энергию не входят. В термодинамике и ее приложениях представляет интерес не само значение внутренней энергии системы, а ее изменение при изменении состояния системы. Поэтому обычно принимают во внимание только те составляющие внутренней энергии, которые изменяются в рассматриваемых процессах изменения состояния вещества.

Понятие „внутренняя энергия“ ввел в 1851 г. английский ученый В. Томсон (лорд Кельвин), определив изменение внутренней энергии (ΔU) физической системы в каком-нибудь процессе как алгебраическую сумму количеств теплоты Q , которыми система обменивается в ходе процесса с окружающей средой, и работы R , совершенной системой или произведенной над ней:

$$\Delta U = Q + R . \quad (\text{С. 5.7.1})$$

Принято считать работу положительной, если она производится системой над внешними телами, а количество теплоты положительным, если оно передается системе» [Физика..., 1999. С. 80]. Внутренняя энергия идеального газа, в котором взаимодействие между отсутствует, является функцией только температуры газа [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 148]. Изменяться температура такого газа может как в результате обмена теплом со средой, так и в результате совершения работы им или над ним.

³⁸ Аналогичное рассмотрение изотермического расширения газа: [Путилов, 1939. С. 4; Радущкевич, 1971. С. 96; Савельев, 1986. С. 344].

³⁹ См. в разд. 5.3.1 формулировку 1.5 и сноску к ней.

лату Кельвина, так как превращение Q в L не является единственным конечным результатом процесса. В конце процесса газ занимает объем больший, чем занимал его вначале» [Ферми, 1973. С. 32].

Заметим, что «правильная» формулировка второго начала, по Планку, — это формулировка 1.4 в разд. 5.2, но только она, будучи и на самом деле верной, относится совсем к другому случаю. А именно, к случаю, когда тепло переходит от холодного тела к горячему (здесь также нужна компенсация, которая и в этом случае может быть нетепловой).

Тот факт, что компенсация превращения тепла в работу (в нетепловые формы энергии) может быть как тепловой, так и нетепловой, сегодня известен достаточно широко. К. А. Путилов, к примеру, называет нетепловую компенсацию *компенсацией первого рода*, а тепловую — *компенсацией второго рода*:

«Мы вправе... различать компенсацию двух родов. Будем говорить, что имеет место *компенсация первого рода*, если в итоге процесса, когда теплота Q превращается в работу A , имеет место изменение термодинамического состояния рабочего тела. Пример — изотермическое расширение газа... при изотермическом расширении... вся сообщаемая газу теплота при расширении нацело превращается в работу. Компенсацией этого превращения тепла в работу здесь является увеличение объема газа... Для анализа деятельности тепловых машин... является более важной *компенсация второго рода*... в случае компенсации второго рода только часть заимствованной у теплоисточника теплоты... превращается в работу... Другая часть... отходит к холодильнику (выделено К. А. Путиловым)» [Путилов, 1939. С. 4 5].

Тем не менее — и это воистину удивительно, свидетельствуя о крайней расщепленности (шизофреничности) коллективного сознания научного сообщества, — в литературе до сих пор стойко держатся и формулировки второго начала, настаивающие на непременно *тепловой* компенсации процессов превращения тепла в работу (в другие формы энергии). Именно на таких — противоречащих известным научному сообществу фактам — формулировках, утверждающих, что компенсация процесса превращения тепла в работу может быть только тепловой, и базируется запрет на вечные двигатели 2-го рода (см. разд. 9.2).

Нетрудно видеть (см. разд. 7.4.2), что

тезис о невозможности нетепловой компенсации превращения тепла в работу (в другие формы энергии) неявно опирается на «закон» возрастания тепловой энтропии.

Поскольку «закон» возрастания тепловой энтропии играет столь роковую роль в судьбе более всего интересующих нас в настоящем исследовании вечных двигателей 2-го рода, то этому «закону» в его сопоставлении с законом возрастания полной энтропии посвящены следующие две главы.

ГЛАВА 6

Полная энтропия vs. тепловая энтропия

6.1. Полная и тепловая энтропии в литературе не различаются

История закона возрастания энтропии имеет свой вектор. Сначала была обнаружена действующая на Земле *тенденция* к рассеянию разных форм энергии в виде тепла (формулировка 3.1 в разд. 5.3.1). Ее связали со специально для того введенным в оборот понятием энтропии, которому сообщили исключительно тепловое содержание, т. е. поначалу ввели энтропию как чисто *тепловую* величину (см. разд. 5.4). Неправоммерно *трансформировав тенденцию в закон* (формулировки 3.2–5 в разд. 5.3.1), стали говорить о законе возрастания энтропии, имея при этом в виду закон возрастания *тепловой* энтропии (разд. 5.6). Затем понятие энтропии стали обобщать — в статистическую энтропию Больцмана и Гиббса (разд. 5.5.1) и статистическую энтропию как (макро)вероятность состояния (разд. 5.5.2), далее — в информационную (разд. 5.5.4) и структурную (разд. 5.5.5) энтропию. Применительно к расширенному таким образом понятию энтропии закон возрастания энтропии постепенно стал приобретать форму закона возрастания *полной* энтропии, охватывающего всю Вселенную и явления любой природы:

«...второе начало термодинамики говорит, что в природе для каждой системы тел существует величина, обладающая следующим свойством: *при всех изменениях, которые затрагивают только эту систему, она или остается постоянной (обратимые процессы), или увеличивается (необратимые процессы)*. Величина эта... называется энтропией системы (выделено мной. — С. Х.)» [Планк, 1925а. С. 96].

«Применение второго основного закона механической теории теплоты, или Принципа Карно—Клаузиуса, как известно, ограничено не только тепловыми процессами; этот закон даст возможность (аналогично первому основному закону) проведения широчайших обобщений, распространяющихся *на все известные нам физические и химические явления* (выделено мной. — С. Х.)» [Планк, 1975. С. 9].

«Резюмируя, еще раз повторим общую формулировку закона возрастания энтропии: во всех осуществляющихся в природе замкнутых системах энтропия никогда не убывает — она увеличивается или, в предельном случае, остается постоянной. Соответственно этим двум возможностям *все происходящие с макроскопическими телами процессы* принято делить на необратимые и обратимые. Под первыми подразумеваются процессы, сопровождающиеся возрастанием энтропии всей замкнутой системы; процессы, которые бы являлись их повторениями в обратном порядке, не могут происходить, так как при этом энтропия должна была бы уменьшиться. Обратимыми же называются процессы, при которых энтропия замкнутой системы остается постоянной и которые, следовательно, могут происходить и в обратном направлении (выделено мной. — С. Х.)» [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 49].

Казалось бы, тот факт, что понятие энтропии и закон возрастания энтропии применимы не только к тепловым явлениям, но и к физическим явлениям любой природы, сегодня достаточно очевиден.

Поскольку мы различаем тепловую и полную энергии, постольку следует различать и тепловую и полную энтропии.

Как ни странно, такого разведения понятий тепловой и полной энтропии в физической литературе не наблюдается, понятие энтропии остается размытым.

Нерасщепленность понятий тепловой и полной энтропии проявляется в физической литературе по-разному. Скажем, вероятность W в принципе Больцмана $S = k \ln W$ до сих пор называют *термодинамической* (разд. 5.5.2), хотя понятно, что стоящая за этим названием вероятность состояния макроскопической физической системы (число микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние системы) в общем случае выходит за пределы тепловых явлений, а физическая система, вероятность состояния которой характеризуют вероятностью W , в общем случае термодинамической не является.

Можно было бы сказать, что название «термодинамическая вероятность» сохраняется в литературе по историческим причинам, однако, хотим мы того или нет, за термином «термодинамический» тянется тепловой шлейф, способствующий тому, что хотя энтропия $S = k \ln W$ вводится для

физических систем любой природы, ее (энтропию) часто некорректно отождествляют с тепловой энтропией Клаузиуса.

Примером может служить известный курс статистической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица [1964], которые, распространяя, как мы только что видели, закон возрастания энтропии на «все происходящие с макроскопическими телами процессы», постоянно сбиваются, не оговаривая того, на обсуждение *тепловых* процессов и *тепловой* энтропии.

Определив энтропию статистической системы в духе статистической энтропии $S = k \ln W$ как логарифм статистического веса макроскопического состояния $S = \ln \Delta\Gamma$, т. е. как логарифм числа микросостояний [Там же. С. 38–40], Ландау и Лифшиц отождествляют состояние, отвечающее максимальному значению энтропии, со состоянием статистического равновесия [Там же. С. 44]. Однако далее у них макроскопические состояния незаметно оборачиваются *термодинамическими*, статистическое равновесие — *тепловым*, или *термодинамическим*, величина, обратная производной энтропии $S = \ln \Delta\Gamma$ по энергии E , — *температурой*, т. е. чисто *тепловой* величиной, а необходимым условием неизменности той же энтропии $S = \ln \Delta\Gamma$ и обратимости процессов оказывается *теплоизолированность* системы:

«Физические величины, характеризующие *макроскопические* состояния тел, называют *термодинамическими* (выделено авторами. — С. X)... Рассмотрим два тела, находящиеся в *тепловом* (выделено мной. — С. X) равновесии друг с другом, причем тела вместе составляют замкнутую систему. Тогда энтропия S этой системы имеет наибольшее возможное (при данной энергии E системы) значение» [Там же. С. 50].

«...если система находится в состоянии *термодинамического* (выделено мной. — С. X) равновесия, то производная энтропии по энергии для всех ее частей одинакова, т. е. постоянна вдоль всей системы. Величину, обратную производной энтропии тела S по его энергии E , называют его абсолютной температурой, или просто температурой T :

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{T} \gg \quad (6.1.1)$$

[Там же. С. 51].

«Если тело не подвергается никаким другим воздействиям, кроме *изменения внешних условий*, то говорят, что тело *теплоизолировано*... Предположим, что тело *теплоизолировано* и что внешние условия, в которых находится тело, меняется достаточно медленно¹. Такой

¹ О некорректности трактовки медленности процессов как условия их квазиравновесности (обратимости) говорилось в разд. 5.5.6.

процессе носит название адиабатического. Покажем, что при адиабатическом процессе энтропия тела остается неизменной, т. е. он является обратимым (выделено мной.— С. X.)» [Там же. С. 55].

«Если тело находится в *тепловом* равновесии, то можно утверждать, что его энтропия при заданном значении энергии (или энергия при заданной энтропии) зависит только от объема тела, но не от его формы (выделено мной.— С. X.)» [Там же. С. 58–59].

И т. д. и т. п. Строя теорию тепловых явлений, Ландау и Лифшиц умалчивают о том (не замечают?), что используемая ими тепловая энтропия, которая определяется равенством $(dQ/dT) = T(dS/dt)$ [Там же. С. 63], имеет достаточно косвенное отношение к введенной ими ранее статистической энтропии $S = \ln \Delta\Gamma$, область применения которой, как разъяснялось в разд. 5.5.6, выходит далеко за пределы тепловых явлений. Не обсуждая соотношения тепловой и полной энтропии, они, естественно, не упоминают и о том, что при *тепловом* равновесии максимизируется не полная, но только *тепловая* энтропия (тепловое равновесие не исключает, например, химической неравновесности); что если система находится в состоянии *теплого* равновесия, то для всех ее частей одинакова производная по энергии только *тепловой* (не полной) энтропии; что изменение внешних условий отнюдь не сводится к *тепловым* воздействиям; что *тепло*-изолированность системы может быть условием неизменности только ее *тепловой* энтропии, да и то лишь в отсутствие в системе внутренних процессов генерирования тепла. И т. д. и т. п.

«Статистическая физика» Ландау и Лифшица отнюдь не исключение, такое смешение (неразведение) полной и тепловой энтропии характерно для всех современных курсов физики, с которыми я ознакомился при подготовке этой книги. Вся терминология и весь строй мыслей физиков, когда речь заходит об энтропии, ориентированы исключительно на *тепловую* энтропию. От знакомых физиков часто приходится слышать, что никакой нетепловой энтропии вообще не существует. Всё это далеко не безобидно, потому что, как о том будет говориться в разд. 9.1, именно в таком неразведении полной и тепловой энтропии коренится более всего интересующий нас в настоящем исследовании запрет на вечные двигатели 2-го рода.

6.2. Примеры нетепловых изменений энтропии

Очень похоже на то, что неразведение полной и тепловой энтропии представляет собой реакцию физиков на наблюдаемую на Земле тенденцию к рассеянию всех нетепловых форм энергии в виде тепла: отсюда может возникнуть ощущение, что все происходящие вокруг нас процессы

так или иначе связаны с тепловыми процессами и что, поэтому, *все изменения энтропии являются тепловыми*. Убедимся в том, что это не так.

1. **Идеальный газ**. Его энтропия в переменных V (объем) и T (температура) равна

$$S = N \ln \frac{eV}{N} - N \frac{df(T)}{dT}, \quad (6.2.1)$$

в переменных P и T --

$$S = -N \ln P - N \frac{d\chi(T)}{dT}, \quad (6.2.2)$$

где N — число частиц, e — основание натурального логарифма, P — давление, $f(T)$ — некоторая функция температуры и $\chi(T) = f(T) - T \ln T$ [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 147–148]. Как видим,

энтропия идеального газа может изменяться при постоянной температуре за счет одного только изменения его объема или давления; такое изменение энтропии является нетепловым; именно так растет, например, энтропия при смешении идеальных газов, рассматриваемых в парадоксе Гиббса.

Для идеального газа с постоянной теплоемкостью соотношения (6.2.1–2) принимают вид

$$S = N \ln \frac{eV}{N} + Nc_V \ln T + const, \quad (6.2.3)$$

$$S = -N \ln P + Nc_p \ln T + const \quad (6.2.4)$$

[Там же. С. 151], где удельные теплоемкости при постоянном давлении c_p и постоянном объеме c_V отнесены к одной молекуле,

$$c_p - c_V = 1 \quad (6.2.5)$$

[Там же. С. 148–149].

Адиабатическими называют термодинамические процессы, происходящие в системе без теплообмена со средой. В общем случае энтропия системы может изменяться как за счет внутренних процессов, так и за счет взаимодействия со средой (см. соотношение (5.6.5) и связанный с ним текст). Из-за отсутствия в идеальном газе внутренних взаимодействий, производство энтропии в нем равно нулю, так что энтропия такого газа может изменяться только за счет его взаимодействия со средой. Из-за той же чрезвычайной простоты идеального газа, его взаимодействие со средой может быть только механическим и/или тепловым, причем первое из них потока энтропии с собой нести в принципе не может. Вот почему

энтропия идеального газа может изменяться только за счет теплообмена со средой,

если же такой газ теплоизолировать, то его полная энтропия, определяемая равенствами (6.2.3–4), будет оставаться постоянной. Поэтому

применительно к идеальному газу адиабатическими оказываются процессы, происходящие при постоянной энтропии.

Соотношение, связывающее объем, температуру и давление идеального газа при адиабатических изменениях, т. е. при условии его теплоизолированности, или, что для него то же самое, при постоянной энтропии, называют *адиабатой Пуассона*. Ее находят из условия

$$-N \ln P + N c_p \ln T = \text{const} \quad (6.2.6)$$

(см. соотношение (6.2.4)), откуда с учетом (6.2.5) и уравнения состояния идеального газа $PV/T = \text{const}$, получаем

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (6.2.7)$$

где $\gamma = c_p / c_v$ [Там же. С. 151].

Видим, что

при получении выражения для адиабаты Пуассона (6.2.7) de facto тепловое изменение энтропии сопоставляется с нетепловым.

Рассмотрим некоторые важные для дальнейшего частные случаи нетепловых изменений, происходящих с идеальным газом.

1.1. Расширение идеального газа без возникновения кинетического потока, происходящее с ростом объемной составляющей энтропии $N \ln(eV/N)$ в выражении (6.2.1) или (6.2.3). Выделим здесь три подслучая.

1.1.1. Квазиравновесное расширение изолированного газа в пустоту с увеличением занимаемого им объема. Вследствие изолированности газа его внутренняя энергия во время расширения остается постоянной. Поскольку же внутренняя энергия идеального газа является функцией только его температуры [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 148], постольку остается постоянной и температура газа, т. е. расширение газа оказывается здесь *изотермическим*:

«Можно... обратить внимание на опытный факт, впервые установленный Джоулем и состоящий в том, что при расширении газов в пустоту температура их изменяется столь незначительно, что можно считать ее почти неизменной» [Радушкевич, 1971. С. 44].

«Рассмотрим... нсобротимое расширение идеального газа в пустоту. Пусть один моль газа, первоначально занимавший объем V_1 , расширился, переходя в пустой сосуд, до объема V_2 . Мы знаем, что *его температура осталась без изменения...* Энтропия газа до расширения равна:

$$S_1 = C_V \ln T + R \ln V_1 + \text{const} . \quad (6.2.8)$$

После расширения энтропия имеет величину

$$S_2 = C_V \ln T + R \ln V_2 + \text{const} . \quad (6.2.9)$$

Отсюда изменение энтропии ΔS составляет:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1} . \quad (6.2.10)$$

Так как $V_2 > V_1$, то $\Delta S > 0$, и, следовательно, энтропия системы увеличилась. Заметим, что в этом процессе $\Delta Q = 0$ и *увеличение энтропии происходит только за счет расширения газа*, т. е. связано с уменьшением его плотности. *Этот пример показывает, что увеличение энтропии системы может происходить не только за счет теплообмена, но также при рассеянии вещества* (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 96–97].

1.1.2. **Квазиравновесное расширение газа при тепловом контакте со средой с совершением работы.** Как об этом говорят М. Планк, Э. Ферми и др. в высказываниях, приведенных в разд. 5.7, этот процесс также является *изотермически*, газ совершает работу за счет рассеянного тепла среды с полным превращением тепла в работу.

1.1.3. **Ракетная струя в вакууме.** После отделения от ракетного двигателя кинетический поток продуктов сгорания более не ускоряется, кинетическая энергия не возникает, так что внутренняя энергия ракетного выхлопа остается неизменной. В приближении идеального газа, для которого внутренняя энергия является функцией только температуры, это означает, что расширение продуктов сгорания ракетного двигателя в вакууме носит *изотермический* характер и что ракетный выхлоп при его распространении в вакууме не охлаждается. Этот факт окажется существенным в разд. 8.5.

1.2. **Расширение газа с возникновением кинетического потока, на который расходуется часть внутренней энергии газа.** Движение по-

тока описывается уравнением Бернулли, фиксирующим применительно к нему (потoku) закон сохранения энергии. Считая для простоты внешнее поле отсутствующим и полагая в баротропном приближении давление потока p функцией только его плотности ρ , $p = p(\rho)$, это уравнение записывают в виде [Физика..., 1999. С. 50]

$$\int \frac{dp}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const, \quad (6.2.11)$$

где v — скорость потока; интегрирование производится вдоль линии тока. Для несжимаемой жидкости это даст классическое уравнение Бернулли

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const \quad (6.2.12)$$

[Там же; Фейнман и др., 1977в. С. 240]. В случае теплоизолированного идеального газа с постоянной теплоемкостью

$$\frac{p}{\rho^\gamma} = const \quad (6.2.13)$$

(см. соотношение (6.2.7)). Подстановка $p = a\rho^\gamma$ в интеграл $\int (1/\rho)dp$ дает

$$\int \frac{a\gamma\rho^{\gamma-1}}{\rho} d\rho = \int a\gamma\rho^{\gamma-2} d\rho = a \frac{\gamma}{\gamma-1} \rho^{\gamma-1} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{a\rho^\gamma}{\rho} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho}.$$

Подставляя это значение интеграла в (6.2.11), получаем уравнение Бернулли в виде

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const. \quad (6.2.14)$$

Поскольку, далее, для такого газа

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} = \frac{c_p/c_v}{(c_p/c_v)-1} \frac{p}{\rho} = \frac{c_p}{c_p - c_v} \frac{p}{\rho} = c_p T, \quad (6.2.15)$$

где T — абсолютная температура (здесь были использованы равенство (6.2.5) и уравнение состояния идеального газа $p/\rho = T$), постольку уравнение Бернулли (6.2.14) приобретает вид²

² [Седов, 1994. С. 37; Физическая энциклопедия / Phys.Web.Ru. <<http://www.astroncl.ru/db/msg/1172338>>].

$$\frac{v^2}{2} + c_p T = \text{const.} \quad (6.2.16)$$

Как показывает уравнение (6.2.14), ускорение потока газа сопровождается уменьшением его давления, что используется, например, при создании подъемной силы крыла самолета. Уравнение же Бернулли в виде (6.2.16) говорит, что

ускорение потока газа сопровождается его охлаждением, происходящим с уменьшением тепловой энтропии потока, которое компенсируется ростом энтропии, связанным с уменьшением давления потока,

при котором растет слагаемое $-N \ln P$ в выражении для энтропии (6.2.2) или (6.2.4).

Рассмотрим два подслучая.

1.2.1. Расширение изолированного газа в пустоту с возникновением кинетического потока. Газ охлаждается, так что процесс является *неизотермическим*. Таково, например, истечение газа в пустоту или в среду с небольшим давлением из баллона со сжатым газом, изолированного от среды (см. в разд. 7.5.3 пример 3).

1.2.2. Расширение газа, находящегося в тепловом контакте со средой, в пустоту с возникновением кинетического потока. Благодаря контакту со средой температура газа поддерживается постоянной, т. е. процесс носит *изотермический* характер.

1.2.2.1. Таково, например, истечение газа в пустоту или в среду с небольшим давлением из баллона со сжатым газом, находящегося в тепловом контакте со средой (см. в разд. 7.5.3 пример 3).

1.2.2.2. Ю. И. Володько предлагает использовать происходящее при изотермическом (или «почти изотермическом») расширении сжатого газа в среду с небольшим давлением превращение рассеянного тепла в работу (в другие формы энергии) в своем проекте «бестопливного монотермического двигателя» (см. разд. 10.2).

2. Концентрационный элемент Нернста

«представляет собой сосуд, разделенный мембраной на два отсека, каждый из которых заполнен раствором соли разной концентрации...

Мембрана имеет неодинаковую проницаемость для катиона и аниона, на которые соль диссоциирует. Разность концентраций растворов по обе стороны мембраны служит причиной диффузии соли через мембрану. Однако из-за разной проницаемости мембраны для ионов один из них проходит через мембрану в другой отсек, а другой ион задерживается. В результате на обеих поверхностях мембраны образуются электрические заряды. Со стороны раствора с меньшей концентрацией соли поверхность мембраны приобретает электрический заряд того иона, к которому она проницаема. Если в отсеки устройства Нернста поместить электроды, то с помощью электроизмерительного прибора, включенного в замкнутую цепь, можно зарегистрировать электрический ток, обусловленный сторонними силами (концентрационным градиентом)... Аналогичные явления происходят на поверхностях живых мембран, отделяющих цитоплазму клетки от внесклеточной жидкости» [Трифонов, 1997–2000].

Для небольших концентраций раствора, когда взаимодействием растворенных молекул друг с другом можно пренебречь, их энтропия имеет вид

$$S = -N \ln n + f(T), \quad (6.2.17)$$

где n — плотность числа частиц, $f(T)$ — некоторая функция температуры T [Щеголев, 1996. С. 116]:

«При уменьшении числа молекул на единицу в правой половине сосуда ее энтропия возрастет на $\Delta S_{ПР} = \ln(n_{ПР})$. При увеличении же числа молекул на единицу в левой половине сосуда ее энтропия уменьшится на $\Delta S_{ЛЕВ} = -\ln(n_{ЛЕВ})$. Поэтому суммарная энтропия элемента возрастет на

$$\Delta S = \Delta S_{ПР} + \Delta S_{ЛЕВ} = \ln(n_{ПР} / n_{ЛЕВ}) \gg \quad (6.2.18)$$

[Там же].

Как видим, изменение энтропии данной системы также имеет нетепловую природу.

3. Диффузия в растворе. Рассчитав рост энтропии при диффузии, Л. В. Радушкевич заключает, что и здесь рост энтропии имеет нетепловой характер:

«Опять мы здесь встречаемся с необратимым процессом, когда рост энтропии вызывается уменьшением плотности (концентрации) вещества» [Радушкевич, 1971. С. 98].

6.3. Уточнение раздела 5.1: пять компонент второго начала

В разд. 5.1 мы выделили в том, что исторически именуется вторым началом термодинамики, четыре компонента, одна из которых — это закон возрастания энтропии. С учетом того выясненного в разд. 6.1–2 обстоятельства, что понятие *полной* энтропии в формулировках второго начала следует отличать от понятия *тепловой* энтропии, эту последнюю компоненту следует расщепить на две, так что теперь мы имеем пять компонент второго начала:

- 1) в чисто тепловых процессах происходит выравнивание температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым;
- 2) существует асимметрия между процессами превращения негепловых форм энергии в теплоту, с одной стороны, и превращения теплоты в другие виды энергии — с другой: первые, в отличие от вторых, не требуют компенсации;
- 3) для равновесного (обратимого) случая может быть введено равенство $dS = dQ/T$, которое является здесь определением (тепловой) энтропии;
- 4) действует закон возрастания полной энтропии;
- 5) действует «закон» возрастания тепловой энтропии.

6.4. Закон возрастания полной энтропии на фоне универсальной эволюции

Каждая реальная материальная система характеризуется множеством самых разных статистических распределений, энтропия каждого из которых характеризует систему. Полная энтропия системы представляет собой некую интегральную величину, характеризующую совокупность всех этих распределений. При определении этой интегральной величины представляется целесообразным опираться на такую интегральную характеристику физической системы, как *полная энергия*:

«...второе начало термодинамики превратилось во *второе начало энергетики*, которое выражает некоторое общее свойство энергии во всех ее различных формах (выделено В. Оствальдом. — С. Х.)» [Оствальд, 1913. С. 115].

«Современная термодинамика — это наука, изучающая взаимную связь между различными видами энергии... особенностью термодинамики является рассмотрение процессов, происходящих в природе,

с точки зрения превращений энергии в этих процессах... Второе начало термодинамики характеризует направление протекания термодинамического процесса (выделено мной. — С. Х.)» [Ноздрев, 1967. С. 5].

С другой стороны, закон возрастания полной энтропии можно рассматривать как физическую проекцию общего закона эволюции, определяющего ее направление (см. разд. 6.4.6).

Таким образом, при определении полной энтропии имеет смысл работать на пересечении энергетического и эволюционного подходов.

6.4.1. Эволюционное саморазвитие взаимодействий (материи) в определенном направлении

Внутри эволюционного подхода автор этих строк придерживается направления, которое называется *универсальным эволюционизмом* (разд. 2.3, т. I). В пределах же этого направления автор занимает *автогенетические* позиции [Хайтун, 2005а], которые далее будут кратко обрисованы применительно к основному содержанию книги.

Наблюдаемый мир соткан из взаимодействий, всё ими пронизано, всё ими движется. Материя — это вещество плюс поля взаимодействий. Вещество состоит из молекул, молекулы — из атомов, атомы — из элементарных частиц, элементарные частицы представляют собой сгустки полей взаимодействий, так что вещество — это те же поля взаимодействий, только «сгустившиеся» и приобретшие благодаря этому новые свойства. Понятия материи и взаимодействий — из одного куста понятий. Мы говорим материя — подразумеваем взаимодействия, мы говорим взаимодействия — подразумеваем материю.

Будучи источником всего и вся в этом мире, взаимодействия сами себя развивают, являясь движущей силой эволюции, ее фундаментальной сущностью; которая не может быть обоснована и которая не нуждается в обосновании.

Саморазвитие материи составляет настолько неотъемлемую часть всего сущего, что само существование реальных систем возможно лишь в режиме эволюционирования.

Эволюционное саморазвитие материи происходит в определенном направлении, о векторе которого говорилось в разд. 2.4, т. I.

6.4.2. Энергия как мера количества взаимодействий

Перед лицом угрозы «тепловой смерти», которая надвигается на человечество из-за экспоненциально растущего потребления энергии и которой посвящена настоящая книга, нам как минимум нужно знать, что такое

энергия. Как ни странно, общепринятой точки зрения на этот счет до сих пор не существует:

«...энергия имеет множество *разных форм* и для каждой из них есть своя формула... физике сегодняшнего дня неизвестно, *что такое энергия*... Просто имеются формулы для расчета определенных численных величин, сложив которые, мы получаем... всегда одно и то же число. Это число отвлеченное, ничего не говорящее нам ни о механике, ни о *причинах* появления в формуле различных членов (выделено авторами. С. Х.)» [Фейнман и др., 1977а. С. 74].

Идущее от Ф. Энгельса³ и распространенное до сих пор определение энергии как количественной меры *движения* материи [Кудинов, Карташов, 2000. С. 38; Новый..., 2000. С. 1401], на мой взгляд, ошибочно, если даже трактовать движение в общем смысле как *развитие*, потому что энергией обладает и система в состоянии равновесного покоя (напомним об энергии покоя mc^2), когда никакого движения (развития) нет вовсе. Паллиативным, но всё еще неточным представляется и определение энергии как

«общей количественной меры *движения и взаимодействия* всех видов материи (выделено мной. — С. Х.)» [Физика..., 1999. С. 903].

Для движения материи имеются другие меры — импульс, момент импульса, поток импульса, поток энергии и пр.

Такие размытые определения понятия энергии являются отголосками тех времен, когда в работах ученых (Аристотеля, Грамматика, Галилея и др.), предшествовавших созданию количественной динамики, понятия массы и веса тела обсуждались в рамках одного «куста» понятий, а понятия силы, импульса, энергии — в рамках другого «куста» понятий. Обсуждались так вынужденно, потому что ученые не умели тогда различать эти понятия:

«Понятие „энергия“ стало постепенно выделяться из многозначного понятия „сила“, когда „движущая сила огня“ начала использоваться в паровых машинах, где тепло от сжигаемого угля превращалось в механическую работу поршня, который перемещался под давлением пара... Одним из первых в 1807 г. термин „энергия“ стал использовать английский ученый Т. Юнг... первое строгое *определение энергии* появилось только в 1853 г. Его дал... В. Томсон (лорд Кельвин): *энергия материальной системы в определенном состоянии*

³ «Более широкое определение [энергии] принадлежит Ф. Энгельсу и продолжателям его учения: *энергия — это общая скалярная* (т. е. независящая от направления, не векторная) *мера различных форм движения материи* (механической, электрической и т. п.) (выделено Г. Н. Алексеевым. С. Х.)» [Алексеев, 1983. С. 6].

есть измеренная в единицах механической энергии сумма всех действий, которые производятся вне системы, когда она любым способом переходит из этого состояния в произвольно выбранное нулевое состояние (выделено Г. Н. Алексеевым)» [Алексеев, 1983. С. 5–6].

Сегодня определение энергии как меры движения материи представляется анахронизмом. На мой взгляд,

энергия — это мера количества взаимодействий.

Каждой форме взаимодействий отвечает собственная форма энергии. Однако не все формы взаимодействий могут быть охарактеризованы количественно. Взаимодействуют тексты, страны и политики, однако какой энергией взаимодействия в физическом смысле этого термина они могут быть охарактеризованы? И вообще, далеко не все явления допускают количественное описание и не все величины имеют количественный смысл. Не случайно теория измерений предусматривает, наряду с количественными, и качественные шкалы⁴.

6.4.3. Соответствие паттернов форм энергии материальной системы ее структуре

Материя, говорилось в разд. 6.4.1, --- это вещество плюс поля взаимодействий, а вещество состоит из сгустков полей взаимодействий. Поскольку, таким образом, материальные структуры сотканы из полей взаимодействий, постольку каждой такой структуре может быть поставлен в соответствие определенный паттерн (структура) взаимодействий, так что разные формы взаимодействий приписаны к материальным структурам разной формы:

каждая материальная структура эквивалентна определенному паттерну (определенной структуре) форм взаимодействий.

Поскольку же энергия, напомним, это только мера количества взаимодействий, постольку приходим к выводу, что

энергия материальной системы определяется ее структурой, и наоборот; каждой материальной структуре отвечает свой паттерн форм энергии.

То, о чем мы здесь говорим, нашло свое отражение в физике. Допустим, мы заставили систему гравитирующих масс работать. При этом изменяется только относительное расположение масс, т. е. структура этой системы, так что здесь, действительно, превращение энергии связано с

⁴ См. о качественных и количественных шкалах [Хайтун, 1989. С. 55–60].

изменением структуры. То же будет и с системой электрических зарядов, которую мы заставим работать, так чтобы общее количество электрической энергии уменьшилось. Сумма зарядов при этом сохранится, изменится только их относительное расположение, т. е. структура системы.

Физики предпочитают говорить в этом случае об энергии связи⁵, однако речь идет об одном и том же. При связывании свободных частиц в систему ее потенциальная (скажем, гравитационная) энергия уменьшается, в результате чего, *если с системой не происходит других изменений*, ее энергия (масса) уменьшается. Система при этом либо совершает работу над средой, либо излучает в нее освободившуюся энергию в форме излучения. Вот эту освободившуюся при связывании системы энергию и называют энергией связи системы, которой обладает любая система, будь то система масс или электрических зарядов, атом или атомное ядро, молекула биополимера или органическая клетка.

Собственной структурной энергией, в частности, обладают органические системы, о чем первым заговорил Э. С. Бауэр:

«В живых системах всякая работа внутри их или направленная против их изменения может производиться только за счет... структурной энергии, т. е. системными силами» [Бауэр, 1935. С. 57].

«Химическая энергия пищевых продуктов, поступающих в живые системы, не может непосредственно превращаться в работу. Указываемая энергия прежде всего используется для создания свободной энергии структуры, образующей живую систему. В живых системах в отличие от неживых источником для производимой ими работы является не тепловая энергия, как это имеет место в тепловых машинах, и не химическая, как это имеет место в хемодинамических машинах, а *структурная энергия*. Последняя в отличие от механической, тепловой, химической, электромагнитной, гравитационной и ядерной, *является специфической формой энергии, присущей только живым системам*. Открытие и постулирование указанной формы энергии в живых системах являются одной из самых крупнейших заслуг Э. С. Бауэра (выделено мной. — С. Х.)» [Аршавский, 1982. С. 24–25].

⁵ «ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ, энергия связи системы каких-либо частиц (например, атома как системы из ядра и электронов), равная работе, которую необходимо затратить, чтобы разделить эту систему на составляющие ее частицы и удалить их друг от друга на такое расстояние, на котором их взаимодействием можно пренебречь. Энергия связи определяется взаимодействием частиц и является отрицательной величиной, так как при образовании связанной системы энергия выделяется. Абсолютная величина энергии связи характеризует прочность связи и устойчивость системы» [Физика..., 1999. С. 903].

Вопреки И. А. Аршавскому, структурной энергией обладают все материальные системы, а не одни лишь органические. Нескорректно также проводимое им противопоставление структурной энергии «обычным» формам энергии – электромагнитной, тепловой, химической и пр. Каждая из этих форм энергии дает свой вклад в структурную, иначе — полную энергию.

6.4.4. Эволюционное наращивание структурных «этажей» материи и отвечающих им паттернов форм энергии

Необратимое преобразование одной материальной структуры в другую, связанное с превращением друг в друга отвечающих этим структурам форм взаимодействий, происходит с ростом энтропии. Рост энтропии, говорили мы в разд. 5.5.3, опираясь на идущую от В. Томсона трактовку необратимых процессов как протекающих с превращением друг в друга разных форм энергии, происходит с интенсификацией процессов превращения друг в друга разных форм взаимодействий. Теперь мы можем положить в основание этого утверждения не только тезис Томсона, но и констатированное в разд. 6.4.3 соответствие материальных структур паттернам форм взаимодействий. То, что эволюция идет с превращением одних структур в другие, общезвестно. Поскольку же каждой материальной структуре отвечает определенный паттерн взаимодействий, постольку эволюция означает и превращение взаимодействий.

Эволюционный рост энтропии может происходить не только за счет интенсификации процессов превращения друг в друга взаимодействий уже существующих структурных уровней, но и

за счет образования *всё новых типов структур*, с появлением которых добавляются *всё новые типы процессов превращения взаимодействий*, в результате чего происходит наращивание процессов превращения взаимодействий друг в друга,

как того и требует закон возрастания энтропии. Поскольку же рост энтропии *может* происходить таким образом, то он таким образом и *происходит* — эволюция использует все ресурсы увеличения энтропии. Именно поэтому в эволюционном плане, т. е. для достаточно больших фрагментов наблюдаемого мира за достаточно большие промежутки времени, рост энтропии ведет к («поэтажному») *росту сложности*, хотя для отдельно взятых реальных систем энтропия и не является мерой беспорядка/сложности (разд. 7.2.1 и П. 3.2):

эволюционное усложнение осуществляется в результате наращивания *всё новых структурных «этажей» материи*, которым отвечают *всё новые «этажи» форм взаимодействий*.

Вновь возникающие «этажи» не отменяют старых, потому что это загромождает бы рост энтропии. Неорганические структуры не были отменены органическими, органические социальными. Будучи направленной в сторону всё большей интенсификации метаболизмов, т. е. *от состояния равновесия*,

эволюция строит пирамиду «этажей», в которой низкоорганизованные формы служат фундаментом для высокоорганизованных.

Новые этажи не могли бы существовать без старых. В этом причины сосуществования в земной биосфере на протяжении миллионов и миллиардов лет высоко- и низкоорганизованных органических форм.

6.4.5. Нефизические взаимодействия сотканы из физических, но не сводятся к ним

Относительно соотношения разных форм взаимодействий существуют две полярные точки зрения. Согласно первой, нефизические взаимодействия, как говорят, сводимы к физическим. Эта точка зрения в крайней ее форме, когда нефизическим взаимодействиям вообще отказывают в специфичности, особенно распространена среди физиков:

«Всё окружающее нас вещество построено из элементарных частиц. Все известные в природе процессы и взаимодействия обусловлены взаимодействием между собой элементарных частиц» [Окунь, 1963. С. 7].

«...всё происходящее в природе можно свести всего к четырем фундаментальным взаимодействиям. Именно эти взаимодействия в конечном счете отвечают за всё в мире, именно они являются источником всех изменений» [Девис, 1989. С. 80].

Физики часто говорят, например, что химия — это физика молекул.

Согласно второй точке зрения, нефизические взаимодействия, скажем психические или биологические, столь же первичны, как физические, и не сводимы к ним. Эта точка зрения имеет широкое хождение среди биологов.

Мы придерживаемся первой точки зрения, переформулировав ее, однако, таким образом, что в определенном смысле справедливой оказывается и вторая. При этом мы опираемся на два фундаментальных факта.

Первый фундаментальный факт: на месте биологических полей физические приборы обнаруживают физические поля. Речь идет о *митогенетическом излучении* органической клетки, которое было открыто А. Г. Гурвичем и которое имеет электромагнитную природу:

«Митогенетический эффект сводится к тому, что многие составные части организмов излучают короткий ультрафиолет и вместе с тем они же, благодаря ряду изменений, которые могут быть сравнительно легко обнаружены, являются крайне чувствительными „тестами“ или „детекторами“ для этого излучения» [Гурвич, Гурвич, 1934. С. 5]⁶.

Имеем следующее. Элементарные частицы сотканы из физических полей взаимодействий, являясь их сгустками. Живые и неживые структуры в свою очередь состоят из элементарных частиц. Таким образом,

всё вещество, включая биологические и другие нефизические материальные структуры, соткано из полей физических взаимодействий.

Вот почему приборы *при соответствующей их настройке* обнаруживают на месте нефизических полей физические.

Это заставляет нас признать, что гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые физические взаимодействия первичны, или являются базовыми, тогда как все другие взаимодействия — химические, биологические, социальные — сотканы из физических, образуя многоуровневые структуры (паттерны).

Второй фундаментальный факт: все многочисленные попытки свести биологические и социальные явления к физическим остаются неудачными:

еще никому не удалось описать биологические и социальные явления, исходя из взаимодействий между элементарными частицами.

Физики продолжают утверждать, что это связано с трудностями чисто технического порядка, но что в принципе биологические и социальные явления могут быть описаны физическими средствами. Это странно, потому что сами же физики любят поговорить о том, что они верят только фактам (эксперименту) и что именно этой установкой (парадигмой) их дисциплина выгодно отличается от других. В данном же случае имеем затянувшийся на многие десятилетия эксперимент по проверке исходной гипотезы (биологические и социальные явления могут быть описаны физическими средствами) с отрицательным результатом. Действуя в рамках принятой в среде физиков парадигмы, мы вынуждены сделать вывод об ошибочности этой гипотезы. Другими словами, признать, что

нефизические явления в принципе не могут быть описаны языком физики⁷.

⁶ Подробнее о работах А. Г. Гурвича и др., в которых изучается биополе, см. [Хайтун, 2005а. Разд. 4.2.1].

⁷ Естественное исключение представляют собой химические явления, простейшие из которых из-за «соседства» с физическими удастся описать средствами физической теории. Однако, чем сложнее химическая система, тем меньше дает физический аппарат для описания ее химических свойств.

Этот вывод подтверждается, мне кажется, всем, что известно сегодня об органическом и социальном мирах. Никакому биологу, например, и в голову не придет утверждать, что индивидуальное развитие (онтогенез) и поведение многоклеточного животного могут быть выведены из информации о нем на клеточном уровне. Хотя бы потому, что биолог знает об *эпигенезе*, т. е. о том, что в разных внешних условиях из одной и той же клетки, в зависимости от ее окружения, вырастают разные органы. Учесть всё многообразие среды в принципе невозможно.

Соотношение физических, химических, биологических и социальных структур может быть лучше понято из аналогии с текстами. Буквы — это аналог физического уровня, слоги — химического, слова — биологического и т. д. Если вы последовательно опознали все литеры, которой набрана настоящая книга, то это еще не значит, что вы ее прочитали (поняли), особенно, если не знаете русского языка.

Исследуя гены, мы не приобретаем знание о геноме. Исследуя клетки, мы не приобретаем знание о многоклеточном организме. Исследуя морфофизиологические структуры человека, мы не приобретаем знание о его ментально-поведенческих и психологических структурах. Исследуя элементарные частицы, мы не приобретаем знание ни о геноме, ни о клетке, ни о многоклеточном организме, ни о внутреннем мире индивида, ни о социуме.

Поскольку, полагаю я, нефизические явления в принципе не могут быть описаны как физические, постольку специфика нефизических взаимодействий сосредоточена в образующих их структурах (паттернах) физических полей, сами же по себе физические поля этой специфике несут. Химические, биологические и другие нефизические взаимодействия *не сводятся* к физическим, хотя и сотканы из них. Совершенно определенно химия — это не физика молекул, во всяком случае, для достаточно сложных химических систем:

нефизические взаимодействия одновременно и сводимы, и не сводимы к физическим. Сводимы в том смысле, что сотканы из них. Не сводимы, поскольку физические поля ничего не говорят о специфике сотканных из них нефизических паттернов.

Усложнение вещественной структуры, сотканной из полей взаимодействий, сообщает ей новые свойства, связанные с новыми формами взаимодействий. Скажем, соединение протона с электроном образует атом водорода, который обладает химическими и оптическими свойствами, отсутствующими у протона и электрона порознь. Организованное в определенную структуру (паттерн), физическое, например электромагнитное, поле становится уже, скажем, химическим или психическим.

Для обнаружения взаимодействий, тождественных данной материальной структуре, т. е. данному паттерну, сотканному из физических полей, детектор должен быть настроен на этот паттерн. Физические детекторы по опре-

делению настроены на физические поля, почему они их и обнаруживают на месте биологических полей. Биологическое поле как таковое, т. е. именно как биологическое, можно обнаружить, настроив приборы на соответствующий «биологический» паттерн, сотканный из физических полей, в результате чего они (приборы) перестают быть физическими, становясь «биологическими». К примеру, А. Г. Гурвич для детектирования биологических полей использовал культуры дрожжей и бактерий [Гурвич, Гурвич, 1934. С. 6], которые и выступали у него в роли «биологических приборов».

Проследживать цепочку превращений физических взаимодействий в биологические или социальные нет ни необходимости, ни возможности. Если бы мы *проследили* такую цепочку взаимодействий, то тем самым *свели бы* одни к другим.

А. Эйнштейн последние тридцать лет своей жизни положил на безуспешные попытки создания единой теории поля. Если под таковой иметь в виду теорию, которая бы объединяла действительно все формы взаимодействия, включая биологические и социальные, то из сказанного в настоящем и предыдущем разделах, на мой взгляд, следует изначальная обреченность всех попыток создания такой теории на провал — единой теории поля не существует и не может существовать из-за гигантского и всё увеличивающегося в ходе эволюции разнообразия форм взаимодействий, каждой из которых отвечают собственная форма энергии и собственное «поле».

Самое большое, на что здесь можно, представляется, рассчитывать, — это создание единой теории *физических* (базовых) взаимодействий — гравитационных, электромагнитных, сильных и слабых. В этом направлении, как известно, достигнуты определенные успехи — создана т. н. Стандартная модель, которая описывает электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие элементарных частиц и многие предсказания которой подтверждаются с большой точностью экспериментально [Емельянов, 2007]. К недостаткам этой модели относят слишком большое число входящих в нее параметров, что побуждает исследователей вести активный поиск отклонений от нее.

6.4.6. Закон возрастания полной энтропии как физическая проекция закона, обозначающего вектор универсальной эволюции

Закон возрастания полной энтропии *обозначает* результирующий вектор саморазвития взаимодействий. Другими словами, закон возрастания энтропии — это просто «научная материализация» идеи саморазвития материи в определенном направлении. Этот закон обусловлен взаимодействиями, которые имеют такую природу, что обеспечивают энтропии возрастание. Упрощая положение вещей, можно говорить, однако, что этот закон *управляет* взаимодействиями. С этой оговоркой можно говорить и о давлении в прогрессивном направлении на всё сущее закона возрастания

энтропии, тогда как, строго говоря, речь идет о давлении именно взаимодействий. Закон возрастания энтропии направляет эволюцию в сторону интенсификации всевозможных метаболизмов, роста связанности «всего со всем» и т. д. (разд. 2.4, т. I).

6.5. Полная энтропия как энтропия распределения плотности потока полной энергии

Пока не существует никакого количественного определения полной энтропии материальной системы. Мы считаем, что она может быть определена как энтропия распределения *полной энергии* системы. Точнее, в общем случае может быть введена *плотность распределения* полной энергии по трехмерному объему и трехмерному же пространству скорости ее распространения, или плотность потока полной энергии⁸, $U(r, v)$:

$$\int U(r, v) dr dv = U, \quad (6.5.1)$$

$$\int U(r, v) dv = U(r), \quad (6.5.2)$$

где U — полная энергия данной материальной системы, $U(r)$ — пространственная плотность энергии и r — трехмерный радиус-вектор.

Перенормируем это распределение на единицу, перейдя от $U(r, v)$ к $u(r, v)$:

$$\int u(r, v) dr dv = 1. \quad (6.5.3)$$

Нормировка на единицу позволяет трактовать $u(r, v)$ как *плотность вероятности распределения* полной энергии в указанном шестимерном пространстве.

Полную энтропию материальной системы определяем выражением

$$S = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv \quad (6.5.4)$$

[Хайтун, 1996. С. 22].

Наше определение полной энтропии обобщает определение статистической энтропии Больцмана (5.5.1), которое производится в фазовом пространстве одной молекулы, т. е. в реальном трехмерном пространстве ко-

⁸ Напомним, что вектор Умова (плотность потока энергии физического поля) численно равен энергии, переносимой в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную направлению потока энергии в данной точке.

ординат, дополненном трехмерным же пространством скоростей, и функция распределения в котором имеет смысл числа молекул в единице объема этого шестимерного фазового пространства. Молекулы могут быть представлены в этом же энергетическом ключе, если в пределах объема, занимаемого молекулой, записать плотность энергии в виде

$$U(r) = \rho c^2, \quad (6.5.5)$$

где ρ — плотность частицы по массе и c — скорость света.

Нормировка плотности вероятности распределения $u(r, v)$ на единицу означает, что единице равна площадь под кривой $u(r, v)$. Следуя обычным приемам статистической физики, введем среднее значение $u(r, v)_{CP}$ плотности вероятности распределения $u(r, v)$ и ширину распределения $(\Delta r \Delta v)_U$ как ширину прямоугольника с высотой $u(r, v)_{CP}$ и единичной площадью:

$$u(r, v)_{CP} (\Delta r \Delta v)_U = 1. \quad (6.5.6)$$

Величина $(\Delta r \Delta v)_U$ может быть названа *фазовым объемом* распределения $u(r, v)$.

Несложно показать, что энтропия (6.5.4) принимает при этом вид

$$S = k \ln (\Delta r \Delta v)_U. \quad (6.5.7)$$

В самом деле, если учесть приближенное равенство

$$\ln [u(r, v)_{CP}] \approx [\ln u(r, v)]_{CP}, \quad (6.5.8)$$

т. е.

$$\ln \int u(r, v) u(r, v) dr dv \approx \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv, \quad (6.5.9)$$

то получим

$$\begin{aligned} S &= k \ln (\Delta r \Delta v)_U = k \ln \frac{1}{u(r, v)_{CP}} = \\ &= -k \ln [u(r, v)_{CP}] \approx -k [\log u(r, v)]_{CP} = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv, \end{aligned} \quad (6.5.10)$$

т. е. определение полной энтропии (6.5.4).

Переход, аналогичный переходу от (6.5.7) к (6.5.10), традиционно используется при определении энтропии в статистической физике [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 40–41]. См. также разд. П. 3.2.5.

Сравнивая (6.5.7) с определением (5.5.7) энтропии $S = k \ln W$, приходим к выводу, что величине $(\Delta r \Delta v)_U$ может быть придан смысл макростепенности энергетического состояния системы:

$$S = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv = k \ln (\Delta r \Delta v)_U = k \ln W_U. \quad (6.5.11)$$

Определение полной энтропии (6.5.4) обобщает определение статистической энтропии Больцмана (5.5.1) в «другую сторону», нежели определение статистической энтропии Гиббса (5.5.2). При этом у энтропии (6.5.4) то преимущество по сравнению с энтропией Гиббса, что, если последняя, как говорилось в разд. 5.5.6, — существенно механическая величина, неприменимая к немеханическим системам, то энтропия (6.5.4) может быть использована и при описании немеханических систем. По сравнению же со статистической энтропией (5.5.7), которая вводится принципом Больцмана как логарифм вероятности макросостояния системы и рецептов вычисления которой в общем случае не существует, у определения полной энтропии (6.5.4) то преимущество, что изначально ясно по крайней мере в принципе, — как ее вычислять.

Таким образом, автор не вводит какую-то собственную («новую») энтропию, а обобщает существующие определения энтропии, с тем чтобы охватить необратимый случай. При этом мы следуем существующим канонам определения физической энтропии как энтропии описывавшего физическую систему статистического распределения. Энтропия распределения $f(x)$ вводится выражением

$$S = -K \int f(x) \ln f(x) dx. \quad (6.5.12)$$

Именно такую структуру имеют энтропии Больцмана (5.5.1) и Гиббса (5.5.2). К такой же структуре приводят, когда это возможно, энтропию $S = k \ln W$ (см. соотношения (5.5.9–11) и связанный с ними текст). Эту же структуру имеет и полная энтропия (6.5.4).

Обладая большей общностью, нежели любая введенная ранее статистическая энтропия, полная энтропия (6.5.4) может быть введена для любой материальной системы, обладающей энергией. Но это только в принципе, практически же численный расчет и нашей «самой общей» энтропии (6.5.4) для подавляющего большинства реальных систем невозможен.

Коротко говоря — из-за их невероятной сложности. Если же попытаться это расшифровать, то речь идет о том, что, как говорилось в разд. 6.4.3–5, каждая реальная система представляет собой сотканную из полей физических взаимодействий сложную материальную структуру, которой может быть поставлена в соответствие определенная структура форм взаимодействий с отвечающими им формами энергии.

В контексте настоящего исследования главным преимуществом определения (6.5.4) представляется то, что оно позволяет максимально четко отличить полную энтропию от тепловой.

6.6. Тепловая энтропия как энтропия распределения плотности потока тепловой энергии

Идущее от Клаузиуса (разд. 5.4) определение тепловой энтропии выражениями

$$dS = \frac{dQ_{PABH}}{T} \quad (6.6.1)$$

и

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_{PABH}}{T} \quad (6.6.2)$$

годится только в (квази)равновесном случае, в необратимом же случае, когда собственно и нужно понятие энтропии, никакого количественного выражения для тепловой энтропии не существует. Приведенное в предыдущем разделе определение полной энтропии позволяет заполнить этот пробел, для чего достаточно заменить в равенстве (6.5.4) плотность вероятности распределения полной энергии $u(r, v)$ на плотность вероятности распределения тепловой энергии $q(r, v)$ по трехмерному объему и трехмерному же пространству скорости v ее распространения:

$$S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv, \quad (6.6.3)$$

$$\int Q(r, v) dr dv = Q, \quad (6.6.4)$$

$$\int Q(r, v) dv = Q(r), \quad (6.6.5)$$

$$\int q(r, v) dr dv = 1, \quad (6.6.6)$$

где Q — количество тепловой энергии, содержащейся в данной материальной системе, $Q(r)$ — пространственная плотность тепловой энергии.

Поскольку тепловая энтропия Клаузиуса определена для равновесного случая и не определена — для неравновесного, постольку сравнивать с ней с тепловую энтропию (6.6.3) имеет резон только в равновесном случае. Подобно тому, как это было сделано для полной энтропии (см. соот-

ношения (6.5.7–11) и связанный с ними текст), вводим для распределения $q(r, v)$ «фазовый объем» $(\Delta r \Delta v)_Q$, что позволяет записать тепловую энтропию (6.6.3) в виде

$$S_Q = k \ln(\Delta r \Delta v)_Q. \quad (6.6.7)$$

Сравнивая (6.6.7) с определением (5.5.7) $S = k \ln W$ статистической энтропии как вероятности макросостояния системы, приходим к выводу, что величине

$$(\Delta r \Delta v)_Q = W_Q \quad (6.6.8)$$

может быть придан смысл макровероятности (теплого) состояния нашей равновесной системы, а величине

$$\frac{dE}{k d(\ln W_Q)} = \frac{dE}{dS} = T \quad (6.6.9)$$

— смысл ее температуры (см. выражение (6.1.1)). Воспроизводя, далее, выкладки Ф. Рейфа (см. соотношения (5.5.20–21) и связанный ими текст) с заменой в них Ω на W_Q , получаем, что при поглощении данной равновесной тепловой системой малого количества тепла Q ее тепловая энтропия (6.6.3) получает приращение Q/T . Это доказывает, что в равновесном случае тепловая энтропия (6.6.3) дает тепловую энтропию Клаузиуса.

ГЛАВА 7

Закон возрастания полной энтропии против «закона» возрастания тепловой энтропии

7.1. Глобальная и локальная формулировки закона возрастания полной энтропии

Перенесем формулировки закона возрастания энтропии, приведенные в разд. 5.6, на закон возрастания полной энтропии. В случае неизолированной системы изменение ее полной энтропии S состоит из двух слагаемых:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}. \quad (7.1.1)$$

Здесь $d_i S / dt$ — *производство полной энтропии*; отнесенная к единице объема, эта величина представляет собой *локальное производство полной энтропии* σ :

$$\frac{d_i S}{dt} = \int \sigma dV. \quad (7.1.2)$$

Закон возрастания полной энтропии в *глобальной* формулировке:

$$\frac{d_i S(t)}{dt} \geq 0, \quad (7.1.3)$$

в *локальной* —

$$\sigma(t) \geq 0. \quad (7.1.4)$$

В частном случае *изолированной* системы

$$\frac{dS(t)}{dt} \geq 0. \quad (7.1.5)$$

Согласно локальной формулировке закона возрастания полной энтропии,

скорость возникновения (производство) полной энтропии положительна или равна нулю (положительно или равно нулю) в каждый текущий момент времени в каждом макроскопическом фрагменте наблюдаемого мира.

7.2. Несостоятельность сомнений в справедливости закона возрастания полной энтропии

В отличие от закона сохранения энергии, о ситуации с которым говорилось в разд. 3.5.3, т. I, со статусом закона возрастания энтропии пока не всё ясно. Существуют три основных источника сомнений в его справедливости:

- 1) действующая на Земле тенденция к рассеянию нетепловых форм энергии в виде тепла, откуда классики термодинамики XIX в. сделали вывод о непрерывном нарастании в мире теплового хаоса и неизбежной «тепловой смерти» Вселенной», ненаступление которой и заставляет некоторых авторов сомневаться в законе возрастания энтропии;
- 2) противоречие между «физической» эволюцией в сторону упрощения, диктуемой, как полагают, законом возрастания энтропии, и реально наблюдаемой эволюцией в сторону усложнения;
- 3) противоречие между необратимостью реальных процессов, отражаемой законом возрастания энтропии, и обратимостью (симметричностью по времени) уравнений механики, включая квантовую механику, уравнения электромагнетизма Максвелла, частную и общую теории относительности).

О неправомерности трансформации *тенденции* к рассеянию нетепловых форм энергии в виде тепла в *закон* применительно к проблеме «тепловой смерти» Вселенной будет говориться в разд. 7.5.2.2, а здесь мы рассмотрим пп. 2 и 3, только касаясь по мере необходимости указанной тенденции.

7.2.1. Первый источник сомнений: «физическая» эволюция (в сторону упрощения) против наблюдаемой эволюции (в сторону усложнения)

Физическая теория эволюции, согласно которой всё развивается с ростом энтропии в сторону упрощения, находится в резительном противоречии

ции с теорией эволюции, которая создается в биологии, науках о Земле и космогонии¹ и согласно которой эволюция происходит в сторону усложнения. Физическая же теория эволюции опирается на общепринятую до сих пор трактовку энтропии как меры беспорядка, согласно которой рост энтропии означает постепенное исчезновение порядка.

Корни трактовки энтропии как меры беспорядка теряются в дымке истории, в размытом виде она присутствует в работах целой группы авторов второй половины XIX в. Р. Клаузиус [Clausius, 1865] трактует рост энтропии как тенденцию к *выравниванию температуры* по объему. Эта же мысль присутствует в книге Дж. К. Максвелла «Теория теплоты» [Maxwell, 1871. P. 308–309]. В статье Л. Больцмана [Boltzmann, 1877b] содержится привязка энтропии к *равномерности* распределения, описывающего систему. А в «Лекциях по теории газов», опубликованных 20 лет спустя, он уже связывает вероятность состояния (а, следовательно, и энтропию) с *неупорядоченностью*. Всякий раз, пишет Больцман,

«когда тела вступают во взаимодействие, начальное состояние образованной из них системы должно быть совершенно исключительным по своим свойствам (упорядоченным, маловероятным); такими свойствами должны обладать лишь очень немногие состояния этой механической системы при данных внешних механических условиях. Этим и объясняется, что система принимает со временем состояния, которым более не присущи такие свойства и которые мы называем неупорядоченными. Так как большинство состояний системы не упорядочены, мы называем их также вероятными состояниями» [Boltzmann, 1895–1898; Рус. пер. С. 520].

Больцман говорит здесь о связи энтропии (вероятности состояния) с неупорядоченностью как бы вскользь, между делом. По-видимому, эта связь стала уже к тому времени достаточно общим местом, не вызывающим особого интереса. В подтверждение можно указать, например, что Г. Гельмгольц в 1883 г., т. е. в промежутке между двумя названными работами Больцмана, говорит об энтропии как мере *дезорганизации* [Helmholtz, 1883. S. 972]. И, как и другие авторы, не фокусирует на этом внимания.

Физическая концепция эволюции начала формироваться в тех же пионерских работах, в которых было сформулировано второе начало термодинамики (гл. 5). В. Томсон, как мы видели в разд. 5.3.1 (формулировка 3.1), говорит о действующей в мире тенденции к рассеянию [dissipation] механической энергии, вследствие которой, добавляет он, Земля рано или поздно окажется непригодной для обитания человека:

¹ КОСМОГОНИЯ (от греч. *gōne, gōnos* (по)-рождение, *kosmogonia* — происхождение мира), «раздел астрономии, изучающий происхождение и развитие космических тел и их систем (планет и Солнечной системы в целом, звезд, галактик и т. д.)» [Новый..., 2000. С. 564].

«В прошлом, отстоящем на конечный промежуток времени от настоящего момента, Земля находилась и спустя конечный промежуток времени она снова очутится в состоянии, непригодном для обитания человека; если только в прошлом не были проведены и в будущем не будут предприняты такие меры [operations], которые являются несуществимыми при наличии законов, регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире» [Thomson, 1852b; Рус. пер. С. 182].

Г. Гельмгольц в докладе 1854 г. подхватывает эту мысль Томсона и предсказывает Вселенной «тепловую смерть», когда вся механическая энергия превратится в тепло и когда в ней прекратится всякое движение, кроме беспорядочного (см. в разд. 5.3.1 формулировку 3.2). Наконец, Р. Клаузиус подключает к физической концепции эволюции понятие энтропии: энтропия мира, говорит он, стремится к максимуму (разд. 5.6).

Трудно сказать, кто первым обнаружил пропасть между физической и наблюдаемой эволюциями. Во всяком случае, Г. Гельмгольц и Л. Больцман в числе первых заглянули в нее. Гельмгольц [Helmholtz, 1883. S. 972] высказывает в связи с этим, хотя и в довольно туманных выражениях, сомнения относительно применимости второго начала к живым системам. Больцман же не только заглянул в пропасть, но и попытался преодолеть ее с помощью своей флуктуационной гипотезы (см. разд. П. 3.1.2).

Противоречие между физической эволюцией в сторону упрощения и наблюдаемой эволюцией в сторону усложнения в литературе имеет вид *проблемы применимости закона возрастания энтропии*, общепринятого решения которой до сих пор не существует.

Томсон и Гельмгольц, как видим, пришли к идее «тепловой смерти» еще до введения понятия энтропии. Единственное, на что они при этом опирались, — это идея первого из них об «обесценивании» в ходе необратимых процессов механической энергии, причем Томсон мыслил этот процесс протекающим в одну сторону. Поскольку механическая энергия упорядоченного движения, по Томсону, может «сама собой», т. е. некомпенсированным образом, необратимо превращаться в тепловую энергию, но не наоборот, постольку в конце концов вся механическая энергия и перейдет в тепловую, что будет означать прекращение всех и всяческих процессов во Вселенной и, в частности, гибель всего живого.

Полагая, что в природе действует «закон» увеличения общего количества теплоты, Томсон и другие отцы термодинамики, на мой взгляд, ошибались. Из закона возрастания энтропии этого не следует, рост полной энтропии вовсе не предполагает обязательного роста тепловой энтропии, подобно тому как из закона сохранения полной энергии не следует сохранение тепловой. Действующая на Земле тенденция к рассеянию разных форм энергии в виде тепла — это только тенденция, а не закон природы,

возможны и процессы некомпенсированного (без тепловой компенсации) превращения тепла в другие формы энергии. Подробнее об этом будет говориться далее в настоящей главе. А пока заметим, что представления о «законе» возрастания в мире общего количества теплоты служили изначально источником трактовки энтропии как меры беспорядка:

«Энтропия есть мера беспорядка, деградации и дезорганизованности системы. Если теплота отводится от системы, то энтропия ее уменьшается. Вместе с тем увеличивается упорядоченность системы вследствие уменьшения хаотичности теплового движения молекул и атомов» [Кудинов, Карташов, 2000. С. 57].

Тепловая энтропия, т. е. энтропия распределения тепловой энергии (см. соотношения (6.6.3–6) и связанный с ними текст), которая (тепловая энергия) представляет собой кинетическую энергию беспорядочного (хаотического) движения частиц, очевидно, является мерой беспорядка (чем больше тепла, тем больше беспорядка), и потому

укоренению трактовки (полной) энтропии как меры беспорядка способствовало неразведение тепловой и полной энтропий,

о котором шла речь в разд. 6.1.

Благополучно дожив до наших дней, трактовка энтропии как меры беспорядка нещадно эксплуатируется в курсах физики и оригинальных исследованиях. В некоторых работах так и пишут:

$$S = k \log D, \quad (7.2.1)$$

где S — энтропия и D — беспорядок [Lwoff, 1965; Riedl, 1978]². Более того, выйдя за пределы физики, трактовка энтропии как меры беспорядка стала, наверное, самой известной научной идеей XX в, едва ли не в каждом десятом художественном произведении упоминается о «законе энтропии», согласно которому мир идет к хаосу.

Несмотря на общепринятость этой трактовки энтропии, автор этих строк решил поставить ее под сомнение, опубликовав, начиная с 1991 г., серию работ³, в которых доказывает, что для реальных систем, в отличие от отдельно взятого математического распределения, энтропия не является мерой беспорядка.

Подробно трактовка энтропии как меры беспорядка рассматривается в прил. 3. А здесь заметим, что решающие коррективы в соотношение эн-

² См. также [Lloyd, Pagels, 1988; Landauer, 1988]

³ [Haitun, 1991; Хайтун, 1994; 1996. Гл. 9; 1998. Блок 1; 2000а–в; 2001а, б; 2003; 2005а. Гл. 3; 2006. Разд. 1.2]. Как это часто бывает, у автора задним числом обнаружались предшественники — Ю. П. Петров [1970] и К. Денбиг [Denbigh, Denbigh, 1985; Denbigh, 1989; Денбиг, 1995].

тропии и беспорядка вносят взаимодействия самой разной природы — физические, биологические, социальные, — присутствующие в реальных системах.

Энтропия характеризующего реальную систему распределения возрастает только при фиксированных взаимодействиях в системе — при фиксированных их наборе, форме и степени выраженности (интенсивности). Реально же взаимодействия отнюдь не фиксированы, но развиваются вместе с системой.

В ходе эволюционного усложнения реальной системы усложняется и паттерн действующих в ней взаимодействий, появляются всё новые и новые их формы. В ходе распада (упрощения) «смертных» материальных структур упрощаются и паттерны описывающих эти структуры взаимодействий. И то, и другое происходит с ростом энтропии (точнее — с положительным производством энтропии в каждом достаточно большом элементе объема усложняющихся или упрощающихся систем).

Это не только делает несостоятельной трактовку энтропии системы как меры беспорядка, но и означает несостоятельность применительно к наблюдаемому миру концепции конечного равновесного состояния как отвечающего максимальному значению энтропии.

Поскольку, как мы считаем, полная энтропия реальных систем не является мерой беспорядка, постольку с этой стороны сомнения в справедливости закона возрастания полной энтропии отпадают.

7.2.2. Второй источник сомнений: проблема необратимости

XVIII–XIX века были временем нарастающего торжества классической механики, которую успешно распространяли тогда на всё новые области явлений. Когда в середине XIX в. очередь дошла до теплоты, родилась *термодинамика*, т. е. динамическая (механическая) теория теплоты. Создание новой науки следовало начинать, естественно, с пересмотра под «механическим» углом зрения теории тепловых машин, которая была незадолго до того предложена С. Карно [Carnot, 1824] и которая была основана на господствовавших в XVIII и начале XIX вв. представлениях о теплороде. Эта работа и была выполнена Р. Клаузиусом [Clausius, 1850], В. Томсоном [Thomson, 1851] и др. авторами, ставшими основателями новой дисциплины. При этом они сразу же вышли на второе начало термодинамики, первые формулировки которого были даны С. Карно в рамках тех же устаревших представлений о теплороде и которое теперь также следовало перевести на язык классической механики:

«...усилия многих выдающихся физиков и математиков, начиная с Больцмана, были направлены на обоснование закона возрастания энтропии непосредственно из механических уравнений движения системы» [Ансельм, 1973. С. 140].

По-видимому, Л. Больцман и на самом деле начал эту работу первым. Его первая публикация появилась в 1865 г., когда ему был 21 год, и посвящена она была «поведению электричества на искривленной плоскости». Но уже во второй работе, послужившей ему докторской диссертацией, Больцман сразу берет быка за рога:

«Второс... начало занимает совершенно исключительное положение; несмотря на то что неоднократно предлагались его доказательства, все они, как это вполне очевидно, представляют собой окольные пути.

Целью данной статьи является изложение чисто аналитического, полного и всеобщего доказательства второго начала теории теплоты, а также нахождение соответствующего ему начала механики» [Boltzmann, 1866. Рус. пер. С. 9].

Да и называется эта работа красноречиво — «О механическом смысле второго начала теории теплоты». Однако проблема оказалась молодому ученому не по зубам, Больцман, а следом за ним и многие другие авторы столкнулись с неразрешимыми трудностями, известными сегодня под названием *проблемы необратимости*.

Эта проблема, не имеющая общепринятого решения по сей день, состоит в том, что

как на микроскопическом уровне рассмотрения, связанном с уравнениями движения для степеней свободы отдельной механической системы, так и на макроскопическом, связанном с уравнениями для фазовой плотности статистического ансамбля механических систем, уравнения классической механики обратимы (симметричны по времени), тогда как реальные процессы, за редчайшими исключениями, необратимы, что, собственно, и констатируется законом возрастания энтропии.

Напомним, что статистический ансамбль описывается в статистической механике Дж. В. Гиббса симметричным по времени уравнением Лиувилля для фазовой плотности $\rho(q, p)$. Его получают, подставляя уравнения Гамильтона

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad (7.2.2)$$

в уравнение непрерывности для фазовой жидкости

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v) = 0, \quad (7.2.3)$$

что дает теорему Лиувилля

$$\frac{d\rho(q, p, t)}{dt} = 0, \quad (7.2.4)$$

согласно которой фазовая жидкость гамильтоновой системы несжимаема:

$$\rho(q(t), p(t), t) = \rho(q(t'), p(t'), t') = \rho(q', p', t'). \quad (7.2.5)$$

Раскрывая в (7.2.4) выражение для $d\rho/dt$ с использованием при этом уравнений Гамильтона, получаем уравнение Лиувилля

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \sum \left(\frac{\partial \rho}{\partial q_j} \dot{q}_j + \frac{\partial \rho}{\partial p_j} \dot{p}_j \right) = -i \hat{L} \rho, \quad (7.2.6)$$

где \hat{L} — оператор Лиувилля:

$$\hat{L} = -i \sum \left(\frac{\partial H}{\partial p_j} \frac{\partial}{\partial q_j} - \frac{\partial H}{\partial q_j} \frac{\partial}{\partial p_j} \right). \quad (7.2.7)$$

Проблеме необратимости посвящена монография [Хайтун, 1996], поэтому здесь мы изложим наши соображения на этот счет пунктиром. В развитии представлений о соотношении второго начала и гамильтоновой механики можно выделить два этапа.

Первый этап. Здесь преобладала точка зрения, согласно которой второе начало является *следствием* одних лишь механических положений, и задача сводилась, таким образом, к тому, чтобы каким-то образом непосредственно получить его как одну из теорем динамики. Работа шла в трех направлениях, возглавляемых Р. Клаузиусом, Г. Гельмгольцем и Л. Больцманом.

Первое из этих направлений имело своим началом статью Клаузиуса [Clausius, 1871] и основано на *теореме вириала*, которая была сформулирована им годом ранее.

Г. Гельмгольц [Helmholtz, 1884a, b] выдвинул предположение о несимметричности гамильтониана по времени в необратимом случае. Поскольку же гамильтонианы всех известных механике систем симметричны по времени, Гельмгольцу пришлось относить эту несимметричность на счет ненаблюдаемого (скрытого) движения. Гельмгольц [Helmholtz, 1887] сыграл ведущую роль и в формулировке *термокинетического принципа* (в истории которого фигурируют также имена Рэлея (Дж. Стратта), Г. Киркгофа

и П. Дюгема), представляющего собой нсудачную попытку обобщения принципа наименьшего действия на область несорбатимых процессов.

Третье направление первого этапа, связанное с именем Л. Больцмана, оказало на развитие проблемы несорбатимости наибольшее воздействие. В 1872 г. [Boltzmann, 1872] он решает, как ему кажется, проблему, получив кинетическое уравнение, носящее сегодня его имя, и доказав с его помощью H -теорему, т. е. частный вариант закона возрастания энтропии. Чтобы сделать это, он вводит статистическую энтропию (5.5.1), что само по себе является фундаментальным вкладом в науку.

Кинетическое уравнение было получено Больцманом, однако, феноменологическим (или, как иногда говорят, полупеноменологическим) путем, так что его решение проблемы несорбатимости удовлетворяет не всех. В 1876 г. происходит катастрофа — Й. Лoшмидт [Loschmidt, 1876] выдвигает против H -теоремы *парадокс обратимости*, согласно которому после обращения скоростей H -функция также должна изменить направление своего изменения. Парирова это возражение, Больцман предлагает [Boltzmann, 1877a, b] трактовку энтропии как меры (макро)вероятности состояния (см. разд. 5.5.2). Убывание энтропии, связанное с обращением движения, которое допускается симметричными по времени уравнениями механики, говорит Больцман, возможно, но маловероятно.

Дискуссии, однако не прекращаются, принимая всё более ожесточенный характер, в частности, в ходе т. н. Английской дискуссии 1894–1895 гг. с участием Э. П. Калверуэлла, С. Г. Бэрбери, Дж. Г. Бриана и др., которая началась на заседании Британской ассоциации содействия прогрессу науки 1894 г. в Оксфорде с участием Больцмана в качестве почетного гостя и затем вылилась на страницы журнала «Nature» [Больцман, 1984. С. 392–426].

«Моментом истины» для Больцмана стала полемика с учеником и сотрудником М. Планка Э. Цермело [Zermelo, 1896a, b], который выдвинул против H -теоремы *парадокс возвращаемости*, основанный на теореме возврата А. Пуанкаре, и камня на камне не оставил от больцмановского объяснения этого парадокса.

Наиболее существенны три группы аргументов Цермело:

- 1) на статистическом уровне описания также действует симметричная по времени гамильтонова механика, которая и здесь не оставляет места временной асимметрии (Цермело уже знаком с полученным к тому времени Дж. В. Гиббсом [Gibbs, 1884] уравнением Лиувилля);
- 2) флуктуации на кривой роста энтропии (на H -кривой) не отменяют необратимого (несимметричного по времени) характера самой этой кривой;
- 3) симметричные по времени уравнения гамильтоновой механики в принципе несовместимы с описываемыми необратимыми процессами

несимметричными по времени уравнениями типа уравнений диффузии и теплопроводности.

Аргументы Цермело, на мой взгляд, не бьются и сегодня. Больцман же либо не реагирует на них вовсе, либо отвечает не по существу. Наибольшее внимание он уделяет первой их группе, воспринимая, однако, и их не вполне адекватно. Цермело говорит здесь о том, что вероятности, возникающие при описании статистической гамильтоновой системы, могут изменяться лишь симметрично по времени. Больцман же воспринимает эти рассуждения Цермело как покушение на применимость статистического подхода как такового. Из всех аргументов этой первой группы Больцман слышит только тот, на который у него, Больцмана, как ему кажется, есть ответ, выдвигая в ответ на призыв Цермело

«постичь физическое происхождение начального состояния» (выделено Э. Цермело. --- С. X.) [Zermelo, 1896b; Рус. пер. С. 456],

отобранного, по Больцману, вторым началом, свою знаменитую *флуктуационную гипотезу*, согласно которой два направления времени неразличимы, а необратимость оказывается иллюзией. О несостоятельности этой гипотезы говорится в разд. П. 3.1.2, а здесь заметим, что позиция Цермело, который утверждает, что противоречие между механической теорией и вторым началом может быть разрешено только за счет пересмотра этой теории в области необратимых процессов, представляется нам — и здесь мы расходимся с общепринятой сегодня точкой зрения — более близкой к истине, нежели позиция Больцмана, всеми силами стремившегося сохранить классическую (симметричную по времени) механическую теорию и в области необратимых процессов.

Второй этап. Здесь считается, что второе начало может быть получено из положений гамильтоновой динамики, если к ним *добавить* некоторые немеханические предположения. Первым пошел по этому пути Дж. В. Гиббс [Gibbs, 1902. Ch. 12], предложивший в качестве такого дополнительного немеханического предположения операцию фазового *огрубления*.

Идея Гиббса состоит в описании роста фазового объема необратимой системы как происходящего в процессе *перемешивания* [mixing] фазовой жидкости со всё большим ее изрезыванием. Фазовая жидкость мыслится при этом, как того требует теорема Лиувилля (7.2.4) гамильтоновой механики, несжимаемой, а занимаемый ею объем фазового пространства полагается, в соответствии с ростом энтропии, растущим за счет возникновения в этой жидкости связанной сети ускользяще малых лакун. Принимается, что *точная*, или *мелкозернистая* [fine-grained], фазовая плотность, вследствие несжимаемости этой жидкости, подчиняется симметричному по времени уравнению Лиувилля, тогда как *грубая*, или *крупнозернистая* [coarse-graining], фазовая плотность, соответствующая «грубой» фазовой

жидкости с растущим объемом, удовлетворяет тому или иному несимметричному по времени кинстическому уравнению.

Предложенное Гиббсом решение проблемы необратимости, казалось бы, примирило гамильтонову механику с законом возрастания энтропии. Свое согласие с ним вскоре выразил А. Пуанкаре [Poincarè, 1905, 1906], в 1911 г. П. и Т. Эрэнфесты [Ehrenfest, Ehrenfest, 1911] довели решение Гиббса до уровня среднего физика, и развитие физики необратимых процессов покатилося в рамках «нормальных» конкретных дисциплин — кинстической теории, теории флуктуаций и эргодической теории.

При всей внешней убедительности гиббсовой схемы перемешивания давасомое им решение проблемы необратимости следует признать несостоятельным [Хайтун, 1996. С. 104–112; 2007а. С. Разд. 1.3.1]. Коротко говоря, содержащаяся в решении Гиббса ошибка состоит в объединении под одной крышей двух разных физических моделей — модели обратимой системы, описываемой точной фазовой плотностью, и модели необратимой системы, описываемой грубой плотностью. Один и тот же процесс нельзя описывать одновременно симметричной и несимметричной по времени функциями. Или — или. Или мы используем точную плотность, считая процесс обратимым, или грубую, считая его необратимым.

Более того, удовлетворяя несимметричному по времени кинстическому уравнению и потому не удовлетворяя симметричному по времени уравнению Лиувилля, грубая фазовая плотность описывает *негамильтонову* систему. Другими словами, вопреки Гиббсу, сохраняющему в необратимой области гамильтоново уравнение Лиувилля, его решение проблемы необратимости *de facto* отменяет гамильтонову механику в области необратимых процессов.

Другой изъян схемы перемешивания Гиббса связан с ее главной идеей, согласно которой рост энтропии отождествляется с ростом «огигающего» объема «грубой» фазовой жидкости. Для *конечного* времени перемешивания, чтобы констатировать необратимость, фазовые ячейки также придется брать *конечных* размеров. Поскольку размеры ячеек связаны с точностью наблюдения, постольку в решении Гиббса подключается наблюдатель, но подключается он здесь противостественным образом. А именно,

с увеличением точности наблюдения система становится здесь **всё более обратимой**, тогда как в действительности **всё происходит прямо наоборот** — реальные системы с **уменьшением** точности наблюдения выглядят **всё более обратимыми**.

Любой экспериментатор знает, что если какой-то эффект наблюдается с уменьшением точности измерения и исчезает с ее увеличением, то он вносится прибором, являясь *артефактом*, или *иллюзией*. Такой иллюзией и оказывается необратимость в схеме перемешивания Гиббса. Это, конечно, неприемлемо, и мы солидарны с И. Пригожиным, который отвергает

гиббсово решение проблемы необратимости ровно на том основании, что в нем необратимость оказывается

«иллюзией, вызванной несовершенством органов чувств наблюдателя» [Пригожин, 1985. С. 33].

Аналогичные возражения в адрес решения Гиббса выдвигают и другие авторы [Blatt, 1959; Haken, 1977; Covency, 1988].

Впрочем, в гиббсовой схеме перемешивания фазовые ячейки не обязательно брать конечными. Сам Гиббс устремляет их размеры к нулю, *предварительно устремив к бесконечности время перемешивания*. В этом случае возражения, связанные с поставленной на попу операциональностью, отпадают [Зубарев, 1971. С. 24]. Однако на этом пути нас ожидает новая ловушка. Ведь устремив время перемешивания к бесконечности, мы лишаемся возможности описывать необратимую релаксацию к равновесному состоянию, отождествляя грубую фазовую плотность с фигурирующей в кинетических уравнениях. Эти уравнения описывают зависимость фазовой плотности от времени, тогда как гиббсова трактовка необратимого перемешивания из всей этой зависимости оставляет лишь одну — конечную — точку, отвечающую $t = \infty$.

Несостоятельность гиббсова решения проблемы необратимости на основе операции огрубления проявляется в современной теории необратимых процессов самым беспощадным образом. Слова и дела здесь расходятся. Если исследовать, как это было сделано в монографии [Хайтун, 1996] в отношении всех известных автору этих строк выводов кинетических уравнений (из которых затем получают уравнения переноса), каждую цепочку уравнений вывода на симметричность/несимметричность по времени, то обнаружится, что искомая несимметрия по времени появляется в ней вовсе не в том звене, в котором в игру вступает то или иное объявляемое «необратимое» предположение, например операция огрубления, но незаметным для автора данного конкретного вывода образом при выполнении одной из рутинных математических операций типа преобразования координат.

При всем многообразии этих выводов все они сводятся к одному. Исходным является симметричное по времени уравнение гамильтоновой механики, часто — уравнение Лиувилля, иногда — Шрёдингера⁴. Над

⁴ Квантовый аналог теоремы Лиувилля [Хайтун, 1996. С. 27]:

$$\frac{d\rho(x', x, t)}{dt} = 0, \quad \frac{d\dot{\rho}}{dt} = 0. \quad (\text{С. 7.2.1})$$

Квантовый аналог уравнения Лиувилля:

$$\frac{\partial \rho(x', x, t)}{\partial t} = [\rho(x', x, t), \hat{H}], \quad \frac{\partial \dot{\rho}}{\partial t} = [\dot{\rho}, \hat{H}]. \quad (\text{С. 7.2.2})$$

этим исходным уравнением производятся две операции. В ходе первой один из членов исходного уравнения раскладывается в ряд, от которого затем оставляют только первые один-два члена. В результате уравнение перестает быть гамильтоновым, оставаясь пока симметричным по времени. В ходе второй операции в нем отсекается ветвь, отвечающая обратному ходу времени, в результате чего уравнение перестает быть симметричным по времени, окончательно превращаясь в кинетическое уравнение. В рамках гамильтоновой теории такое отсечение не имеет под собой основания и производится, как правило, авторами неосознанно.

К примеру, в самом, быть может, известном выводе кинетического уравнения Больцмана в варианте метода ББГКИ, развитом Н. Н. Боголюбовым [1946], несимметрия по времени появляется после несприметной операции перехода под знаком интеграла к цилиндрическим координатам [Хайтун, 1996. С. 115–121]. Первыми, однако, стали на этот путь А. Эйнштейн [Einstein, 1905] и М. Смолуховский [Smoluchowski, 1906] при выводе уравнения диффузии [Хайтун, 1996. С. 132–136].

То обстоятельство, что современная статистическая теория необратимых процессов выводит свои уравнения из симметричных по времени уравнений гамильтоновой механики, удаляя из них те или другие «обратимые» члены, оказывается для этой теории роковым.

В симметричных по времени уравнениях, описывающих обратимые процессы, нет и в принципе не может быть, ни в явном, ни в скрытом ви-

В квантовой механике различают случаи *чистого ансамбля*, когда фазовая плотность распадается на произведение волновой функции и комплексно ей сопряженной, $\rho(x', x) = \Psi^*(x')\Psi(x)$, и *смешанного ансамбля*, когда сведение фазовой плотности к произведению волновых функций невозможно. Для чистого ансамбля теорема Лиувилля распадается на теорему Лиувилля для волновой функции $\Psi(x, t)$

$$\frac{d\Psi(x, t)}{dt} = 0 \quad (\text{С. 7.2.3})$$

и комплексно ей сопряженную для $\Psi^*(x', t)$. Аналогичным образом в случае чистого ансамбля распадается и уравнение Лиувилля — на уравнение Шрёдингера

$$\frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} \hat{H} \Psi(x, t) \quad (\text{С. 7.2.4})$$

и комплексно ему сопряженное. Являясь, таким образом, частным случаем (гамильтонового) уравнения Лиувилля, уравнение Шрёдингера перестает работать вместе с ним в области необратимых процессов.

Соотношения (С. 7.2.1) и (С. 7.2.3), выражающие квантовую теорему Лиувилля, были выписаны автором этих строк, по-видимому, впервые.

де, «несобратимых» членов, отвечающих за несобратимое превращение разных форм энергии друг в друга. Нет таких членов, в частности, ни в уравнении Лиувилля, ни в уравнении Шрёдингера. Разложение одного из слагаемых исходного «обратимого» уравнения в ряд с последующим отбрасыванием «лишних» членов ряда никак не способствует появлению в уравнении «несобратимых» величин. Не возникают они и после отсечения ветви уравнения, отвечающей обратному ходу времени.

Реально это проявляется в том, что в получаемых выражениях для коэффициентов переноса отсутствуют величины, которые характеризовали бы степень необратимости процессов, из-за чего теория не обеспечивает предельного перехода к обратимому случаю [Хайтун, 1996. С. 89–90].

Таково, например, давашное М. Смолуховским [Smoluchowski, 1906] выражение для коэффициента диффузии

$$D = (a^2 / 6) C \lambda \quad (7.2.8)$$

(C — средняя скорость пробной частицы, λ — средняя длина ее свободного пробега, a — числовой множитель, зависящий от принимаемых Смолуховским конкретных модельных предположений и равный у него 1 или $\sqrt{2}$).

В методе Чепмена—Энскога в первом приближении по плотности газа для коэффициентов вязкости η и теплопроводности κ получают выражения

$$\eta = 1,016 \frac{5}{16} \left(\frac{mT}{\pi} \right)^{1/2} \frac{1}{R^2}, \quad (7.2.9)$$

$$\kappa = 1,025 \frac{75}{64} \left(\frac{k^2 T}{\pi m} \right)^{1/2} \frac{T}{k} \quad (7.2.10)$$

[Чо, Уленбек, 1965. С. 271], где m — масса молекулы, R — ее радиус, T — температура и k — постоянная Больцмана. В равновесном (обратимом) случае все величины, входящие в выражения (7.2.9–10), остаются *отличными от нуля и бесконечности*.

Между тем имеющиеся в распоряжении физики феноменологические и полуфеноменологические результаты позволяют заключить, что коэффициенты переноса в предельном обратимом случае принимают значения

$$D = \infty, \quad \eta = 0, \quad \kappa = 0. \quad (7.2.11)$$

Для коэффициента вязкости это следует, например, из формулы Стокса

$$K = -6\pi R \eta \rho \quad (7.2.12)$$

(в обратимом случае сила трения K , которая действует на шарик радиуса R , движущийся в газе или жидкости со скоростью v , равна нулю). Подставляя $\eta = 0$ в формулу Эйнштейна [Einstein, 1905]

$$D = \frac{R_0 T}{N_0} \frac{1}{6\pi\eta R} \quad (7.2.13)$$

(R_0 — газовая постоянная, N_0 — число Авогадро) для газа броуновских частиц радиуса R , получаем $D = \infty$. Коэффициенты κ и η в том же методе Чепмена-Энскога связывает оправдавшее себя для одноатомных газов выражение

$$\kappa = (15/4)k\eta \quad (7.2.14)$$

[Уленбек, Форд, 1965. С. 140], из которого следует, что в предельном обратимом случае κ достигает нуля одновременно с η .

Как видим, теория не даст сегодня предельных обратимых значений коэффициентов переноса. Это значит, что она

не обеспечивает при постепенном переходе ко всё более обратимым (в частности, равновесным) состояниям роста коэффициента диффузии и уменьшения коэффициентов вязкости и теплопроводности. Поскольку теория дает некорректные предельные обратимые значения этих коэффициентов, постольку она дает некорректные выражения и в общем необратимом случае.

То обстоятельство, что симметричные по времени уравнения в принципе не пригодны для описания необратимых процессов, становится особенно ясным при рассмотрении систем с динамическим хаосом. В их фазовом пространстве возникают стохастические аттракторы, которые делятся на странные и нестранные [Хайтун, 2005а. Разд. П. 5.3]. Странные аттракторы — это и есть фракталы, их особенность состоит в том, что они имеют структуру, не исчезающую при сколь угодно малом масштабе рассмотрения и сколь угодно большом числе фазовых точек. Нестранные стохастические аттракторы структуры не имеют — соответствующая область фазового пространства системы заполняется фазовыми точками случайно [Хайтун, 1996. С. 60; 2005а. Разд. 5.3.3; 2007а. Разд. 3.3.3].

Сравнивая уравнения, генерирующие странные и нестранные аттракторы, автор этих строк обнаружил [Хайтун, 1996. С. 59; 1999; 2005а. Разд. П. 5.3.2; 2007а. Разд. 3.3.2], что первые из них всегда несимметричны по времени (описывают необратимые процессы), тогда как вторые симметричны по нему (описывают обратимые процессы). Это наблюдение, сделанное на основании рассмотрения нескольких десятков приведенных в литературе динамических систем, укрепляет нас в выводе о принципиаль-

ной непригодности симметричных по времени уравнений для описания необратимых процессов. Таким образом,

противоречие между законом возрастания энтропии и классической механикой с ее симметричными по времени уравнениями разрешается в пользу первого из них: в области необратимых процессов закон возрастания энтропии сохраняет свою силу (собственно, для них он и был введен), тогда как гамильтонова механика нуждается здесь в обобщении, с тем чтобы ее уравнения стали здесь несимметричными по времени.

Вариант такого обобщения предложен автором этих строк [Хайтун, 1996. Гл. 5–10; 1998. Блок 4; 2005а. Разд. П. 4.4; 2007а. Гл. 5], но не оно является предметом настоящего исследования.

7.2.3. Авторская аксиоматика закона возрастания полной энтропии

Закону возрастания энтропии иногда приписывается статус *опытного* закона, который имеет право не работать в каких-то областях явлений:

«Принцип энтропии... является опытным положением. Он впитал в себя ряд ситуаций, известных из обыденной жизни... Ауэрбах⁵ ставит вопрос о пределах применимости принципа энтропии... он аргументирует, что принцип энтропии опытный закон и не может иметь силу для бесконечных пространств и времен... должны существовать закономерности или силы, которые действуют против энтропических процессов природы. Хотя энтропический процесс самый главный, не исключено, что эти антиэнтропические действия получают преимущество» [Гельхар, 1994. С. 155–156].

На мой взгляд, это не так. Если закон возрастания энтропии и является опытным, то он представляет собой «физическую проекцию» другого, гораздо более общего опытного закона (см. разд. 6.4.6). Точнее, целой системы — эволюционных — представлений, которые являются результатом обобщения гигантского множества опытных фактов. Если вы пришли к выводу, что наблюдаемый мир эволюционирует в определенном направлении, то для введения энтропии и закона ее возрастания оказывается достаточно постулата о существовании некой величины, которую называют вероятностью (макро)состояния системы и которая возрастает в статистическом смысле в ходе эволюции [Хайтун, 2000а; 2005а. Разд. П. 1.6]. На мой взгляд, этот постулат настолько прост и естествен, что может быть отброшен только с самой идеей эволюции.

⁵ [Ауэрбах, 1913].

Таким образом, если в традиционной схеме закон возрастания энтропии и принцип Больцмана (5.5.7), связывающий энтропию с макровероятностью состояния, разные фундаментальные сущности, то в предлагаемой нами аксиоматике — одна и та же:

- I. Принимая за факт эволюцию материального мира в определенном направлении, постулируем, что любой макроскопический фрагмент материи может быть охарактеризован некоторой величиной, которая является в статистическом смысле *монотонной* (неубывающей или невозрастающей) функцией времени.
- II. Используя при необходимости алгебраические преобразования, считаем эту величину монотонно *возрастающей* (неубывающей) *положительной* величиной. Если, например, величина, введенная в п. I, убывает во времени, берем ей обратную, деля на нее единицу.
- III. Полагаем, что этой монотонно возрастающей положительной величине W может быть сообщен смысл вероятности макросостояния. Считаем, в частности, что в случае независимых материальных подсистем вероятности их состояний перемножаются.
- IV. Рассматриваем пп. I–III как один постулат о существовании макровероятности состояния W , возрастающей в статистическом смысле («в массе») в ходе развития реальных систем и эволюции всего наблюдаемого мира.
- V. Определяем полную энтропию S выражением (5.5.7):

$$S = k \ln W; \quad (7.2.15)$$

логарифм вставляем, чтобы обеспечить энтропии аддитивность (возможность сложения ее значений) в случае независимых материальных подсистем.

- VI. Закон возрастания полной энтропии оказывается *следствием* постулатов I–IV о существовании W и определения S выражением (7.2.15).
- VII. Придавая W смысл макровероятности *энергетического* состояния системы, переходим от (7.2.15) к

$$S = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv = k \ln (\Delta r \Delta v)_U = k \ln W_U, \quad (7.2.16)$$

где $u(r, v)$ имеет смысл плотности вероятности распределения полной энергии по трехмерному пространству (в котором мы живем) и трехмерному же пространству скорости v распространения энергии:

$$\int u(r, v) dr dv = 1. \quad (7.2.17)$$

Здесь r — радиус-вектор, $(\Delta r \Delta r)_U$ — фазовый объем распределения $u(r, v)$; переход от (7.2.15) к (7.2.16) осуществляется обычным для статистической физики путем (см. соотношения (6.5.7–10) и связанный ими текст).

VIII. Заменяя в (7.2.16) плотность вероятности распределения полной энергии $u(r, v)$ на плотность вероятности распределения тепловой энергии $q(r, v)$, получаем определение тепловой энтропии:

$$S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv, \quad (7.2.18)$$

где

$$\int q(r, v) dr dv = 1. \quad (7.2.19)$$

IX. Определение полной энтропии (7.2.16) в случае равновесного идеального газа дает статистическую энтропию Больцмана (5.5.1), определение тепловой энтропии (7.2.18) в случае равновесной тепловой системы — тепловую энтропию Клаузиуса (5.4.7) (см. концовку разд. 6.6).

7.3. Глобальная и локальная формулировки «закона» возрастания тепловой энтропии

Перенесем формулировки закона возрастания энтропии (разд. 5.6) и закона возрастания полной энтропии (разд. 7.1) на «закон» возрастания тепловой энтропии.

В случае неизолированной системы изменение ее тепловой энтропии S_Q состоит из двух слагаемых:

$$\frac{dS_Q}{dt} = \frac{d_i S_Q}{dt} + \frac{d_e S_Q}{dt}. \quad (7.3.1)$$

Здесь $d_i S_Q / dt$ — *производство тепловой энтропии*; отнесенная к единице объема, эта величина представляет собой *локальное производство тепловой энтропии* σ_Q :

$$\frac{d_i S_Q}{dt} = \int \sigma_Q dV. \quad (7.3.2)$$

«Закон» возрастания тепловой энтропии в *глобальной* формулировке:

$$\frac{d_i S_Q(t)}{dt} \geq 0, \quad (7.3.3)$$

в локальной ---

$$\sigma_Q(t) \geq 0. \quad (7.3.4)$$

В случае *изолированной* системы

$$\frac{dS_Q(t)}{dt} \geq 0. \quad (7.3.5)$$

Согласно локальной формулировке «закона» возрастания тепловой энтропии,

скорость возникновения (производство) тепловой энтропии положительна или равна нулю (положительно или равно нулю) в каждый текущий момент времени в каждом макроскопическом фрагменте наблюдаемого мира.

Существенно, что,

если «закон» возрастания тепловой энтропии действительно является законом, то он должен соблюдаться в каждом макроскопическом элементе наблюдаемого мира в каждый текущий момент времени.

Если будет обнаружен хотя бы один случай убывания тепловой энтропии на протяжении некоторого макроскопического промежутка времени (так чтобы это убывание нельзя было списать на флуктуации), то это будет означать, что данный «закон» не действует.

7.4. Проявления «закона» возрастания тепловой энтропии в случае его справедливости

7.4.1. Наступление теплового равновесия в результате выравнивания температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым (случай чисто тепловых процессов)

Как уже говорилось в разд. 5.2, в соответствии с приведенными в нем формулировками второго начала термодинамики, в которых говорится о выравнивании температур, включая переходы тепла от более нагретых тел к менее нагретым (формулировки 1.1–5 и 2.1–2), *в случае чисто тепловых процессов*, т. е. когда в системе выключены нетепловые (гравитационные, электромагнитные и пр.) взаимодействия, распределение температуры ста-

новится со временем более однородным вплоть до установления в ней (в системе) теплового равновесия. Тепловая энтропия (6.6.3)

$$S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv, \quad (7.4.1)$$

при этом, очевидно, растет, как если бы действовал «закон» возрастания тепловой энтропии:

«Таково же происхождение необратимости *при всех тепловых процессах*⁶. Когда тепло переходит от нагретого тела к холодному, это происходит потому, что вероятность осуществления такого состояния, в котором оба тела нагреты до одинаковой температуры, в огромное количество раз превышает вероятность того, что одно тело будет более нагрето, чем другое (выделено мной. — С. Х.)» [Ландау, 1949. С. 122].

7.4.2. Запрет на превращение тепла в другие формы энергии без тепловой компенсации опирается на «закон» возрастания тепловой энтропии

Как это следует из определения тепловой энтропии Клаузиуса $dS = dQ/T$, убывание тепла в ходе его превращения в работу (в другие формы энергии) при температуре T_1 на величину Q_1 сопровождается *уменьшением* тепловой энтропии на величину

$$\Delta S_1 = \frac{Q_1}{T_1} < 0. \quad (7.4.2)$$

Тепловая компенсация этого процесса с передачей при температуре T_2 тепла Q_2 холодильнику сопровождается *увеличением* тепловой энтропии на величину

$$\Delta S_2 = \frac{Q_2}{T_2} > 0, \quad (7.4.3)$$

в итоге же имеем неубывание тепловой энтропии:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0 \quad (7.4.4)$$

(ср. разд. 8.2).

Нетепловая компенсация превращения тепла в работу, с этой точки зрения, невозможна, таким образом, именно потому, что изменение тепловой энтропии оказывается при этом отрицательным:

⁶ Уточнение этого пункта высказывания Л. Д. Ландау см. в начале разд. 7.5.2.

запрет на нетепловую компенсацию превращения тепла в другие формы энергии проистекает из неявного предположения о справедливости «закона» возрастания тепловой энтропии.

Между тем — и это один из центральных тезисов настоящей книги, — такой закон в общем случае несостоятелен.

7.5. Несостоятельность в общем случае «закона» возрастания тепловой энтропии

7.5.1. Несостоятельность в общем случае «закона» возрастания тепловой энтропии как следствие состоятельности закона возрастания полной энтропии

Как говорилось в разд. 6.3, в том, что исторически именуется вторым началом термодинамики, одновременно фигурируют закон возрастания полной энтропии и «закон» возрастания тепловой энтропии. Представляется очевидным, что одновременно два таких закона действовать не могут, один из них придется «убрать», признав несостоятельным. Представленные в литературе сомнения в справедливости закона возрастания полной энтропии мы, рассмотрев их в разд. 7.2, сняли. Приходим к выводу, что

«закон» возрастания полной тепловой энтропии в общем случае не действует, поскольку действует закон возрастания полной энтропии.

Это очень сильный вывод, из которого следует, в частности, заключение о несостоятельности запрета на вечные двигатели 2-го рода. В разд. 7.5.2–5 приводятся дополнительные аргументы в защиту этого вывода.

7.5.2. Ненаступление теплового равновесия в присутствии нетепловых взаимодействий

Приведенное в разд. 7.4.1 высказывание Л. Д. Ландау нуждается в уточнении: выравнивание температур происходит отнюдь не «при всех тепловых процессах». Если в системе, наряду с тепловыми взаимодействиями, имеют место нетепловые, то в принципе возможным становится и переход тепла от более нагретого тела к менее нагретому, а температурное распределение в этом общем случае может установиться неоднородным. Проиллюстрируем это утверждение двумя известными примерами.

7.5.2.1. Возникновение температурного градиента в вертикальном столбе атмосферы из-за гравитационного поля Земли

Распределение температуры в вертикальном столбе атмосферы Земли из-за поля гравитации нашей планеты устанавливается неоднородным. Й. Лошмидт пришел к такому выводу в 1876 г., увидев в нем, следом за Дж. К. Максвеллом, покушение на второе начало термодинамики:

«...кажется разумным взглянуть, что же достоверного выяснила на сегодняшний день новая теория газов по вопросу о тепловом равновесии в вертикальном столбе воздуха, на который действует тяготение.

Критерисм здесь являются основополагающие работы Максвелла, а именно, статья „On the dynamical theory of gases“ (Phil. Mag., 1868, vol. (5) 35, p. 216). В ней говорится так: „Полученный результат говорит о том, что температура газа, который находится в состоянии теплового равновесия, не зависит от высоты. Следствием этого является... необходимость этой независимости температуры от высоты для любого вещества“.

Максвелл допускал это натянутое расширение закона на все вещества, ибо он считал, что *в противном случае делается возможным непрерывное превращение тепла в работу...* в этом заключении я не вижу ничего абсурдного (выделено мной. — С. X.)» [Loschmidt, 1876; Рус. пер. С. 426].

Лошмидту возразил Л. Больцман, доказывавший, что и в поле тяжести градиент температуры в атмосферном столбе отсутствует:

«Таким образом, мы получили в весьма общем виде доказательство того, что распределение состояний, ...при котором средняя живая сила (кинетическая энергия. — С. X.) молекулы во всех точках объема газа одна и та же, не изменяется... действием силы тяготения... То, что имеющиеся в природе газы в действительности удовлетворяют сделанным здесь предположениям, естественно, невозможно доказать математически, однако, если теория газов вообще является обоснованной, это, по меньшей мере, является в высшей степени вероятным» [Boltzmann, 1879; Рус. пер. С. 265].

П. Эрэнфест поддержал Больцмана:

«Еще Больцман... полностью опроверг давнее ошибочное утверждение о том, что в случае газа, находящегося в состоянии теплового равновесия в поле тяготения, средняя кинетическая энергия молекул в нижней части якобы должна быть больше — за счет ускорения сво-

бодного падения, — чем в верхней. Тем не менее это утверждение вновь и вновь появляется на страницах научных журналов... Приходится... снова выступать против этой ошибки, потому что теперь она привела даже к такому выводу: „В этом смысле данная Клаузиусом формулировка второго закона является, таким образом, неверной!“⁷ (выделено мной. — С. Х.)» [Ehrenfest, 1923; Рус. пер. С. 116].

Можно понять беспокойство Максвелла, Больцмана и др., увидевших в вертикальном градиенте температуры в атмосфере Земли противоречие со вторым началом термодинамики, как они его понимали. В самом деле, представим себе вертикальный столб атмосферы в отсутствие гравитации. В соответствии с «законом» возрастания тепловой энтропии, в нем устанавливается тепловое равновесие с выровненной по всему столбу температурой.

Теперь включаем гравитацию. Появление градиента температуры означало бы, во-первых, уменьшение тепловой энтропии (температурное распределение становится менее однородным) и, во-вторых, перераспределение тепла по столбу воздуха с переходом от менее нагретых его участков к более нагретым, что, как казалось Максвеллу и Больцмана, прямо противоречит постулату Клаузиуса, согласно которому теплота не может переходить «сама собой» или «без компенсации» от более холодного тела к более теплему (см. формулировки второго начала 1.1–2 в разд. 5.2). Если вы под «компенсацией» понимаете, как это было принято во времена Максвелла и Больцмана, исключительно *тепловую* компенсацию, то вы и на самом деле оказываетесь в затруднении, ибо гравитация тепловой компенсации не обеспечивает.

Сегодня очень хорошо известно, что в атмосфере Земли вертикальный градиент температуры таки присутствует (см. табл. 7.5.1).

К. Э. Циолковский [1897, 1914] первым оценил вертикальный градиент температуры атмосферы в поле тяжести Земли количественно, однако сделал это не очень корректно; В. Ф. Яковлев [1971, 1976, 1993] продел более точные расчеты. Кратко воспроизведем его выкладки [Яковлев, 1976, С. 313–316].

В вертикальном столбе атмосферы из-за температурного градиента появится вертикальный же поток теплоты снизу (где воздух теплее) вверх. Плотность этого потока теплоты q_H Яковлев записывает уравнением теплопроводности

$$q_H = -\kappa \frac{dT}{dH}, \quad (7.5.1)$$

где H — высота над уровнем Земли и κ коэффициент теплопроводности. Противоположно ему направлен поток механической энергии падения молекул газа под действием силы тяжести в вязкой среде:

⁷ Сноска П. Эренфеста: P. V. Dallwitz-Wegner. "Zs. Phys.". 1923, 15, S. 286.

Таблица 7.5.1

Среднегодовое вертикальное распределение температуры моделей справочных атмосфер на широте 15° [Атмосфера..., 1991. С. 41]

Высота, км	Температура К, градусы Кельвина	Градиент температуры, К/км	Высота	Температура	Градиент температуры
0,00	299,65	-6,0	46,00	272,32	0,0
2,25	286,15	3,2	51,00	272,35	-2,4
2,50	286,95	-6,7	54,00	265,15	-3,0
16,50	193,15	4,0	60,00	247,15	-3,5
22,00	215,15	2,0	66,00	226,16	-3,0
30,00	231,15	2,8	73,00	205,15	-1,0
40,00	259,15	2,2	80,00	198,15	

«Перенос механической энергии тепловым движением определяет вязкость системы... В газах вязкость имеет диффузионную природу, при этом вместе с переносом кинетической энергии происходит перенос потенциальной энергии (в поле тяжести Земли. — С. Х.) частиц» [Там же. С. 314].

Плотность определяемого вязкостью потока механической энергии G_H в поле гравитации:

$$G_H = -\eta \frac{d}{dH} \left(\frac{v_H^2}{2} + \psi \right), \quad (7.5.2)$$

где η — коэффициент динамической вязкости воздуха, v_H — вертикальная компонента скорости его движения, $\psi = gH$ и g — ускорение земного тяготения.

Условие стационарности атмосферы учитываем дважды. Во-первых, берем $v_H = 0$. Во-вторых, полагаем потоки q_H и G_H взаимно уравновешенными:

$$q_H + G_H = 0; \quad \kappa \frac{dT}{dH} + \eta \frac{d\psi}{dH} = 0. \quad (7.5.3)$$

Это даст искомое выражение для вертикального градиента температуры:

$$\frac{dT}{dH} = -\frac{\eta}{\kappa} g. \quad (7.5.4)$$

«Для воздуха при 0°C и $p=1$ атм $\eta=1,72\cdot 10^{-5}$ Па·с, $\kappa=$
 $=2,427\cdot 10^2$ Дж/(м·с·К). Считая $g=9,81$ м/с², найдем

$$\frac{dT}{dH} \approx -7 \text{ (K/км)}.$$

Полученное значение градиента температуры в тропосфере⁸ Земли несколько больше наблюдаемого среднего значения этой величины ($\frac{dT}{dH} \approx -6,5 \text{ K/км}$), что объясняется, в частности, пренебрежением при расчете собственным излучением воздуха, которое создаст дополнительную передачу энергии в сторону уменьшения температуры... Согласно полученным... результатам, выравнивание температуры, а следовательно, и термодинамическое равновесие возможно в объектах, в которых влиянием действия внешних полей можно пренебречь... Именно поэтому воздух в термостатированных баллонах достаточно точно можно считать находящимся в термодинамическом равновесии. Для атмосферы же Земли понятие термодинамического равновесия неприменимо как в механическом отношении..., так и в термическом» [Там же. С. 315–316].

Сегодня возникновение в атмосферном столбе вертикального градиента температуры из-за поля тяжести Земли отрицать невозможно. В целом, в реакции на него разных авторов, от Максвелла до наших дней, можно выделить две составляющие, характерные для «защитников второго начала термодинамики», с одной стороны, и «противников повсеместной применимости второго начала» с другой. Первые защищают второе начало от указанного градиента температуры сначала его отрицанием, затем — ссылкой на неравновесность земной атмосферы:

«Общезвестно... понижение температуры с высотой, что... находится в полном противоречии с требованием постоянства температуры в равновесном столбе газа. Эти, а также ряд других фактов показывают, что атмосфера не находится в состоянии статистического равновесия» [Левич, 1962. С. 456]⁹.

«Рассмотрим тело, находящееся в постоянном (во времени) внешнем поле... Одним из условий равновесия такого тела является... постоянство температуры вдоль тела» [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 93].

⁸ ТРОПОСФЕРА, нижний слой атмосферы Земли высотой в полярных областях 8–10 км, в умеренных широтах до 10–12 км, на экваторе – 16–18 км.

⁹ Аналогичная точка зрения: [Путилов, 1962. С. Фейнман и др., 1977б. С. 260; Сивухин, 1979. С. 279, 284].

Вторые, т. е. «противники» второго начала термодинамики, приходят на этом материале к выводу, что второе начало не является всеобщим физическим законом:

«Постулат Клаузиуса о теплоте говорит: „теплота не может *сама собой* перейти от более холодного тела к более теплomu“¹⁰... Что значит сама собой? ...Клаузиус признает какие-то условия, при которых совершается этот обратный переход. Томсон тоже думает, что вообще теплота не переходит от менее нагретого тела к более нагретому, но при участии одушевленной материи этот переход может (хоть иногда) совершиться... Итак, сами ученые не устанавливают новый закон, потому что, в противном случае, они бы сказали: теплота никогда не может переходить от более холодного тела к более теплomu. А раз теплота то переходит, то не переходит, то и закона никакого нет, а есть наблюдение, часто повторяющееся, по-видимому очевидное, но как будто нарушаемое по словам самих же ученых (выделено К. Э. Циолковским. — С. Х.)» [Циолковский, 1914. С. 5–6].

«...в соответствии с абсолютным характером второго начала термодинамики в макроскопических системах в потенциальных полях во всех веществах температура должна быть постоянной ($T = const$), т. е. независимой от потенциальной энергии этих полей, а температурный градиент $dT/dH = 0$.

В классической теоретической физике и в термодинамике это мнение является господствующим и считается безупречным» [Опарин, 2004. С. 50].

«...всюду, где нельзя пренебречь действием потенциальных полей, в макроскопических системах устанавливается не постоянная температура, а стационарный температурный градиент.

Для поддержания стационарного температурного градиента тепло, вопреки второму началу термодинамики, переходит от более холодных областей с большей потенциальной энергией к более теплым областям с меньшей потенциальной энергией. Таким образом, второе начало термодинамики не является всеобщим физическим принципом, применимым ко всем физическим и химическим процессам при всех возможных условиях, а ограниченным местным законом, справедливым лишь в макроскопических системах, в которых можно пренебречь действием потенциальных полей, в частности, действием поля тяжести» [Там же. С. 54].

¹⁰ См. в разд. 5.2 формулировку 1.1.

Не правы, на мой взгляд, ни «защитники» второго начала, ни его «противники». Первые «защитники» (Максвелл, Больцман, Эренфест) были не правы потому, что,

сводя равновесие к *тепловому* равновесию, а закон возрастания энтропии — к «закону» возрастания *тепловой* энтропии, воспринимали утверждение о ненаступлении теплового равновесия в поле гравитации как покушение на второе начало термодинамики.

Между тем, не будучи несотъемлемой составляющей второго начала, «закон» возрастания тепловой энтропии в общем случае несостоятелен, что и подтверждается тепловым неравновесием атмосферы в поле тяжести Земли. Будучи следствием закона возрастания полной энтропии в случае чисто тепловых процессов, он не «обязан» соблюдаться, когда наряду с тепловыми взаимодействиями присутствуют гравитационные и другие нетепловые взаимодействия.

Более поздние «защитники» второго начала (В. Г. Левич и др.) «виновны» в том, что, признав факт теплового неравновесия атмосферы в поле гравитации Земли, ограничились этим признанием, не сделав отсюда должного вывода о несостоятельности «закона» возрастания тепловой энтропии. И не сделали они этого вывода по той же причине сведения равновесия к тепловому равновесию, а закона возрастания энтропии — к «закону» возрастания тепловой энтропии.

«Противники» же второго начала ошибаются, полагая, что оно не является всеобщим физическим законом. Совершенно определено является.

Следует только четко понимать, о каком законе идет речь. Как будет резюмировано в разд. 7.6, реально у второго начала только две независимые компоненты — вторая (существует асимметрия между процессами превращения нетепловых форм энергии в теплоту, с одной стороны, и превращения теплоты в другие виды энергии — с другой) и четвертая (действует закон возрастания полной энтропии) из пяти названных в разд. 6.3, — и обе эти компоненты являются всеобщими физическими законами, действующими, в частности, и в случае возникновения атмосферного температурного градиента в гравитационном поле Земли.

7.5.2.2. *Ненаступление «тепловой смерти» Вселенной из-за гравитационных и других нетепловых взаимодействий*

Ситуация со Вселенной аналогична только что рассмотренной: Вселенная также не проявляет ни малейших признаков развития в сторону теплового равновесия, и происходит это, как и в случае атмосферы Земли,

из-за участия нетепловых (конкретно — гравитационных) взаимодействий. Научное сообщество изначально реагировало на этот сюжет (Вселенная и тепловое равновесие) неадекватно, не вполне адекватной, на мой взгляд, остается его реакция и по сей день.

В первых формулировках второго начала, касающихся общего вектора эволюции (формулировки 3.1–5 в разд. 5.3.1), господствует мысль о движении мира к состоянию «вечного покоя» и полного теплового равновесия, которое (такое состояние) стали называть «тепловой смертью» Вселенной. Р. Клаузиус подключает к рассмотрению эволюции понятие энтропии: энтропия мира, говорит он, стремится к максимуму (разд. 5.6).

Когда о Вселенной стали знать немного больше, чем знали в середине XIX в., и когда стало ясно, что тезис о ее движении к тепловому равновесию несостоятелен¹¹, то, не усомнившись в применимости традиционных формулировок второго начала в земных масштабах, стали объяснять ошибочность этого тезиса применительно ко Вселенной ее особенностями как физической системы. Таких объяснений было предложено несколько.

Объяснение первое. Согласно флуктуационной гипотезе Л. Больцмана [Boltzmann, 1897, 1895–1898], окружающая нас макроскопическая область Вселенной, в которой наблюдается уход от равновесия, является гигантской флуктуацией, вся же Вселенная равновесна. Сегодня эта гипотеза непопулярна (подробнее см. разд. П. 3.1.2).

Объяснение второе. Понятие энтропии без изложения причин объявляется неприменимым ко Вселенной:

«...не имеет смысла без дальнейших пояснений говорить об энергии или энтропии мира, ибо такие величины вообще не поддаются точному определению» [Планк, 1925а. С. 113].

Объяснение третье, конкретизирующее второе. Закон возрастания энтропии неприменим ко Вселенной из-за ее неизолированности:

«...мир не замкнут в пространстве и времени и не имеет ни начала, ни конца. Поэтому распространять на безграничную Вселенную вывод о возрастании энтропии в замкнутой системе не правомерно, так как вывод о возрастании энтропии справедлив только для замкнутой системы» [Ноздрев, 1967. С. 131–132]¹².

Эта позиция, которую первыми, по-видимому, заняли в 1948 г. авторы теории стационарной Вселенной Ф. Бонди, Т. Голд и Г. Хойл [Rifkin,

¹¹ «Но если мир существует вечно, состояние тепловой смерти уже давно должно было бы наступить! Полученное противоречие получило название термодинамического парадокса астрономии» [Генкин, 1994. С. 6–7]. См. также разд. П. 3.1.1.

¹² Аналогичная точка зрения: [Путилов, 1962. С. 427; Радужский, 1971. С. 103–104; Рейф, 1986. С. 276].

1980. Р. 45], некорректна уже потому, что игнорирует локальную формулировку закона возрастания энтропии, о которой говорилось в разд. 5.6, 7.1 и 7.3¹³.

Объяснение четвертое. Вселенная является нестермодинамической системой:

«Когда в термодинамике мы говорим об изолированной системе, мы имеем в виду такую совокупность тел, на которую извне не производится механических и тепловых воздействий, но для хода доказательств в термодинамике важно, что при желании такие воздействия на систему могут быть произведены. В термодинамике изолированная система — это „часть“, а не „целос“. Звездный мир представляет собой нечто целос: это „изолированная система“ в философском, а не в термодинамическом смысле, это такая изолированная система, которая по самой своей сути никогда не может ни отдавать, ни получать тепло. Стало быть, к звездному миру в целом никак нельзя применять понятия термодинамической системы, и уже по одному этому на мир в целом нельзя распространять теоремы термодинамики» [Путилов, 1962. С. 427]¹⁴.

Объяснение пятое, конкретизирующее четвертое. На больших расстояниях во Вселенной становятся существенными гравитационные поля:

«Представим себе определенную... температуру пространства и вообще Вселенной. Вообразим себе в этом пространстве изолированную светонепроницаемым эфиром массу какого-нибудь газа при той же температуре. Я утверждаю, что температура газа не останется постоянной, несмотря на ее первоначальную равномерность. Наружные ее части охладятся, за счет чего нагреются центральные части. Последние, путем лучеиспускания (если масса теплопрозрачна) и теплопроводности, будут нагревать охлажденные периферические слои, но нарушенная равномерность температур не вполне восстановится. Получится, так сказать, подвижное равновесие, причем окружающее пространство с его веществом (другие небесные тела предполагаются при той же температуре) еще нагреют охлажденные периферические слои, а затем, от этого, повысится еще и температура центральных масс газа,

¹³ Точка зрения И. П. Базарова: «...ошибочность концепции Томсона—Клаузиуса о „тепловой смерти“ Вселенной состояла в необоснованном распространении второго начала термодинамики на всю Вселенную, и не потому, что Вселенная, по мнению многих, не является изолированной системой, а потому, что при этом не учитывается роль гравитации в такой системе. Утверждение о неизолации Вселенной ошибочно. Вселенная в действительности представляет собой единственный пример абсолютно изолированной системы!» [Базаров, 1993. С. 11].

¹⁴ Аналогичная точка зрения: [Квасников, 1991. С. 82].

так что оно извлечет некоторое количество тепла из внешнего пространства.

Причина предполагаемого мною явления «всмирное тяготение» [Циолковский, 1914. С. 7].

«...при рассмотрении больших областей Вселенной важную роль начинают играть существующие в них гравитационные поля.... При этом существенно, что гравитационное поле не может быть само включено в состав замкнутой системы ввиду того, что при этом обратились бы в тождество законы сохранения, являющиеся... основой статистики, Благодаря этому в общей теории относительности мир как целое должен рассматриваться не как замкнутая система, а как система, находящаяся в переменном гравитационном поле; в связи с этим применение закона возрастания энтропии не приводит к выводу о необходимости статистического равновесия» [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 46].

«С учетом тяготения однородное изотермическое распределение вещества не является наиболее вероятным и не соответствует максимуму [тепловой] энтропии. Наблюдения показывают, что Вселенная резко нестационарна» [Физика..., 1999, с. 744]¹⁵.

С пятым объяснением можно было бы и согласиться, если бы, прилагая его ко всей Вселенной или к «очень большим» системам космических масштабов, в нем не отказывали системам земных масштабов:

«...второе начало классической термодинамики справедливо для материальных объектов, имеющих ограниченные размеры. Это начало... нельзя распространять не только на всю бесконечную Вселенную, но даже на значительные области Вселенной, термодинамическое поведение которых в сильной степени определяется гравитационным полем» [Кричевский, 1962. С. 240]¹⁶.

Как было показано в разд. 7.5.2.1, гравитационное поле оказывается существенным при установлении/неустановлении теплового равновесия в земной атмосфере.

Другой недостаток пятого объяснения, связанный с четвертым, состоит в том, что, апеллируя к гравитационным полям, оно исключает из рассмотрения физические взаимодействия иной природы. Когда физикам надо доказать ошибочность явно несостоятельного тезиса о «тепловой смерти» Вселенной, они проявляют понимание того, что состояние теплового равновесия вовсе не самое вероятное, и причиной тому гравитацион-

¹⁵ Апалогичная точка зрения: [Франк-Каменский, 1970. С. 78; Сивухин, 1979. С. 136; Лефевр, 1996. С. 163–164; Пенроуз, 2003. С. 262–263].

¹⁶ Апалогичная точка зрения: [Базаров, 1991. С. 82–83].

ные взаимодействия. Когда же речь заходит о земных явлениях, они почему-то забывают о таких «высоких» материях, между тем как и в обычных условиях действуют взаимодействия – те же гравитационные, электромагнитные, ядерные и пр. Впрочем, это можно понять: от устоявшихся представлений без крайней на то нужды не отказываются.

Этот недостаток пятого объяснения устраняет Е. Г. Опарин при обсуждении, в частности, кольца Лазарева (см. о кольце в разд. 7.5.3):

«Для того, чтобы разрешить парадокс термодинамики, обусловленный самопроизвольным возникновением и поддержанием разности температур и давлений в различных частях сосуда, которые вызывают макроскопическую циркуляцию пара и жидкости, запрещенную вторым началом термодинамики, ...необходимо признать, что *второе начало термодинамики ограничено не только действием потенциальных полей, но и действием молекулярных сил, которые также не учитываются термодинамикой* (выделено мной. — С. Х.)» [Опарин, 2004. С. 122].

Если в масштабах Вселенной тепловое равновесие не наступает из-за дальнедействующих гравитационных взаимодействий, то близкодействующие взаимодействия вполне могут дать (и дают) тот же эффект на Земле. Да и гравитационные взаимодействия не такие уж дальнедействующие, раз они, как отмечалось, приводят на Земле к градиенту температуры в вертикальном атмосферном столбе.

7.5.3. Примеры превращения тепла в другие формы энергии, не сопровождаемого тепловой компенсацией

В литературе можно найти большое количество примеров полного (без тепловой компенсации) превращения тепла в другие формы энергии. К сожалению, не все они достаточно достоверны. Мы отобрали наиболее, на наш взгляд, достоверные из них.

1. Расширение нашей Метагалактики. В ходе расширения нашей Метагалактики после Большого взрыва она вот уже около 13,7 млрд лет остывает:

«Согласно современной теории... Вселенная расширилась из состояния с предельно высокой температурой, постепенно остывая» [Линде, 1984. С. 184].

«Следствием расширения Вселенной является ее охлаждение, носящее очаговый характер и порождающее мириады звезд» [Маркушев, 1999. С. 11].

Здесь говорится об охлаждении *Вселенной*. В авторской космологической картине мира [Хайтун, 2005а. Гл. 6] расширяется, а, следовательно, и охлаждается только наша Метагалактика¹⁷, однако в контексте настоящей книги это несущественно.

Поскольку общее количество тепла в нашей Метагалактике убывает, постольку это превращение тепла в другие формы энергии происходит некомпенсированным образом. Напомним, что для тепловой энтропии Клаузиуса ее изменение $\Delta S = \int dQ/T$ (см. соотношение (5.4.9)), так что убывание количества тепла в нашей Метагалактике влечет за собой уменьшение ее тепловой энтропии.

Можно, конечно, сказать, что формула $\Delta S = \int dQ/T$ применима лишь к (квази)равновесным процессам, каковыми происходящие в нашей Метагалактике процессы заведомо не являются. Но можно зайти и с другой стороны. Считается, что в начале Большого взрыва тепло было распределено в нашей Метагалактике однородно и что с течением времени всё ее устройство становится всё более фрактальным, т. е. неоднородным [Там же]. Это означает, в частности, что всё более неоднородным становится и распределение тепла в нашей Метагалактике, так что ее тепловая энтропия, определяемая формулой (6.6.3) $S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv$, уменьшится во времени.

Заметим, что одновременно с ростом неоднородности нашей Метагалактики (Вселенной) сохраняется ее макрооднородность:

«...надежно установлено, что в масштабах миллиардов световых лет нет заметных неоднородностей в распределении плотности вещества в пространстве, нет сверхсверхскоплений галактик. Это значит, что в таких больших масштабах нет отдельных структурных единиц Вселенной» [Новиков, 1985. С. 158].

«Крупномасштабное распределение галактик статистически однородно в масштабах 100–300 Мпк и более» [Чернин, 2001. С. 1161].

О макрооднородности Вселенной (и нашей Метагалактики) можно говорить, сравнивая фрагменты *равного объема*, и нельзя, сравнивая фраг-

¹⁷ К такому выводу приводит гипотеза, согласно которой *Вселенная фрактальна* и которую разделяет всё большее число космологов, от которых, однако (поскольку я могу об этом судить), ускользает тот факт, что, если Вселенная и на самом деле фрактальна, то — таковы свойства «постоящих» фракталов, к которым относится из-за ее бесконечности и Вселенная — ее «бесконечная» плотность равна нулю, т. е. к нулю стремится плотность любого ее фрагмента при мысленном устремлении его объема к бесконечности. Имея же нулевую плотность, Вселенная не может вся ни расширяться ни сжиматься, это могут делать только отдельные ее фрагменты, одним из которых и является наша Метагалактика.

менты *разных объемов*: с ростом объема сравниваемых фрагментов их плотность резко падает, достаточно же большие фрагменты Вселенной равного объема имеют равные плотности, и тем более равные, чем больше объем сравниваемых фрагментов.

2. **Сужающийся горизонтальный поток идеального газа.** Такой поток по «геометрическим» причинам ускоряется. При перемещении порции жидкости или газа с массой ΔM за время Δt из сечения S_1 , где скорость и плотность потока составляют соответственно v_1 и ρ_1 , в сечение S_2 , где скорость и плотность потока равны v_2 и ρ_2 , в случае непрерывного потока выполняется соотношение

$$\Delta M = \rho_1 S_1 v_1 \Delta t = \rho_2 S_2 v_2 \Delta t, \quad (7.5.5)$$

или

$$\rho_1 S_1 v_1 = \rho_2 S_2 v_2. \quad (7.5.6)$$

Для несжимаемой жидкости ($\rho_1 = \rho_2$) это даст

$$S_1 v_1 = S_2 v_2, \quad (7.5.7)$$

так что непрерывность сужающегося потока может обеспечиваться только его ускорением. В случае газа непрерывность потока может обеспечиваться также локальным увеличением его плотности, однако реально происходит и его ускорение.

Горизонтальным поток полагаем для простоты, чтобы исключить влияние гравитационного поля Земли. Движение потока идеального газа с переменным сечением описывается уравнением Бернулли (6.2.16), показывающим, что ускорение потока сопровождается его охлаждением — кинетическая энергия сужающегося потока газа растет за счет его тепловой энергии. Этот эффект может быть использован для создания нециклической тепловой машины, которая бы собирала рассеянное тепло и КПД которой не был бы ограничен сверху КПД Карно, т. е. вечного двигателя 2-го рода (см. в разд. 10.2 о ветряке Орлова и др.).

3. **Изотермическое расширение газа.** Это явление предварительно обсуждалось нами в разд. 5.7 и 6.2 (в разд. 6.2 — в пп. 1.1.1–3 и 1.2.2). Добавим, что, как это анонсировалось в пп. 1.2.2.1–1.2.2.2 разд. 6.2, характерное для изотермического расширения газа полное (без тепловой компенсации) превращение тепла в работу в принципе может быть использовано для создания тепловой машины:

«...лучше уточнить определение и назвать тепловой машиной теплоизолированную термодинамическую систему, способную совершать работу за счет своей *внутренней энергии*. Кстати говоря, тем самым класс тепловых машин существенно расширяется. В него попадают и

воздушная турбинка, работающая от баллона со сжатым газом, и гальванический элемент, и многое другое (выделено И. Ф. Щеголевым. — С. X.)» [Щеголев, 1996. С. 108–109].

«...воздушная турбинка... работает за счет тепла. Если баллон со сжатым воздухом, вращающим турбинку, находится в хорошем тепловом контакте с окружающей средой, температура газа, а стало быть, и его внутренняя энергия остаются неизменными. Поэтому он совершает работу за счет тепла, которое поглощает от своего окружения¹⁸. Правда, при закачивании газа в баллон мы такое же количество тепла окружающей среде передаем. Но это не меняет сути дела. Мы видим, что вовсе не обязательно сжигать топливо, чтобы превращать тепло в работу» [Там же. С. 109].

Фактически акад. РАН И. Ф. Щеголев рассматривает расширение газа в пустоту (точнее — в среду с небольшим давлением) *с возникновением кинетического потока*, на что расходуется часть внутренней энергии газа (см. в разд. 6.2 п. 1.2). Если эта потеря не компенсируется тепловым контактом со средой, то баллон при истечении из него газа охлаждается, в чем несложно убедиться, прикоснувшись к открытому вентилю рукой (см. в разд. 6.2 п. 1.2.1). Расширение же газа в пустоту *без возникновения кинетического потока* (скажем, в случае квазиравновесного расширения газа в пустоту) происходит без уменьшения внутренней энергии газа, почему при этом охлаждения газа не происходит (процесс носит изотермический характер) даже в отсутствие теплового контакта баллона с газом со средой (см. в разд. 6.2 п. 1.1). Так что

дело не в самом по себе истечении газа из баллона с газом, а в том, что газ истекает при этом из вентиля с большой скоростью.

На создание этого кинетического потока и расходуется тепловая энергия либо самого сжатого газа в баллоне, либо среды, если баллон находится с ней в достаточно плотном тепловом контакте. Именно кинетическую энергию возникающего потока газа потребляет турбинка Щеголева. Это явление имеет ту же природу, что и в случае рассмотренного в предыдущем пункте сужающегося потока газа.

Свой вариант энергетической установки, использующей, по сути дела, это же явление, предлагает Ю. И. Володько (см. в разд. 6.2 п. 1.2.2 и разд. 10.2).

4. Вихри. Вихревое движение чрезвычайно широко распространено в окружающем нас мире:

¹⁸ Сноска И. Ф. Щеголева: «Таким образом, окружающая среда является неотъемлемой частью этой тепловой машины».

«Подавляющее большинство течений жидкости и газа, которые происходят в природе или осуществляются в технике, представляет собой вихревое движение» [Физика..., 1999. С. 78].

Возникновение вихря (урагана, тайфуна, торнадо и т. д.) связано с увеличением кинетической энергии потока, которое, скорее всего, имеет своим источником рассеянное в атмосфере и/или океане тепло:

«Хотя в макроскопическом масштабе турбулентное течение является совершенно беспорядочным, или хаотическим, в микроскопическом масштабе оно высокоорганизовано. Множество пространственных и временных масштабов, на которых разыгрывается турбулентность, соответствует когерентному поведению миллионов и миллионов молекул. С этой точки зрения переход от ламинарного течения к турбулентности является процессом самоорганизации. Часть энергии системы, которая в ламинарном течении находилась в тепловом движении молекул, переходит в макроскопическое организованное движение (выделено мной. — С. Х.)» [Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 195–196].

В пользу точки зрения И. Пригожина и И. Стенгерс говорит эффект Ранка (Ранке), т. е. уменьшение температуры в вихре газа или жидкости по направлению к оси вращения:

«ВИХРЕВОЙ ЭФФЕКТ (эффект Ранка—Хилша, англ. Ranque-Hilsch Effect), эффект разделения газа или жидкости при закручивании в цилиндрической или конической камере на две фракции. На периферии образуется закрученный поток с большей температурой, а в центре — закрученный охлажденный поток, причем вращение в центре происходит в другую сторону, чем на периферии. Впервые эффект открыт французским инженером Жозефом Ранком в конце 20-х годов... В настоящее время реализован ряд аппаратов, в которых используется вихревой эффект, вихревых аппаратов. Это „вихревые камеры“ для химического разделения веществ под действием центробежных сил и „вихревые трубы“, используемые как источник холода» [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82].

Г. В. Скорняков предлагает использовать этот эффект для создания нециклической тепловой машины — вихревой турбины, КПД которой не ограничен сверху КПД Карно (см. разд. 8.5).

5. Переохлажденная жидкость. Этот пример разбирается в разд. П. 3.2.6.

6. Концентрационный элемент Нернста. К сказанному о нем в разд. 6.2 добавим еще два высказывания И. Ф. Щеголева:

«Несодинаковость концентрации электролита в двух половинах сосуда, разделенного полупроницаемой перегородкой, является причиной, приводящей в действие свособразную тепловую машину, называемую концентрационным элементом. Это — источник ЭДС... Полупроницаемая перегородка не пропускает ионы Ag^+ , но прозрачна для ионов NO_3^- , которые из-за неоднородности своей концентрации стремятся диффундировать из правой половины сосуда в левую. Но очень быстро эту диффузию останавливает встречное электрическое поле, возникающее потому, что слева от перегородки накапливается избыток отрицательных зарядов, а справа остается избыток положительных. Из-за наличия этого поля между опущенными в сосуд серебряными электродами устанавливается определенная разность потенциалов, и элемент получает возможность совершать работу по переносу зарядов во внешнем пространстве от одного электрода к другому.

При переносе одного электрона от левого электрода к правому будет происходить следующее: а) один атом серебра левого электрода, отдав электрон, перейдет в виде иона Ag^+ в раствор; б) один ион Ag^+ справа, получив электрон, оседет на электроде; в) один ион NO_3^- для восстановления электрического равновесия перейдет из правой стороны сосуда в левую; *при этом он совершит работу против электрических сил, отбирая тепло от окружающей среды.* В результате в растворе слева станет на одну молекулу $AgNO_3$ больше, а справа — на одну меньше, и система приблизится к состоянию равновесия (выделено мной. — С. Х.)» [Щеголев, 1996. С. 109–110].

«Воздушная... турбина или концентрационный элемент могут перевести в работу всё тепло, которое они получают от окружающей среды, потому что в этих случаях установление равновесия связано с перераспределением молекул в пространстве и не требует передачи тепла (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 115].

7. Гальванический элемент. Его энергетический баланс описывается уравнением Гельмгольца [Ферми, 1973. С. 83]

$$v - T \frac{dv}{dT} = u, \quad (7.5.8)$$

где v — электродвижущая сила (э. д. с.) элемента и $u(T)$ — уменьшение энергии элемента при протекании через него единицы количества элект-

тричества. Как показывает это уравнение, гальванический элемент может поглощать тепло, забирая его из среды:

«Отметим, что если нет теплообмена между элементом и окружающей его средой, то следовало бы ожидать, что $v = u$. Слагасмос $T(dv/dT)$ в (7.5.8) описывает эффект, связанный с поглощением (или отдачей) теплоты элементом из окружающей среды во время протекания электрического тока (выделено мной. — С. Х.)» [Там же].

Если элемент, «настроенный» на поглощение тепла из среды, теплоизолировать, то он будет во время работы охлаждаться.

8. Нелинейный электроконденсатор с диэлектриком между обкладками. В выражении для внутренней энергии нелинейного конденсатора с заключенным между его обкладками диэлектриком присутствуют тепловое, электрическое и смешанное слагаемые:

«...полная внутренняя энергия нашей системы не равняется просто сумме двух частичных энергий: тепловой и электрической; в нее входит еще некоторый добавочный член, зависящий непосредственно от изменения диэлектрической постоянной данной среды с температурой при постоянном объеме» [Голицын, 1893; Цит. по: Голицын, 1960. С. 110].

С этим третьим слагаемым Н. Е. Засв с коллегами [Засв, Жуков, 1987; Засв, 1992; Засв, Спиридонов, 1998] связывают возможность извлечения тепловой энергии среды. Заряжая и разряжая такой конденсатор, они экспериментально, включая калориметрические измерения [Засв, Жуков, 1987; Засв, Спиридонов, 1998. С. 54], установили, что при определенном соотношении параметров установки энергия разрядки конденсатора может превышать энергию зарядки в 1,35 раза:

«Расширена интерпретация петли гистерезиса: она даст информацию о выделении и поглощении как тепловой, так и электрической энергии и их взаимоконверсии. Анализ частных петель гистерезиса показал, что в нелинейных конденсаторах... энергия разрядки может превосходить энергию зарядки... за счет охлаждения диэлектрика конденсатора. Эти выводы подтверждены экспериментально тремя способами измерения на варикондах¹⁹. Такие же результаты по энергетике цикла „Намагничивание—размагничивание“ ожидаются в индуктивностях с ферритами или магнитодиэлектриками...: они также способны преобразовывать энергию окружающей среды в электрическую (выделено мной. — С. Х.)» [Засв, 1992. С. 7].

¹⁹ ВАРИКОНД (от англ. vari(able), переменный и cond(enser) — конденсатор), сегнето-керамический конденсатор с резко выраженной нелинейной зависимостью емкости от приложенного к нему напряжения [http://www.navoprosotveta.net/03/03_449.htm].

«Генерация энергии происходит за счет охлаждения емкости, вызывающего приток тепла из окружающей среды... Совокупность наших результатов свидетельствует о технической возможности использования тепла окружающей среды для генерации электроэнергии с КПД около $1,35^{20}$ (выделено мной. — С. Х.)» [Засв, Спиридонов, 1998. С. 55].

Э. Э. Шпильрайн и А. М. Семенов возражают Н. Е. Засву и Ю. С. Спиридонову, утверждая, что поглощение тепла среды в данном случае невозможно:

«...нелинейность конденсатора, то есть зависимость его емкости C от напряжения на обкладках U или величины сообщенного ему заряда Q , не имеет к рассматриваемому вопросу никакого отношения. Чтобы зарядить такой конденсатор при постоянной температуре, требуется затратить энергию

$$W(Q) = \int_0^Q [Q/C(Q)] dQ. \quad (7.5.9)$$

Уменьшение энергии конденсатора в процессе его *обратимой* разрядки при той же температуре определяется *тем же самым выражением*, в котором лишь следует поменять пределы интегрирования, и, естественно, отличается от исходной величины только знаком... допустим, что емкость конденсатора зависит от температуры (а зависит она или нет от электрических параметров — не имеет значения). Осуществляя его зарядку при одной температуре, а разрядку — при другой, можно построить термодинамический цикл. Несложный анализ показывает, что если емкость конденсатора уменьшается с ростом температуры, он будет работать как тепловая, в противном случае — как холодильная машина. При этом будет проявляться хорошо известный электрокалорический эффект, а вот что касается „электроинверсии“, то она наблюдаться не будет (выделено мной. — С. Х.)» [Шпильрайн, Семенов, 1984. С. 42–43].

²⁰ О КПД, больших единицы, говорят некоторые авторы применительно к энергетическим установкам, потребляющим рассеянное в среде тепло, о которых и идет преимущественно речь в настоящей монографии. На мой взгляд, это вопрос терминологии. Если вы, как это делают указанные авторы, воспринимая тепло среды как «даровое», не включаете его в энергетический баланс, то может оказаться так, что получаемая на выходе установки энергия окажется больше энергии, затрачиваемой на входе (на работу установки), и тогда КПД преизойдет единицу. Если же потребляемое установкой тепло среды включать в энергетический баланс, то КПД установки окажется меньшим единицы, поскольку любая установка работает с потерями энергии.

Ошибка Шпильрайна и Семенова, на мой взгляд, состоит в том, что они считают происходящие в нелинейном электроконденсаторе процессы *обратимыми*, тогда как Засв, как мы видели, делает упор на их *гистерезисный*, т. е. существенно *необратимый*, характер. Кроме того, опровергнуть результаты экспериментальной работы, каковыми являются работы Засва и др., подтвердившие свои выводы, как они утверждают, калориметрическими и иными измерениями, может только экспериментальная же работа, тогда как Шпильрайн и Семенов ограничиваются теоретическими соображениями.

9. Кольцар Лазарева [Лазарев, Кочерова, 1979]. В этой установке используется тот факт, что

«...давление насыщенного пара над каплями малых размеров больше по сравнению с давлением над каплями больших размеров и над плоской поверхностью жидкости... В разных частях системы, включающей поверхности жидкости с разной кривизной, при прочих равных условиях может возникать разность давлений, обусловленная только молекулярными силами» [Опарин, 2004. С. 57].

Кольцар представляет собой вертикально расположенный цилиндр, разделенный пористой перегородкой (у самого М. Ф. Лазарева — керамической). Ниже и выше перегородки налита вода, изопропиловый спирт, бензин или какая-либо иная жидкость, желательнее возможно более летучая. Нижняя порция жидкости покоится на дне цилиндра, так что между ней и перегородкой находится слой воздуха, верхняя — на самой перегородке, так что слой воздуха разделяет жидкость и крышку цилиндра. Через перегородку пропущена трубка, которая изогнута буквой «Г» над верхней порцией жидкости и нижний конец которой опущен в нижнюю порцию жидкости.

Жидкость просачивается через перегородку вниз и из нее вниз же испаряется. Поскольку испарение происходит здесь над выпуклыми менисками жидкости в капиллярах перегородки, постольку давление смеси паров с воздухом внизу выше, чем над плоской поверхностью жидкости вверху. Из-за возникающей разности давлений жидкость по трубке вытесняется снизу наверх и капает из нее на верхнюю порцию жидкости. В результате возникает разность давлений и температур:

«Жидкость в нижней части сосуда нагревается благодаря конденсации пара, а в верхней части сосуда — охлаждается вследствие испарения с выпуклых менисков под пористой перегородкой. Такое изменение температуры в системе соответствует самопроизвольному уменьшению ее [тепловой] энтропии» [Там же. С. 58–59].

Мало того, что возникновение разности температур и давлений в поначалу равновесной системе означает уменьшение ее тепловой энтро-

пии, так еще и падающие капли можно заставить работать, поставив под них миниатюрное мельничное колесо, и тогда кольцар будет охлаждаться, поскольку другого источника энергии, расходуемой на работу, не просматривается.

7.5.4. Уточнение раздела 5.3: компенсация превращения тепла в нетепловые формы энергии может быть нетепловой

Итак, возможность превращения тепла в другие формы энергии без тепловой компенсации, т. е. так, чтобы при этом убывала тепловая энтропия, можно считать доказанной. Доказанным фактом можно считать и то, что такие процессы протекают отнюдь не «сами собой», нуждаясь в определенной компенсации. Обращаясь к разобранным в предыдущем разделе примерам, можно убедиться в том, что всегда, когда это удастся проследить, убывание тепловой энтропии сопровождается ростом какой-либо нетепловой энтропии.

Так, в случае охлаждения нашей Метагалактики при ее расширении убывание тепловой энтропии сопровождается ростом энтропии, связанным с самим фактом ее расширения. Если бы нашу Метагалактику можно было описать как равновесный идеальный газ звезд, то рост ее объемной энтропии описывался бы слагаемым $N \ln(eV/N)$ в выражении для энтропии (6.2.1) или (6.2.3). В точности этим слагаемым описывается рост объемной энтропии идеального газа, компенсирующий уменьшение тепловой энтропии в ходе его изотермического расширения. В случае сужающегося потока идеального газа убывание тепловой энтропии компенсируется ростом слагаемого $-N \ln P$ в выражении для энтропии (6.2.2) или (6.2.4). Примерно такова же ситуация с вихрями, в которых охлаждение потока также компенсируется в отношении энтропийного баланса уменьшением его давления. В случае концентрационного элемента Нернста компенсация убывания тепловой энтропии производится за счет концентрационного слагаемого $-N \ln \rho$ в выражении для энтропии (6.2.17) (см. также соотношение (6.2.18)). Аналогичным образом в гальваническом элементе компенсация происходит за счет химической составляющей энтропии. И т. д.

Наша уверенность в том, что на всякое уменьшение тепловой энтропии, вызванное превращением тепла в другие формы энергии, в каждом конкретном случае отыщется компенсирующее увеличение нетепловой энтропии, базируется на уверенности в повсеместной справедливости закона возрастания полной энтропии, о котором говорилось в разд. 7.1–2 и сомневаться в котором, на мой взгляд, сегодня нет оснований.

Именно разведение «закона» возрастания тепловой энтропии и закона возрастания полной энтропии с признанием состоятельности второго из них

в ущерб первому заставляет нас признать ошибочными до сих пор встречающиеся в литературе формулировки, требующие непременно тепловой компенсации превращения тепла в другие формы энергии, на которых базируются запреты на вечные двигатели 2-го рода (см. разд. 9.1 2).

Нет такого закона, который запрещал бы уменьшение тепловой энтропии, если при этом полная энтропия растет.

Существенно, что закон возрастания полной энтропии соблюдается *в каждый текущий момент времени* (см. соотношения (7.1.3–5) и связанный с ними текст). *В каждый текущий момент времени* должен был бы работать и «закон» возрастания тепловой энтропии, если бы он был справедливым (см. соотношения (7.3.3–5) и связанный с ними текст). Поскольку же можно считать доказанной возможность убывания тепловой энтропии в течение макроскопического промежутка времени (так что это убывание нельзя списать на флуктуации) в целом ряде случаев, постольку можно считать доказанной и несостоятельность «закона» возрастания тепловой энтропии

Вопрос о длительности промежутка времени, в течение которого допустительно убывание тепловой энтропии в предположении справедливости «закона» возрастания тепловой энтропии, окажется существенным в разд. 8.3.

7.5.5. Уточнение раздела 5.3.2: объяснение специфичности тепловой формы энергии

Напомним определения полной энтропии (6.5.4)

$$S = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv \quad (7.5.10)$$

и тепловой энтропии (6.6.3)

$$S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv . \quad (7.5.11)$$

Здесь $u(r, v)$ — плотность вероятности распределения *полной* энергии по трехмерному пространству, в котором мы живем, и трехмерному же пространству скорости ее распространения в этом пространстве; $q(r, v)$ — плотность вероятности распределения в этом же шестимерном фазовом пространстве *тепловой* энергии. Аналогичным образом электромагнитная энтропия может быть определена как энтропия распределения плотности вероятности распределении потока электромагнитной энергии, гравитационная — плотности вероятности распределения плотности потока гравитационной энергии и т. д.

Понятно, что если в данной системе отсутствует тепловая энергия, то ее тепловая энтропия равна нулю; если отсутствует электромагнитная энергия, то равна нулю электромагнитная энтропия; и т. д. Это значит, что

величина парциальной — тепловой, электромагнитной и т. д. — энтропии определяется не только формой распределения плотности потока соответствующей энергии, но и ее количеством в данной системе.

Поэтому превращение некоторой порции энергии формы 1 в энергию формы 2, вообще говоря, влечет за собой уменьшение парциальной энтропии 1 и увеличение парциальной энтропии 2. Изменение плотности потока полной энергии определяется *еще и* количествами разных форм энергии.²¹

Закон возрастания полной энтропии далеко не тривиален. Он говорит, что природа «следит» за балансом именно *полной* энтропии, определяемой распределением полной энергии, но не *тепловой* и никакой иной парциальной энтропии, определяемой распределением тепловой или какой-либо иной парциальной формы энергии. Когда утверждается, что при максимальной энтропии данной системы в ней прекращаются все процессы, то речь также идет о *полной* энтропии, ибо при максимальной *тепловой* или любой иной парциальной энтропии система в общем случае в равновесии не находится.

В соответствии с говорившимся в разд. 6.4.6, закон возрастания полной энтропии регулирует процессы превращения друг в друга разных форм энергии, обозначая результирующий вектор саморазвития взаимодействий в наблюдаемом мире. Однако,

следуя за общим балансом процессов превращения друг в друга разных форм энергии, закон возрастания энтропии ничего не говорит о соотношении в этих процессах разных форм энергий. За это несет ответственность другая компонента второго начала термодинамики.

А именно та, в которой констатируется специфичность тепловой энергии, отличающая ее от всех других форм энергии: если превращение нетепловых форм энергии в тепло не требует никакой компенсации, то превращение тепловой энергии в нетепловые формы энергии нуждается в компенсации, обеспечивающей рост полной энтропии (разд. 5.3.2). Попы-

²¹ Эти соображения говорят также о том, что при определении полной энтропии переход от плотности потока полной энергии $U(r, v)$ к плотности вероятности распределения полной энергии $u(r, v)$ в выражениях (6.5.1–4) не всегда корректен; быть может, более корректно в каких-то случаях (в общем случае?) определение полной энтропии соотношением $S = -k \int U(r, v) \ln U(r, v) dr dv$.

таемся понять, в чем состоит специфика тепловой энергии. Разгадка, на мой взгляд, состоит в том, что

из-за отсутствия у тепловой энергии собственных силовых полей энтропия распределения плотности ее потока, в отличие от ситуации с другими формами энергии, максимальна в случае однородного распределения.

Собственного силового поля нет также у кинетической энергии движения тел, однако тепловая энергия --- это (в статистической механике --- усредненная по ансамблю) кинетическая энергия *беспорядочного* движения частиц, составляющих данную систему:

«ТЕПЛОТА, форма беспорядочного (теплого) движения образующих тело частиц (молекул, атомов, электронов, фотонов и т. д.)» [Физика..., 1999. С. 748].

В. Томсон, однако, считал, что

«свет есть не что иное, как лучистая теплота, периоды колебания которой расположены в определенных пределах» [Thomson, 1852a; Рус. пер. С. 175].

Сегодня эта точка зрения устарела, электромагнитное излучение в общем случае относят к электромагнитной форме взаимодействий (энергии). В общем случае --- потому что фотоны могут совершать беспорядочное движение, и тогда их энергия является тепловой. Таково, к примеру, реликтовое --- электромагнитное --- излучение, заполняющее наблюдаемую часть Вселенной и имеющее среднюю температуру около $2,75\text{ К}^{22}$.

Поскольку у кинетической энергии нет собственного силового поля, постольку рост (тепловой) энтропии распределения плотности потока кинетической энергии сопровождается ростом беспорядка

с преобразованием направленного кинетического движения в беспорядочное и ростом однородности распределения плотности потока теплоты.

²² «РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, одна из составляющих общего фона космического электромагнитного излучения... распределено по небесной сфере и по интенсивности соответствует тепловому излучению абсолютно черного тела при температуре около 3 К. В ходе космологического расширения Вселенной температура горячей плазмы и находящегося с ней в термодинамическом равновесии излучения падала. При достижении температуры $\sim 4000\text{ К}$ произошла рекомбинация протонов и электронов, после чего равновесие образовавшегося нейтрального вещества (водорода и гелия) с излучением нарушилось --- кванты излучения уже не обладали необходимой для ионизации вещества энергией и проходили через него, как через прозрачную среду. Температура обособившегося излучения продолжала падать и к нашей эпохе составила около 3 К.» [Физика..., 1999. С. 634-635].

Для нетепловых форм энергии, обладающих собственными полями взаимодействий рост, ситуация иная,

любая нетепловая форма энергии — из-за силовых полей — отвечает некоторому упорядоченному состоянию материи. Поэтому уменьшение нетепловой энтропии, связанное с превращением в теплоту некоторого количества данной нетепловой формы энергии, оказывается меньшим, чем соответствующее увеличение тепловой энтропии.

Это и есть та причина, по которой при самопроизвольном превращении некоторого количества любой формы нетепловой формы энергии в теплоту полная энтропия системы растет, при обратном же переходе — уменьшается, почему и должно быть компенсировано какими-то дополнительными процессами, обеспечивающими рост полной энтропии.

Читатель может спросить: если процессы превращения нетепловых форм энергии в тепло, в отличие от обратных им процессов превращения тепла в нетепловые формы энергии, и на самом деле не требуют никакой компенсации, то почему эта асимметрия не ведет в конце концов к преобладанию в наблюдаемом мире тепловой энергии над нетепловыми? Возможный ответ, на мой взгляд, таков: да потому и не ведет, что для всех нетепловых форм энергии — из-за их силовых полей — порядок преобладает над беспорядком, и только в их взаимоотношениях с тепловой формой энергии беспорядок доминирует над порядком. Результат налицо: из двух асимметрий побеждает более масштабная.

7.6. Уточнение раздела 6.3: у второго начала термодинамики только две независимые компоненты

В разд. 6.3 мы выделили в том, что исторически имснуется вторым началом термодинамики, пять компонент:

- 1) в чисто тепловых процессах происходит выравнивание температур, включая переход тепла от более нагретых тел к менее нагретым;
- 2) существует асимметрия между процессами превращения нетепловых форм энергии в теплоту, с одной стороны, и превращения теплоты в другие виды энергии — с другой: первые, в отличие от вторых, не требуют компенсации;
- 3) для равновесного (обратимого) случая может быть введено равенство $dS = dQ/T$, которое является здесь определением (тепловой) энтропии;
- 4) действует закон возрастания полной энтропии;
- 5) действует «закон» возрастания тепловой энтропии.

У нас теперь имеется общес — неравновесное — определение тепловой энтропии (6.6.3), дающее в равновесном случае выражение $dS = dQ/T$ (см. концовку разд. 6.6) и тем самым делающее лишней третью компоненту второго начала. Пятую компоненту мы убираем из-за продемонстрированной в разд. 7.5 несостоятельности в общем случае «закона» возрастания тепловой энтропии, о котором можно говорить только в частном случае чисто тепловых процессов, когда он является следствием закона возрастания полной энтропии, и следствием которого в этом частном случае является первая компонента второго начала. Убрав, таким образом, три из пяти компонент и переставив местами две оставшиеся, получаем две независимые компоненты второго начала термодинамики:

- 1) действует закон возрастания полной энтропии;
- 2) существует асимметрия между превращениями нетепловых форм энергии в тепло, с одной стороны, и превращениями теплоты в другие формы энергии — с другой: первые, в отличие от вторых, не требуют компенсации; эта асимметрия имеет причиной отсутствие у тепловой энергии собственных силовых полей и их наличие у других форм энергии; указанная компенсация состоит в обеспечении роста полной энтропии, тепловая же энтропия расти не обязана.

Излюбленный аргумент защитников вечных двигателей 2-го рода — ограниченность второго начала термодинамики²³. Позиция автора этих строк иная. Я считаю, что

второе начало термодинамики — это закон природы, действующий, если исключить микроскопические флуктуации, всегда и везде безо всяких ограничений.

Другое дело, что надо правильно прочитать этот закон природы, уточнив его формулировки.

Недоразумения с этим законом, к которым я отношу и запрет на вечные двигатели 2-го рода, возникли из-за размытости его формулировок,

прежде всего — из-за неразведения тепловой и полной энтропии, отчего наряду с законом возрастания полной энтропии неявно считался (и зачастую считается поныне) действующим и «закон» возрастания тепловой энтропии. Предлагаемое сведение пяти компонент второго начала термодинамики к двум позволяет, на мой взгляд, сохранив повсеместный характер его применимости, устранить связанные с ним недоразумения.

²³ См., например, название книги Е. Г. Опарина [2004]. См. также в конце разд. 7.5.2.1 о позиции «противников» второго начала термодинамики и в разд. 8.6 об отношении к нему Г. В. Скорнякова и С. Н. Дунаевского.

ГЛАВА 8

Классические тепловые машины и второе начало термодинамики

Выполненный в гл. 5–7 анализ второго начала термодинамики вооружил нас необходимыми средствами для рассмотрения классической тепловой машины. Мы постараемся убедить читателя в том, что, вопреки установившейся точке зрения, необходимость для такой машины холодильника является следствием не второго начала, но ее конструктивных особенностей -- (1) цикличности и (2) определенного устройства рабочего тела (однофазная система, например, однородный газ).

8.1. Теория Карно: возникновение идеи обязательности холодильника для тепловой машины из ошибочного тезиса о неуничтожаемости теплорода

Современная теория тепловых машин базируется на теории С. Карно [Carnot, 1824]. Центральным в ней является тезис, согласно которому любая тепловая машина имеет не только нагреватель, но и холодильник, получающий часть тепла, производимого нагревателем. Наличие холодильника автоматически снижает КПД тепловой машины η , определяемый как отношение произведенной работы к затраченной энергии и иногда называемый в случае тепловой машины термическим КПД¹:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_0}{Q_1} = 1 - \frac{Q_0}{Q_1}, \quad (8.1.1)$$

¹ «Термическим КПД цикла называется отношение работы цикла к количеству тепла, подведенного к рабочему телу в цикле» [Кириллин и др., 1979. С. 48].

где Q_1 — тепло, полученное за цикл тепловой машиной от нагревателя, Q_0 — тепло, переданное за цикл холодильнику.

Заслужой Карно является доказанная им теорема, согласно которой КПД любой тепловой машины, имеющей холодильник, не может превышать значения (КПД Карно)

$$\eta_{\text{КАРНО}} = \frac{T_1 - T_0}{T_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1}, \quad (8.1.2)$$

где T_1 — температура, при которой тепло Q_1 забирается у нагревателя, T_0 — температура, при которой тепло Q_0 передается холодильнику, $T_1 > T_0$.

Из-за чрезвычайной важности тезиса о наличии у любой тепловой машины холодильника для судьбы вечных двигателей 2-го рода посмотрим, как Карно к нему приходит. Начинает он с выражения претензий на всеобщность своего анализа:

«Чтобы рассмотреть принцип получения движения из тепла во всей его полноте, надо его изучить независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам², каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него ни производилось воздействие» [Carnot, 1824; Рус. пер. С. 19].

Однако чуть далее в предварительном описании паровой машины он в качестве само собой разумеющегося элемента включает холодильник:

«Мы будем в последующем предполагать знание, хотя бы приблизительное, различных частей, составляющих обычную паровую машину. Поэтому мы считаем излишним объяснять, что такое топка, паровой котел, паровой цилиндр, поршень, холодильник и т. д.» [Там же. С. 19–20].

Доказательство обязательного присутствия в любой тепловой машине холодильника следует далее:

«Получение движения в паровых машинах всегда сопровождается одним обстоятельством... Это обстоятельство есть восстановление равновесия теплорода, т. е. переход теплорода от тела, температура которого более или менее высока, к другому, где она ниже... Теплород, полученный в топке благодаря горению, проходит через стенки

² Сноска Карно: «Мы различаем здесь паровые машины и тепловые машины вообще: последние могут употреблять любой агент, например водяной пар или что-нибудь другое, для развития движущей силы».

котла, даст рождение пару и с ним как бы соединяется. Пар увлекает его с собой, несет сперва в цилиндр, где он выполняет некоторую службу, и оттуда в холодильник, где, соприкасаясь с холодной водой, пар сжижается. Холодная вода холодильника поглощает в конечном счете теплород, полученный сгоранием. Она согревается действием пара, как если бы была поставлена непосредственно на топку. Пар здесь только средство переноса теплорода... В процессах, которые мы описали, легко узнать восстановление равновесия теплорода, его *переход от тела более или менее нагретого к телу более холодному*. Первое из этих тел — сожженный в топке воздух (?! — С. Х.), второе — вода холодильника. Восстановление равновесия теплорода происходит между ними, если не полностью, то, во всяком случае, отчасти, так как, с одной стороны, сожженный воздух, выполнив свою роль, побыв в соприкосновении с котлом, уйдет в трубу с температурой более низкой, чем та, которую он получил при сгорании, и, с другой — вода холодильника, оживив пар, удалится из машины с температурой более высокой, чем она имела первоначально.

Возникновение движущей силы обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, а его переходу от горячего тела к холодному, т. е. восстановлению его равновесия, — равновесия, которое было нарушено некоторой причиной, будь то химическое действие, как горение, или что-нибудь другое. Мы увидим, что этот принцип приложим ко всем машинам, приводимым движением теплотой.

Согласно этому принципу, *недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы: нужно еще добыть холод* (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 20].

Первый источник ошибочного тезиса об обязательном присутствии у всякой тепловой машины холодильника. Как видим,

наличие холодильника у всякой тепловой машины С. Карно выводит из абсолютно ошибочного тезиса о неуничтожаемости теплорода.

Если понимать Карно буквально, то потребление теплорода подобно потреблению энергии. Потребляя энергию, мы ведь не уничтожаем ее, но только превращаем одну ее форму в другую (разд. 1.2, т. I). Потребление теплорода, говорит Карно, означает не его уничтожение, но лишь переход от более теплого тела к менее теплему. Вот это менее теплое тело и является, по Карно, холодильником, обязательно присутствующим в любой тепловой машине.

Отбросив теорию теплорода, шедшие следом за Карно классики термодинамики оставили в силе его вывод о наличии у вся-

кой тепловой машины холодильника, сделав отсюда вывод о невозможности вечных двигателей 2-го рода,

сиречь тепловых машин, черпающих рассеянное тепло среды и не имеющих при этом холодильника (см. определение вечного двигателя 2-го рода в разд. 9.1–2). Всё это в высшей степени странно, потому что, превращаясь в другую форму энергии, *тепло перестает существовать как тепло*. В терминологии Карно можно было бы сказать, что потребление теплорода означает его уничтожение:

потребление тепла носит принципиально иной характер, чем потребление мифического теплорода; потребляя тепло, мы его уничтожаем, что — в логике Карно — делает холодильник необязательным.

Е. Г. Опарин, верно отметив этот слабый пункт теории Карно, формулирует свои претензии к нему, на мой взгляд, недостаточно точно:

«...существующая теория преобразования тепла в работу, по существу, основана лишь на одной *субъективной ложной идее Карно*, заключающейся в том, что преобразование тепла в работу („получение движения из тепла“) возможно лишь при переходе теплорода (тепла или энергии) от более нагретого тела к менее нагретому (выделено Опариным. — С. Х.)» [Опарин, 2004. С. 95].

Неточность состоит в том, что идея неуничтожимости теплорода — только один из трех источников ошибочного тезиса об обязательности холодильника для всякой тепловой машины. Не говоря уже о том, что характеристика «субъективная» к идее Карно никак не подходит, т. к. мысль о неуничтожимости теплорода была в его времена общепринятой.

Второй источник ошибочного тезиса об обязательном присутствии у всякой тепловой машины холодильника. Последователи Карно не отбросили вместе с теплородом его (ошибочное) доказательство того, что всякой тепловой машине нужен холодильник, по той простой причине, что и Карно, и другие классики термодинамики XIX в. рассматривали только и исключительно *циклические* тепловые машины:

«Согласно очевидному принципу, однако, впервые по предложению Карно введенному в теорию движущей силы теплоты, *можно только в том случае утверждать, что механическая работа получена исключительно из теплового источника, когда к концу процесса все примененные для этого тела находятся в точности в тех самых физических и механических условиях, в каких они были к началу процесса...* Серию движений, проведенных в подобной машине за период, к концу которого тела возвращаются в точности к тому состоянию, в каком они находились в начале периода, мы будем называть

полным циклом его операций. Следовательно, всякий раз, когда будет идти речь „о работе, сделанной“ или „о механическом эффекте, произведенном“ термодинамической машиной, следует понимать, что... здесь имеют в виду механический эффект, полученный либо от неизменяющейся машины, либо за один полный цикл или за некоторое число полных циклов от периодической машины (выделено мной. — С. Х.)» [Thomson, 1851; Рус. пер. С. 163–164].

«Термодинамическими циклами называют такие замкнутые процессы изменения состояния рабочего тела, посредством которых тепловая энергия превращается в механическую или, наоборот, механическая — в тепловую заданного потенциала. При этом рабочее тело постоянно возвращается в свое первоначальное состояние» [Андрющенко, 1977. С. 7].

Построив свою теорию на материале только циклических тепловых машин, Карно и другие классики термодинамики некорректно распространили свои выводы на все тепловые машины.

И по сию пору термодинамика отдаст приоритет рассмотрению циклических тепловых машин. Более того, тезис об обязательности для таких машин холодильника даже вошел в некоторые формулировки второго начала термодинамики.

Формулировки второго начала, в которых фигурирует циклическая тепловая машина:

1. «Невозможно построить периодически действующую машину, вся деятельность которой сводится к поднятию тяжести и охлаждению теплового резервуара» [Планк, 1925а. С. 97]³.
2. «Невозможно сконструировать периодически действующую машину, которая полностью превращала бы тепло, отнятое от нагревателя, в работу» [Анссльм, 1973. С. 134]⁴.
3. «Невозможно осуществление цикла теплового двигателя без переноса некоторого количества теплоты от источника тепла с более вы-

³ Аналогичные формулировки: [Путилов, 1939. С. 6; Ермиц, 1978. С. 78; Кириллин и др., 1979. С. 53; Сивухин, 1979. С. 91–92; Квасников, 1991. С. 68; Физика..., 1999. С. 751]. Эту формулировку М. Плавка часто приписывают В. Томсону. Непосредственно такого утверждения у Томсона нет (во всяком случае, в грех его статьях, опубликованных на русском языке [Thomson, 1851, 1852a, b]), однако у него имеются два высказывания на соседних страницах, сводящиеся к нему в совокупности. Первое высказывание Томсона, в котором утверждается, что всякая тепловая машина является циклической, только что было процитировано в основном тексте. Второе его высказывание — это формулировка второго начала 1.7 в разд. 5.3.

⁴ Аналогичная формулировка: [Dunning-Davis, 1969].

сокой температурой к источнику с более низкой температурой» [Андрющенко, 1975. С. 39]⁵.

Циклическим тепловым машинам холодильник и на самом деле необходим, однако

это объясняется не действием второго начала термодинамики, но необходимостью возвращения рабочего тела в исходное состояние.

Обоснованию этого тезиса посвящены разд. 8.2–5.

Третий источник тезиса об обязательном присутствии у всякой тепловой машины холодильника. В разд. 8.6 выяснится, что холодильник не обязателен даже и для возвращения рабочего тела циклической тепловой машины в начальное состояние и что такая необходимость возникает лишь в случае «простого» рабочего тела, когда оно представляет собой однофазную систему, например, однородный газ.

Если же в качестве рабочего тела используется двухфазная система жидкость — газ, то цикл удастся замкнуть и без участия холодильника,

возвращая часть тепла нагревателю (!), вместо того чтобы безвозвратно отдавать его холодильнику.

Неявное предположение о том, что рабочее тело всякой тепловой машины представляет собой однофазную систему, и является третьим источником обсуждаемого ошибочного тезиса.

8.2. Теория Клаузиуса: тепловая энтропия за цикл классической тепловой машины растёт

Первым энтропийный анализ циклической тепловой машины произвел Р. Клаузиус [Clausius, 1865], введя при этом понятие (тепловой) энтропии (см. разд. 5.4 и 5.6). Мы проведем такой анализ, следуя Ф. Рейфу [1986], который, как и Клаузиус, обходится без привязки к конкретному термодинамическому циклу — Карно, Ранкина, Брайтона или какому бы то ни было другому, — но, в отличие от Клаузиуса и большинства других авторов, максимально четко говорит, об энтропии *каких элементов* тепловой машины идет речь.

Прежде всего заметим, что, как говорилось в разд. 5.6 (см. соотношение (5.6.4) и связанный с ним текст),

⁵ Аналогичные формулировки: [Куни, 1981. С. 129; Фен, 1986. С. 128].

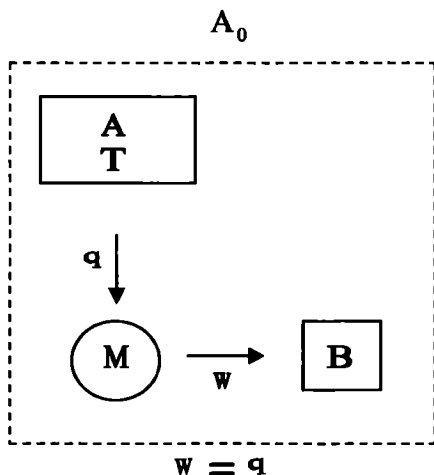


Рис. 8.2.1. Идеальная машина A_0 состоящая из движущегося механизма M , системы B , над которой производится работа, и единственного теплового резервуара A , от которого отбирается тепло [Рейф, 1986. С. 278]

энтропийный баланс циклической тепловой машины проводится не для рабочего тела тепловой машины, но для всей совершающей работу системы, поскольку энтропия рабочего тела за цикл не изменяется.

Попробуем сначала, следуя Рейфу, построить циклическую тепловую машину без холодильника (рис. 8.2.1). Она представляет собой изолированную систему A_0 , включающую в себя движущийся механизм M , систему B , над которой производится работа, и нагреватель A с температурой T .

За цикл наша машина забирает из теплового резервуара A некоторое количество тепла q (при этом внутренняя энергия резервуара уменьшается на q), используя эту теплоту q для совершения над системой B некоторой работы w . Закон сохранения энергии требует, чтобы выполнялось равенство $w = q$.

«...резервуар A поглощает за цикл количество теплоты $-q$, что соответствует уменьшению энтропии резервуара на величину

$$\Delta S = -\frac{q}{T}. \quad (8.2.1)$$

Это единственное происшедшее за цикл изменение энтропии в составной изолированной системе A_0 ... такую... машину невозможно

построить... Если мы хотим добиться успеха в превращении некоторой части внутренней энергии резервуара A в работу, мы должны... произвести компенсацию уменьшения энтропии... Для этого следует ввести дополнительную систему A' , с которой система A_0 ... могла бы взаимодействовать. Возьмем в качестве A' некоторый тепловой резервуар при температуре T' . Пусть взаимодействие этого резервуара с системой A_0 заключается в том, что резервуар поглощает в течение цикла некоторое количество теплоты q' . При этом энтропия системы S' возрастает на величину

$$\Delta S' = \frac{q'}{T'}. \quad (8.2.2)$$

Для достижения желаемой компенсации энтропии необходимо, чтобы изменение энтропии сложной изолированной системы S^* , состоящей из систем A_0 и A' , удовлетворяло условию

$$\Delta S^* = \Delta S + \Delta S' \geq 0. \quad (8.2.3)$$

...Мы пришли... к возможному общему устройству двигателя, показанному на рис. 8.2.2... условие (8.2.3), если принять во внимание (8.2.1) и (8.2.2), приобретает вид

$$\Delta S^* = -\frac{q}{T} + \frac{q'}{T'} \geq 0. \quad (8.2.4)$$

Далее, из закона сохранения энергии следует, что работа, производимая двигателем на цикл, равна

$$w = q - q'. \quad (8.2.5)$$

...Подставляя (8.2.5) в (8.2.4), находим

$$-\frac{q}{T} + \frac{q-w}{T'} \geq 0, \quad \frac{w}{T'} \leq q \left(\frac{1}{T'} - \frac{1}{T} \right),$$

$$\frac{w}{q} \leq 1 - \frac{T'}{T} = \frac{T-T'}{T}. \quad (8.2.6)$$

...Отношение

$$\eta \equiv \frac{w}{q} = \frac{q-q'}{q} \quad (8.2.7)$$

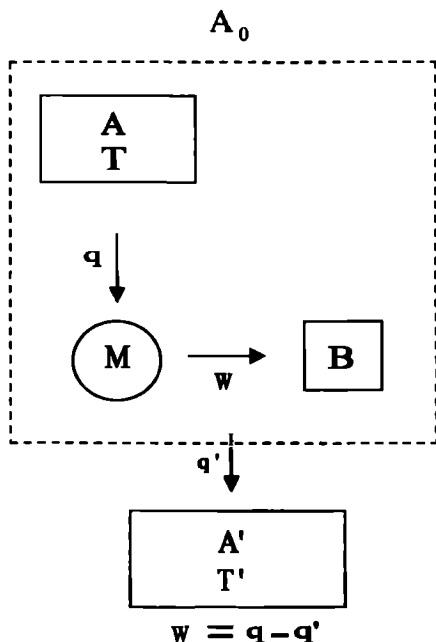


Рис. 8.2.2. Реальная машина состоит из системы A_0 (см. рис. 8.2.1), соединенной с дополнительным тепловым резервуаром A' , термодинамическая температура которого меньше температуры теплового резервуара A [Рейф, 1986. С. 280]

называется *коэффициентом полезного действия* (КПД) двигателя. Для совершенного двигателя (в данном случае это включает: без холодильника. — С. Х.) КПД был бы равен единице, а для реальных двигателей он меньше единицы. Формула (8.2.6) дает значение максимально возможного КПД тепловой машины, работающей между двумя тепловыми резервуарами с заданными термодинамическими температурами:

$$\eta \leq \frac{T - T'}{T} \quad (8.2.8)$$

[Рейф, 1986. С. 279–280].

Как видим, в приведенном энтропийном анализе работы циклической тепловой машины фигурирует исключительно *тепловая энтропия*, изменение которой определяется изменением количества тепла и температурой: $dS = dQ/T$. Исключительно тепловая энтропия, как мы видели в разд. 5.4 и 5.6, фигурировала и у Клаузиуса, об исключительно тепловой

энтропии идет речь при анализе работы тепловой машины и у других авторов. Таким образом,

обязательность холодильника для циклической тепловой машины в теории Клаузиуса выводится из требования положительности изменения за цикл работы тепловой энтропии такой машины.

Поскольку же, как было показано в разд. 7.5, тепловая энтропия расти не обязана, обязателен же рост только *полной* энтропии, постольку рост тепловой энтропии за цикл работы классической тепловой машины обеспечивается чем-то другим. Возникает естественный вопрос: чем?

8.3. Рост тепловой энтропии за цикл классической тепловой машины обеспечивается не вторым началом, а ее (такой машины) циклическостью

Тот факт что «закон» возрастания тепловой энтропии и на самом деле не играет в работе циклической тепловой машины никакой роли, может быть показан и непосредственно. Дело в том, что

на стадии расширения рабочего тела (газа под поршнем) классическая тепловая машина преобразовывает в работу всё тепло, полученное этим телом от нагревателя, т. е. делает это без тепловой компенсации.

Фактически именно эту ситуацию имеют в виду М. Планк, Э. Ферми и др. авторы, обсуждающие изотермическое расширение газа, о котором шла речь в разд. 5.7. Другие авторы курсов термодинамики также легко признают этот факт:

«Неполная трансформация тепла в работу имеет место только при непрерывном превращении его в периодически действующей машине. Однократное изотермическое превращение совершается полностью (выделено мной. — С. Х.)» [Зарафянц, 1935. С. 12].

«Если... подвергнуть... газ адиабатическому (без теплообмена со средой. — С. Х.) расширению в идеальном двигателе..., то... всё тепло, полученное рабочим телом от нагревателя, оказывается преобразованным в работу и никакой передачи тепла холодильнику не происходит (выделено мной. — С. Х.)» [Шамбадаль, 1967. С. 29–30].

«... в нециклическом процессе полное превращение теплоты в работу вполне возможно... Это имеет место, например, в изотермическом процессе идеального газа» [Техническая..., 1992. С. 40].

Поразительно, но авторы курсов не видят в таком «однократном» полном (без тепловой компенсации) превращении тепла в работу никакого конфликта со вторым началом термодинамики в его каноническом прочтении. Второе начало, утверждают они, соблюдается *за весь цикл работы тепловой машины, включая возвращение рабочего тела в начальное состояние*. Это возвращение требует передачи тепла холодильнику в количествах, компенсирующих превращение тепла в работу на стадии расширения рабочего тела:

«Для функционирования теплового двигателя, превращающего тепловую энергию в механическую, необходимо... рабочее тело, которое, изменяя свое состояние в процессе расширения, совершало бы полезную работу. Чтобы двигатель работал непрерывно, расширение нужно скомпенсировать сжатием... Для этого необходимо отводить тепло от рабочего тела холодильному источнику. Охлаждение рабочего тела и представляет собой компенсацию, без которой невозможно непрерывное превращение теплоты в работу (выделено мной. — С. Х.)» [Техническая..., 1992. С. 37–38].

«...надо рассматривать не только преобразование тепла в работу в единичном акте, а непрерывное (и бесконечно продолжительное) действие теплового двигателя, что требует наличия замкнутого цикла изменений рабочего тела двигателя. Отсюда следует, что после расширения газа он должен вернуться в свое начальное состояние... Возвращение к начальному состоянию требует... уменьшения объема, т. е. расходования энергии, что сокращает полезную работу, получаемую при расширении. Второй принцип выражает... необходимость затраты энергии для возвращения рабочего тела в начальное состояние, позволяющее возобновить замкнутый термодинамический цикл (выделено мной. — С. Х.)» [Шамбадаль, 1967. С. 30].

На свежую голову эта логика просто поражает. Странно, что вывод о необходимости холодильника для тепловой машины как следствие второго начала термодинамики (конкретно — «закона» возрастания тепловой энтропии) прекрасно уживается здесь с констатацией того, что холодильник нужен тепловой машине для обеспечения цикличности ее работы. Тем самым неявно

необходимость возвращения рабочего тела каждый цикл в начальное состояние выдается за действие второго начала термодинамики, тогда как хорошо известно, что не все тепловые машины являются циклическими.

Этого было позволительно не знать в середине XIX в., однако сегодня существование нециклических тепловых машин становится уже об-

щим местом (см. о них разд. 8.4-5). Когда и если рабочее тело не нужно возвращать в начальное состояние, то и холодильник тепловой машине не нужен.

И совсем уже удивительно то, как здесь обходятся с наблюдаемым нарушением «закона» возрастания тепловой энтропии. Нам предлагают поверить, что

этот закон физики выполняется для *большого* промежутка времени (равного длительности цикла тепловой машины), не работая для *меньшего* (равного длительности расширения рабочего тела). Однако таких физических законов не бывает,

они либо действуют для каждого текущего момента времени, либо не являются законами. Если бы, скажем, энергия не сохранялась в каком-то случае хотя бы минуту, то закон сохранения энергии пришлось бы признать несправедливым. Согласно говорившемуся в разд. 7.3,

если бы «закон» возрастания тепловой энтропии действительно был физическим законом, то он должен был бы соблюдаться в каждом макроскопическом элементе наблюдаемого мира в *каждый текущий момент времени*.

Поскольку же этот «закон» не выполняется в течение некоторого макроскопического (так что можно не принимать во внимание случайные флуктуации) промежутка времени, постольку он и не является законом.

Не будучи же физическим законом, «закон» возрастания тепловой энтропии не может и лимитировать КПД циклической тепловой машины.

Необходимость холодильника для классической тепловой машины обусловлена, поэтому, не действием «закона» возрастания тепловой энтропии, но особенностями ее устройства. Конкретно — необходимостью возвращать каждый цикл рабочее тело в начальное состояние.

Впрочем, как предварительно говорилось в концовке разд. 8.1 и как это будет показано в разд. 8.6, последний вывод нуждается в уточнении, будучи верным лишь в отношении именно *классических* тепловых машин с их простым устройством рабочего тела, которое представляет собой однофазную систему.

8.4. Псевдоциклические тепловые машины

Уверенность в том, что, с одной стороны, любая тепловая машина должна иметь холодильник, а, с другой стороны, — что холодильник необходим тепловой машине для обеспечения цикличности ее рабочего про-

цесса, породила в современной технической термодинамике странный феномен, состоящий в искусственном «зацикливании» тепловых машин с реально разомкнутыми (нециклическими) рабочими процессами:

«...известно, что все (?! — С. Х.) тепловые двигатели, превращающие тепловую энергию в механическую, работают по круговым процессам или термодинамическим циклам» [Андрющенко, 1975. С. 64].

«...Машина Карно является прообразом любого теплового двигателя... все тепловые двигатели... совершают работу, используя, как и машина Карно, процесс установления теплового и механического равновесия (между продуктами горения и окружающей средой). И их работу тоже можно описать с помощью замкнутых циклов» [Щеголев, 1996. С. 113–114].

«...в большинстве тепловых двигателей рабочее тело к моменту сжатия обновляется... в циклах, где отработанное рабочее тело выбрасывается во внешнюю среду после адиабатического расширения, необходимо учитывать, что при этом не используется работа проталкивания... Поэтому замыкающим процессом в рассматриваемом цикле (?! — С. Х.) надо принимать изохорический процесс, т. е. считать, что отвод теплоты производится при $V = const$ » [Новиков, 1984. С. 509].

«Трансформаторы тепла с квазициклическими процессами. В таких трансформаторах тепла совершается разомкнутый процесс квазицикл. Его характерная особенность состоит в том, что рабочее тело после совершения процессов в определенной последовательности частично или полностью выводится из системы, а взамен него в нее поступают (непрерывно или периодически) новые порции рабочего тела... Чаще всего разомкнутые процессы типа квазициклов (?! — С. Х.) применяются в системах, где используется атмосферный воздух» [Соколов, Бродянский, 1981. С. 15].

«Зацикливают», например,

«воздушно-реактивные двигатели, горение топлива в которых происходит за счет воздуха (точнее, за счет атмосферного кислорода. — С. Х.), захватываемого из окружающей среды. В эту группу включаются прямоточные, пульсирующие и турбореактивные двигатели» [Андрющенко, 1977. С. 152].

Скажем, работу прямоточного воздушно-реактивного двигателя, работу которого описывают посредством состоящего из двух изобар и двух адиабат цикла Брайтона с максимальным КПД, равным, как и для всех

термодинамических циклов, КПД Карно [Андрющенко, 1977. С. 155–156]. Циклом Брайтона описывают и работу газовой турбины:

«Замыкающим цикл процессом является охлаждение продуктов сгорания в окружающей среде при постоянном давлении. Таким образом достигается цикл, состоящий из двух изобар и двух адиабат, называемый циклом Брайтона» [Андрющенко, 1977. С. 100].

Общий ход мысли термодинамиков при таком «зацикливании» тепловых машин с реально разомкнутыми рабочими процессами продемонстрируем на примере двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием:

«Процессы в двигателе внутреннего сгорания в действительности не составляют замкнутого цикла, так как продукты сгорания после их выхлопа и охлаждения не являются, конечно, тождественными с исходной рабочей смесью топлива и воздуха. Но можно показать, что для термодинамического вычисления эффективности двигателя указанное обстоятельство не имеет большого значения: коэффициент полезного действия двигателя существенно не изменился бы, если бы рабочим веществом в двигателе был идеальный газ, внезапно получающий извне теплоту, равную теплоте сгорания топлива, и после рабочего расширения и изохорного охлаждения возвращающийся в исходное состояние (выделено мной. — С. Х.)» [Путилов, 1962. С. 542–543].

Речь фактически идет о подмене: отработанное рабочее тело (продукты сгорания) мысленно заменяется на рабочее тело, как-им оно должно быть на входе в двигатель.

Возвращаясь к воздушно-реактивным двигателям: работу этих двигателей, в которых для сжигания жидкого топлива используется атмосферный воздух (точнее, атмосферный кислород), проходящий через двигатель и исторгаемый затем в атмосферу, также описывают круговым процессом (циклом), считая извергаемую из двигателя порцию продуктов сгорания после ее охлаждения в атмосфере и поступающую в двигатель новую порцию воздуха атмосферы тождественными. На этом основании считается, что у такого двигателя, как у всякой порядочной тепловой машины, имеются нагреватель и холодильник и что КПД такого двигателя не превышает КПД Карно.

Такая логика представляется неприемлемой. Во-первых, продукты сгорания имеют иной химический состав, нежели атмосферный воздух, и вторично для работы двигателя, которому нужен содержащийся в воздухе и отсутствующий в продуктах сгорания кислород, непригодны. Другими словами, у такого двигателя нет рабочего вещества, которое совершало бы

круговой процесс. Во-вторых и в-главных, такое «зацикливание» работы нециклического двигателя искажает термодинамическую картину его работы, поскольку

использованную порцию воздуха, раз ее не надо возвращать в начальное состояние, как в «настоящих» циклических установках, нет необходимости охлаждать в холодильнике (в атмосфере).

В принципе воздушно-реактивному двигателю можно подобрать такой режим работы, чтобы температура продуктов сгорания на выходе из него была в точности равна температуре окружающей атмосферы — законы физики этого не запрещают, и тогда никакого охлаждения продуктов сгорания в атмосфере вообще не будет, что реально означало бы отсутствие холодильника и КПД двигателя, равный единице.

Сказанное подтвердим расчетной формулой для термического КПД⁶ цикла воздушно-реактивного двигателя [Кудинов, Карташов, 2000. С. 185]

$$\eta_T = 1 - \frac{1}{\beta^\gamma}, \quad (8.4.1)$$

где $\gamma = c_p/c_v$ и β — степень увеличения давления воздуха в диффузоре⁷. Никакого температурного потолка для КПД, согласно этой формуле, не существует — с устремлением β к бесконечности КПД двигателя стремится к 1. Понятно, что реально это недостижимо, так мы ведь и говорим о теоретическом КПД, а не реальном. Реально недостижим и КПД Карно.

8.5. Нециклические (непрерывного действия) тепловые машины

Техническая термодинамика крайне неохотно рассматривает нециклические тепловые машины, относя к ним лишь достаточно экзотические и не имеющие большого практического значения установки:

«Трансформаторы тепла с нециклическими (ациклическими) процессами. В трансформаторах тепла этого класса состояние рабочего те-

⁶ О термическом КПД см. сноску в начале разд. 8.1.

⁷ ДИФФУЗОР, одна из трех основных частей пульсирующего и прямоточного воздушно-реактивных двигателей (две другие — камера сгорания и выходное сопло). Служит для сжатия воздуха, поступающего в камеру сгорания, что позволяет увеличить скорость истечения газов из сопла. Сжатие воздуха в диффузоре осуществляется за счет кинетической энергии падающего потока.

ла в процессе работы вообще не меняется: все его параметры постоянны во времени.

Примером могут служить трансформаторы тепла, основанные на эффекте Пельтье — возникновении разности температур в паре разнородных электропроводных материалов (например, полупроводников), помещенных в электрическое поле. В такой паре при пропускании через нее постоянного тока на одном из спаев поглощается тепло, а на другом выделяется. Таким образом, при установлении стационарного режима происходит процесс трансформации тепла без какого-либо изменения состояния или механического движения рабочего тела» [Соколов, Бродянский, 1981. С. 16].

Из-за чрезвычайной важности этого вопроса повторим другими словами сказанное в начале предыдущего раздела о столь странном отношении современной термодинамики к нециклическим двигателям. С одной стороны, термодинамика вынуждена признавать тот неоспоримый факт, что

«... в нециклическом процессе полное превращение теплоты в работу вполне возможно» [Техническая..., 1992. С. 40].

С другой стороны, известно — и признается, — что холодильник необходим тепловой машине для обеспечения цикличности ее рабочего процесса (см. в разд. 8.3 цитаты из [Техническая..., 1992. С. 37–38] и [Шамбадаль, 1967. С. 30]). Таким образом,

нециклические тепловые машины, которые по своему устройству не нуждаются в холодильнике и теоретический максимальный КПД которых поэтому равен единице, самим фактом своего существования опровергают главный тезис современной термодинамики, согласно которому любая тепловая машина обязана иметь холодильник и что поэтому полное преобразование теплоты в работу якобы невозможно.

Если реальность противоречит теории, то тем хуже для реальности — старый добрый принцип науки, время от времени проявляющий себя в разных ее областях. Упомяну для иллюстрации только о противоречии между симметричностью уравнений механики по времени и несимметричностью по времени реальных необратимых процессов, которое Л. Больцман и А. Эйнштейн разрешали в пользу уравнений механики, объявляя наблюдаемую необратимость иллюзией (см. разд. 7.2.2 и П. 3.1.2).

Между тем, тепловые машины нециклического действия распространены достаточно широко. К ним могут быть, прежде всего, отнесены машины, о которых шла речь в предыдущем разделе и которые сегодня иногда называют псевдоциклическими. Нециклическими тепловыми машинами, далее, являются названные в разд. 1.4.2.4, т. I солнечные энерго-

системы (СЭС), подразделяющиеся на солнечные тепловые электростанции (СТЭ) и фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). О нециклических же тепловых машинах пойдет речь в разд. 10.2.

Упомянем также ракетные двигатели, которые не используют для своей работы окружающую среду и в которых для горения используется запасенное на борту летательного аппарата жидкое или твердое топливо. Для них, в отличие от воздушно-реактивных двигателей, о которых шла речь в предыдущем разделе, об охлаждении продуктов сгорания за бортом говорить вообще не приходится — в вакууме продукты сгорания ракетного двигателя не охлаждаются, ибо расширение газа в пустоту не связано с их охлаждением. Это абсолютно верно для идеальных газов (см. в разд. 6.2 п. 1.1.3) и с достаточной точностью — для реальных. При самой буйной фантазии ракетные двигатели сложно назвать псевдоциклическими. Они совершенно определенно не имеют холодильника и, стало быть, осуществляют — в теоретическом идеале — полное превращение тепла в другие формы энергии (в работу).

Нециклической же тепловой машиной является разработанная Г. В. Скорняковым на бумаге вихревая турбина [1989, 1995б]. В ней для более полного преобразования тепла в работу используется вихревой эффект Ранка (Ранке), о котором говорилось в разд. 7.5.3 и который состоит в уменьшении температуры в вихре газа по направлению к оси вращения:

«Адиабатическое расширение насыщенного пара приводит к его охлаждению, конденсации и образованию двухфазной системы... Этот процесс и разделение фаз естественно производить в вихревом потоке, используя эффект Ранка... Движение поступающего в объем преобразователя пара в вихревом потоке сопровождается интенсивным перемешиванием различных элементов массы рабочего вещества, что в конечном итоге приводит к неограниченному уменьшению парциального давления пара любого элемента массы, поступившего в преобразователь, и его полному переходу в жидкую фазу... Если преобразователь не содержит движущихся частей, вся выделяющаяся при конденсации пара энергия переходит в кинетическую энергию жидкости (выделено мной. — С. Х.)» [Скорняков, 1989. С. 13].

Насыщенный пар здесь предварительно охлаждается, ускоряясь в сопле Лавала, т. е. в особым образом профилированном (вначале сужающемся, а затем расширяющемся) канале. Исходящий из него поток впрыскивается в трубу (Ранка) перпендикулярно к ее оси по касательной к внутренней поверхности, распространяясь по трубе и дополнительно охлаждаясь за счет вращения вокруг ее оси:

«Работа производится в результате расширения газовой фазы. На возврат сконденсировавшейся жидкости в нагреватель практи-

чески никакой работы затрачивать не нужно. При использовании в качестве рабочего вещества азота и параметрах аппарата, близким к исследованным..., мощность преобразователя составляет десятки киловатт (выделено мной. С. Х.)» [Скорняков, 1989. С. 14].

«...прижатый центробежными силами к поверхности трубы газ распространяется вдоль трубы и образует реально существующий в ней вихревой поток, за основную моду которого можно принять равномерное вращение... поступающее в трубу рабочее вещество надолго задерживается в ней, что дает основание говорить об установлении во вращающемся потоке состояния, близкого к термодинамическому равновесию. Влияние возникающих в вихревом потоке интенсивных центробежных сил вполне аналогично влиянию силы тяжести на земную атмосферу⁸: температура газа в вихре уменьшается вследствие радиальной конвекции в направлении к его оси вращения... В качестве элемента системы, производящего работу, можно применить вихревую турбину. Основными элементами вихревой турбины являются труба Ранка, переходящая во вращающуюся неосесимметрическую вихревую трубу, играющую роль детандера⁹, и жестко соединенное с нею сегнерово колесо¹⁰, выполняющее функции сепаратора фаз, двигателя и насоса (выделено мной. --- С. Х.)» [Скорняков, 1995б. С. 39].

«...конденсация пара, будучи процессом объемным, при заданном радиусе вращающейся вихревой трубы происходит тем более полно, чем больше длина трубы. Достаточно большая длина трубы обеспечивает полную конденсацию поступающего из сопла Лавала пара и полное преобразование тепла в работу (выделено мной. --- С. Х.)» [Там же. С. 45].

Вихревые трубы, надо сказать, уже достаточно давно применяются в энергетике [Мартынов, Бродянский, 1976; Соколов, Бродянский, 1981. С. 167–171].

К нециклическим тепловым машинам могут быть также отнесены турбинка, стоящая на выходе из баллона со сжатым газом (разд. 7.5.3) и концентрационный элемент Нернста (разд. 6.2 и 7.5.3).

⁸ Г. В. Скорняков имеет в виду возникновение температурного градиента в вертикальном столбе атмосферы из-за гравитационного поля Земли, о котором говорилось в разд. 7.5.2.1.

⁹ ДЕТАНДЕР, расширительная машина, в которой поток совершает (полезную) внешнюю работу, вращая колесо или толкая поршень.

¹⁰ СЕГНЕРОВО КОЛЕСО, колесо без обода, у которого спицы заменены трубками с отогнутыми концами, так что вытекающая из них вода своим реактивным действием приводит колесо во вращение.

8.6. Уточнение разделов 8.2–3: циклические тепловые машины без холодильника

В разд. 8.2 был приведен вариант традиционного доказательства того, что холодильник необходим всякой циклической тепловой машине потому, что в противном случае энтропийный баланс такой машины, в которую входят выполняющий роль нагревателя тепловой резервуар A , система B , над которой производится работа, и движущийся механизм M , оказывается за цикл отрицательным (см. рис. 8.2.1, и связанный с ним текст). Это доказательство, однако, было проведено

в рамках традиционных термодинамических представлений, в которых нет места росту энтропии, связанному с превращением разных форм энергии друг в друга как таковым.

Рождение тепла в нагревателе при этом исключается из рассмотрения, описывается же только (квазиравновесная) передача тепла от нагревателя рабочему телу и от рабочего тела холодильнику при их прямых контактах:

«Под „источником тепла“ мы всегда будем подразумевать горячее тело при постоянной заданной температуре, приведенное в соприкосновение с некоторой частью машины; а когда мы будем допускать, что некоторая часть машины охладится (что может быть достигнуто только отнятием у нее некоторой части заключенного в ней тепла), то следует понимать, что это осуществляется путем соприкосновения ее с некоторым холодным телом, имеющим постоянную температуру, которое мы в дальнейшем будем называть холодильником» [Thomson, 1851; Рус. пер. С. 164].

Если убывание энтропии, обусловленное превращением тепла в работу, в традиционных описаниях термодинамических циклов еще присутствует, то

возрастание энтропии, вызванное превращением химической энергии топлива в тепло, игнорируется начисто.

Отсутствует оно и в наших рассуждениях, которые были приведены в разд. 8.2 и в которых мы следовали Ф. Рейфу [1986]. Устраним этот недостаток.

Итак, учтем, что при получении тепловой машиной за цикл количество тепла q было сожжено некоторого количества топлива, что сопровождалось ростом энтропии на величину $\Delta S_{\text{топлива}}$. Рисунок 8.2.1 заменяем на рис. 8.6.1.

Примем во внимание, что резервуар A не только теряет за цикл количество теплоты q , что означает уменьшение его (тепловой) энтропии на величину q/T , но и приобретает то же количество тепла q при сгорании

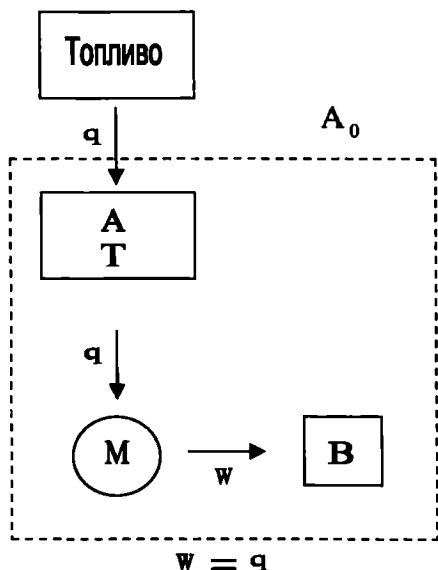


Рис. 8.6.1. Идеальная машина. К системе A_0 (см. рис. 8.2.1) добавлено топливо, которое создает за цикл тепло q , поступающее в тепловой резервуар A (скорректированный рис. 8.2.1)

топлива с возрастанием энтропии на $\Delta S_{\text{ТОПЛИВА}}$. Итоговое изменение энтропии резервуара A за цикл составляет

$$\Delta S^* = \Delta S_{\text{ТОПЛИВА}} - \frac{q}{T}. \quad (8.6.1)$$

В $\Delta S_{\text{ТОПЛИВА}}$ присутствуют как тепловая (положительная) часть q/T , так и нетепловая, связанная с химическими и иными превращениями топлива, происходящими в процессе его горения, так что

$$\Delta S_{\text{ТОПЛИВА}} > \frac{q}{T}. \quad (8.6.2)$$

Поэтому

$$\Delta S^* = \Delta S_{\text{ТОПЛИВА}} - \frac{q}{T} > 0, \quad (8.6.3)$$

что

делает излишним холодильник, на котором настаивает классическая термодинамика.

Остается еще идея, согласно которой холодильник необходим всякой циклической тепловой машине для возвращения рабочего тела в начальное состояние. Выясняется, однако, что и эта, казалось бы, такая естественная идея не столь уж и бесспорна и что в литературе вот уже три десятилетия успешно разрабатываются термодинамические циклы без холодильника. Чтобы такой цикл стал — по крайней мере теоретически (на бумаге) — реальностью, только и нужно было придумать термодинамический процесс, в котором

возвращение рабочего тела в начальное состояние сопровождается бы не передачей части тепла холодильнику, но ее (этой части тепла) возвращением нагревателю.

Разные авторы выбирают немного разные пути построения таких термодинамических циклов.

1. **Термодинамический цикл без холодильника Скорнякова** [1995а, 1996]. Здесь между нагревателем и рабочим телом помещен контактирующий с ними обоими промежуточный двухкамерный тепловой резервуар, который разделен свободно скользящим теплопроницаемым поршнем и одна из двух камер которого заполнена двухфазной системой газ — жидкость. Если мы мысленно объединим рабочее тело и промежуточный двухфазный тепловой резервуар как «большое» рабочее тело, то установка Г. В. Скорнякова может рассматриваться как циклическая тепловая машина с этим «большим» рабочим телом, отдающим назад при возвращении рабочего тела в начальное состояние часть тепла нагревателю, вместо того чтобы передавать его холодильнику, за счет чего преобразование тепла в работу и становится в идеальном случае — стопроцентным.

Приведем в сокращенном виде соображения Скорнякова об устройстве его тепловой машины.

«Термически неоднородным промежуточным тепловым резервуаром служит замкнутый цилиндр, объем которого разделен на две части свободно скользящим адиабатическим (теплоизолирующим. С. Х.)¹¹ поршнем, наполнителями которых могут быть газы или двухфазные системы газ — жидкость... Основная идея использования теоретически неоднородной системы в качестве промежуточного теплового резервуара заключается в том, что при производстве работы она дает возможность рабочему телу черпать энергию из обеих частей буфера, находясь в тепловом контакте лишь с одной из них. В результате производство работы за счет тепла, поступающего из одной части буфера, сопровождается производством холода и подго-

¹¹ Об адиабатических процессах см. в разд. 6.2 (соотношения (6.2.6–7) и связанный с ними текст).

товкой холодильника, которым служит другая часть буфера, используемая в этом качестве в дальнейших стадиях цикла.

Система преобразования тепла в работу содержит нагреватель, имеющий температуру T_0 , промежуточный тепловой резервуар и двигатель, использующий в качестве рабочего тела, например, идеальный газ. Двигатель и нагреватель могут быть приведены в тепловой контакт с промежуточным тепловым резервуаром. В исходном состоянии обе части промежуточного теплового резервуара приводятся в тепловой контакт с нагревателем, а двигатель с одной из них, заполненной двухфазной системой. Все части системы находятся при температуре T_0 . На первой стадии цикла тепловой контакт промежуточного теплового резервуара с нагревателем прекращается и происходит расширение рабочего тела двигателя при сохранении его теплового контакта с одной из частей промежуточного теплового резервуара. Этот процесс сопровождается охлаждением не только части резервуара находящейся в тепловом контакте с двигателем, но и адиабатически отделенной (теплоизолированной. — С. X.) части в результате ее расширения. При уменьшении температуры T_1 части резервуара, находящейся в тепловом контакте с рабочим веществом двигателя, температура T_2 адиабатически отделенной части убывает быстрее, чем T_1 . Действительно, нетрудно показать, что в силу уравнений Клапейрона и Клаузиуса

$$\frac{dT_2}{dT_1} = \frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2} \frac{q_p T_2}{T_1^2}, \quad (8.6.4)$$

где γ_2 — показатель адиабаты, q_p — теплота фазового перехода. Поскольку $q_p / T_1 \gg 1$, при охлаждении двухфазной системы отделенной от нее адиабатическим (теплоизолированным. — С. X.) поршнем газ охлаждается быстрее. Характерно, что этот результат не зависит от количества вещества в газовой фазе и в двухфазной системе. Поэтому теплоемкости частей промежуточного теплового резервуара могут быть должным образом согласованы между собой и с теплоемкостью рабочего вещества двигателя.

На второй стадии цикла прекращается тепловой контакт двигателя с промежуточным тепловым резервуаром и происходит адиабатическое (теплоизолированное. — С. X.) расширение рабочего тела двигателя и его охлаждение до температуры адиабатически расширившейся части резервуара. На третьей стадии устанавливается тепловой

контакт двигателя с этой частью резервуара и рабочее вещество сжимается до исходного объема. При достаточно большой теплоемкости частей резервуара по сравнению с теплоемкостью рабочего вещества температуры рабочего вещества и обеих частей резервуара оказываются при этом ниже исходной. *Цикл замыкается в результате установления теплового контакта обеих частей промежуточного теплового резервуара с нагревателем и возвращения к исходному состоянию системы.* Последняя стадия цикла в отличие от предыдущих заведомо необратима, но в результате ввиду отсутствия холодильника, *тепло полностью преобразуется в работу* (выделено мной — С. Х.)» [Скорняков, 1996. С. 11–12].

Сам Скорняков полагает, что придуманный им цикл имеет только теоретическое значение, поскольку сконструирован в квазистатическом приближении:

«Рассмотренный... способ преобразования тепла в работу на практике трудно осуществить... По сути своей этот цикл... является квазистатическим, и следовательно, обладает нулевой мощностью. Практический интерес могут представлять лишь процессы с интенсивными тепловыми потоками, не связанные с установлением теплового равновесия между существенно разделенными частями системы (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 13].

Однако квазистатическими, т. е. бесконечно медленными, или квазиравновесными, в современной термодинамике являются все термодинамические циклы, потому что, как разъяснялось в разд. 5.5.6, она просто не умеет рассчитывать изменения термодинамических величин в реальных необратимых процессах. Это обстоятельство, к счастью, не делает нереальными тепловые энергоустановки, описываемые этими, строго говоря, достаточно абстрактными термодинамическими циклами. Тепловые насосы обогревают здания, автомобили ездят, ракеты — летают. Можно надеяться, поэтому, что и термодинамический цикл Скорнякова найдет себе практическое воплощение.

Противоречие между своей тепловой машиной и вторым началом термодинамики Скорняков разрешает за счет ограничения его (второго начала) применимости:

«...второе начало... есть обобщение опытных фактов... Нет абсолютно никаких оснований распространять его на любые тепловые процессы, а тем более придавать ему значение универсального закона природы» [Там же. С. 10].

Позиция автора этих строк, как говорилось в разд. 7.6, иная. Полагая второе начало именно что повсеместно применимым («универсальным»)

законом природы, мы «только» уточняем его содержание, выделяя в нем две компоненты: закон возрастания полной энтропии и асимметрию между превращениями тепла в другие формы энергии, с одной стороны, и обратными им превращениями нестепловых форм энергии в тепло — с другой. Обе эти компоненты второго начала позволяют тепловой машине не иметь холодильника, полностью (без тепловой компенсации) преобразовывая тепло в работу, лишь бы при этом не убывала полная энтропия.

2. Термодинамический цикл без холодильника Краснова [1978а, б, в, 1979]. Здесь в качестве рабочего тела используется смесь жидкости и ее насыщенного пара. КПД цикла Карно с таким рабочим телом, доказывает А. А. Краснов, существенно зависит от параметров этой смеси, значительно превосходя КПД Карно, когда в качестве рабочего тела используются гидраты природных газов.

Приведем с сокращениями соображения Краснова.

«Известна теорема Карно—Клаузиуса...: „КПД тепловой машины, работающей обратимо по циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела машины, а лишь от температуры нагревателя и холодильника“... Автором... установлено, что КПД цикла Карно зависит от природы рабочего тела, а теорема Карно—Клаузиуса строго выполняется только для идеальных газов... Рассмотрим... случай, когда рабочим телом является смесь жидкости и ее насыщенного пара. Как показал Клапейрон [Кричевский. 1962], КПД бесконечно малого квазистатического цикла Карно выражается соотношением:

$$\eta = \frac{dA}{q_1} = \frac{(V_{II} - V_{Ж})}{q_{исп}} \left(\frac{dP}{dT} \right)_{НАСЫЩ} dT. \quad (8.6.5)$$

...В случае справедливости теоремы Карно—Клаузиуса... работа dA и теплота испарения (сублимации) q_1 , при переходе от одного рабочего тела к другому (при условии постоянного температурного интервала), должны меняться по одному и тому же закону, либо оставаться постоянными. В действительности произведенная за цикл работа и полученная за цикл теплота при переходе от одного рабочего тела в другому меняются по разным законам.

Рассмотрим, как меняется работа. Работа цикла Карно может быть представлена как разность работ испарения и конденсации: $\Delta A = P_1 \Delta V - P_2 \Delta V = \Delta P \Delta V$, где P_1 и P_2 — давления насыщенного пара соответственно при температурах испарения и конденсации. Принимая $\Delta V = const$ и опуская коэффициенты пропорциональности, можно записать: $\Delta A = \Delta P$. Таким образом, работа при переходе от одного конденсированного рабочего тела к другому меняется пропор-

ционально перепаду давлений насыщенных паров веществ (рабочих тел) в данном температурном интервале.

...В соответствии с уравнением Клапейрона—Клаузиуса, теплота фазового перехода и давление насыщенного пара вещества связаны соотношением...

$$\lg P = -\frac{q}{4,575 T} + \frac{C}{2,303}. \quad (8.6.6)$$

Из уравнения (8.6.6) вытекает, что теплота фазового перехода для разных веществ в заданном температурном интервале пропорциональна $\lg P$ или, опуская коэффициенты пропорциональности, можно записать $q = \lg P$.

Таким образом, для конденсированных рабочих тел КПД можно выразить через давления насыщенного пара следующим образом:

$$\eta = \frac{\Delta A}{q} = \frac{\Delta P}{\lg P}. \quad (8.6.7)$$

Рассмотрим влияние природы рабочего тела на КПД цикла Карно в соответствии с полученным уравнением (8.6.7). Предположим, имеются два вещества, у которых в заданном температурном интервале давления насыщенных паров меняются: у первого — от 1 до 10 кгс/см², у второго — от 1 до 100 кгс/см². Сопоставим КПД для обоих веществ:

$$\eta_1 = \frac{\Delta A}{q} = \frac{\Delta P}{\lg P} = \frac{10-1}{\lg 10} = 9;$$

$$\eta_2 = \frac{\Delta A}{q} = \frac{\Delta P}{\lg P} = \frac{100-1}{\lg 100} = 49,5.$$

КПД цикла Карно для обоих веществ различны — 9 и 49,5, так как изменение перепада давлений их насыщенных паров от 1:10 кгс/см² до 1:100 кгс/см² приводит к увеличению работы за цикл примерно в 10 раз, а теплота фазового перехода при этом увеличивается лишь в 2 раза.

Из полученного для КПД уравнения вытекает также, что работа и теплота цикла Карно для конденсированных рабочих тел находятся между собой... в экспоненциальной зависимости:

$$P = 10^q = A \quad \text{или} \quad A = 10^q. \quad (8.6.8)$$

Итак, теорема Карно—Клаузиуса является частным случаем более общего положения, которому можно предложить следующую

формулировку: коэффициент полезного действия цикла Карно для реальных рабочих тел (твердых тел, жидкостей и реальных газов) зависит от природы рабочего тела и температур теплоотдатчика и теплоприемника, а для идеальных газов определяется только температурами теплоотдатчика и теплоприемника ...можно получить более высокий КПД цикла Карно путем подбора рабочего тела с более высоким значением $(dP/dT)_{\text{НАСЫЩ}}$... в зависимости от природы рабочего тела КПД цикла Карно в температурном интервале $8^{\circ}\text{C} + 25^{\circ}\text{C}$... увеличивается в следующей последовательности: вода, аммиак, двуокись углерода, гидрат метана, идеальный газ...

Схема газогидратного термодинамического цикла... в координатах давление — объем. В точке 1 имеем моль гидрата метана при 8°C и 25 кгс/см^2 . Нагреваем гидрат до 25°C на стадии 1–2 при постоянном объеме. При этом давление в системе возрастает от 25 до 500 кгс/см^2 . На стадии 2–3 разлагаем гидрат в изобарно-изотермических условиях. Объем системы при этом возрастает. Далее расширяем метан на стадии 3–4 от 500 кгс/см^2 до 25 кгс/см^2 . Затем охлаждаем метан от температуры 25°C до 8°C на стадии 4–5. Изобарно-изотермический процесс образования гидрата на стадии 5–1 замыкает цикл. Ввиду малого температурного интервала (17°) работа, получаемая на стадии 2–3 при разложении гидрата при 25°C и 500 кгс/см^2 , компенсирует работу, затрачиваемую на образование гидрата на стадии 5–1 при 8°C и 25 кгс/см^2 . Поэтому работа за цикл равна работе изотермического расширения газа на стадии 3–4 и численно равна площади треугольника 3–4–6...

Важной характеристикой наряду с КПД является количество работы, которое может быть получено за цикл на моль рабочего тела. Малое значение КПД может быть по двум причинам: либо за цикл расходуется малое количество теплоты и производится малое количество работы, либо расходуется большое количество (бросовой, 25°C) теплоты и производится большое количество работы.

Расчет показывает, что работа газогидратного цикла в 57 раз больше работы цикла Карно для идеального газа (выделено мной. — С. Х.)» [Краснов, 1978в. С. 149–153].

3. Термодинамический цикл без холодильника Дунаевского [2004а, б] аналогичен циклу Краснова, здесь также рабочее вещество представляет собой смесь жидкости и ее насыщенного пара. И, как и в двух предыдущих случаях, возвращение рабочего тела в начальное состояние осуществляется с передачей части тепла нагревателю. Как утверждает С. Н. Дунаевский, им

«доказан факт существования замкнутого термодинамического цикла, позволяющего преобразовывать в... механическую работу всё тепло, полученное от нагревателя рабочего тела двигателя.

Существенными признаками такого цикла являются следующие:

- Рабочее тело теплового двигателя в процессе расширения должно образовать гетерогенную систему, состоящую из фаз жидкости и насыщенного пара;
- Для возвращения рабочего тела в начальное состояние сжатие должно подвергаться только вещество фазы пара;
- Тепло, отводимое от вещества фазы пара в процессе сжатия, должно быть передано нагревателю рабочего тела...

Температурные границы цикла установлены следующим образом:

Минимальная температура $T_{МИН}$ рабочего тела в цикле может быть выбрана произвольно из интервала $T_{ПЛ} < T_{МИН} < T_{КР}$, границами которого являются температура плавления $T_{ПЛ}$ и критическая температура $T_{КР}$ вещества рабочего тела.

Выбранное значение минимальной температуры однозначно определяет температуру $T_{МАКС}$, при которой плотность вещества рабочего тела, сжатого адиабатически от состояния насыщенного пара при минимальной температуре, становится равной плотности вещества жидкой фазы рабочего тела при этой же температуре...

Температура T_0 рабочего тела в начальном состоянии цикла может быть выбрана произвольно из интервала $T_{МИН} < T_0 < T_{МАКС}$.

Температура T_H нагревателя рабочего тела может быть выбрана произвольно из интервала $T_0 \leq T_H < T_{МАКС}$.

Начальное состояние рабочего тела в цикле определено начальной температурой и начальной плотностью вещества, которая равна плотности равновесной жидкой фазы при минимальной температуре.

Положительная работа совершается в цикле в процессе адиабатического расширения рабочего тела. Процесс начинается из начального состояния и заканчивается по достижении выбранной минимальной температуры, при которой вещество рабочего тела разделено на равновесные фазы жидкости и насыщенного пара.

Возвращение рабочего тела в начальное термодинамическое состояние должно быть выполнено следующим образом:

- Фазы вещества рабочего тела должны быть отделены друг от друга при минимальной температуре цикла;
- Вещество фазы насыщенного пара должно быть адиабатически сжато до тех пор, пока его температура не достигнет температуры нагревателя рабочего тела;
- Должен быть создан тепловой контакт между сжатым веществом и нагревателем рабочего тела;
- Сжатие вещества фазы пара должно быть продолжено изотермически при температуре нагревателя;
- Тепловой контакт между сжатым веществом и нагревателем должен быть ликвидирован после того, как плотность сжатого вещества станет равна начальной;
- Рабочее тело должно быть приведено к тепловому равновесию в процессе изохорного теплообмена между его жидкой и сжатой частями при адиабатической изоляции всего вещества от внешней среды;
- Должна быть создана возможность для передачи тепла от нагревателя к рабочему телу; объединенное вещество рабочего тела должно быть нагрето изохорно теплом, переданным от нагревателя, от равновесной температуры до начальной (выделено мной. — С. Х.)» [Дунаевский, 2004а. С. 211–213].

Отметим, что, подобно Скорнякову, Дунаевский пытается согласовать свой цикл со вторым началом термодинамики, утверждая, что оно имеет ограниченную применимость:

«Существование термодинамического цикла с такими энергетическими свойствами выявляет наличие противоречия между первым законом термодинамики и некоторыми общепринятыми формулировками ее второго закона... Остается открытым вопрос, как обнаруженное противоречие может быть разрешено... желаемый результат будет достигнут отказом от догмы, что все формулировки второго начала универсальны. Такой отказ приведет к признанию факта, что отдельные формулировки второго закона в их известных формах применимы, только если выполнены некоторые дополнительные условия (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 218–219].

Наша позиция по этому поводу приведена в конце обсуждения цикла Скорнякова.

В заключение раздела и всей главы «лирический» комментарий. Не знаю, как вас, а меня идея рабочего тела циклической тепловой машины, которое представляет собой двухфазную систему жидкость — пар и которое, благодаря своей двухфазности, при возвращении в начальное со-

стояние не отдает тепло холодильнику, а возвращает его нагревателю (!), поражает своей красотой.

«...наблюдения Карно за работой паровых машин... являются... ограниченными, основанными на упрощенных представлениях о природе теплоты и схеме работы тепловой машины, господствовавших в начале XIX века. Карно... необоснованно обобщил свои... наблюдения и сформулировал „принцип получения движения из тепла“. Очевидно, что этот принцип является *ограниченным и применимым только для рассмотренного Карно класса тепловых машин*, а именно, только для машин, имеющих нагреватель, холодильник и неизменное во время рабочего цикла рабочее тело, объем которого периодически изменяется только под воздействием температур нагревателя и холодильника (выделено Е. Г. Опариным. — С. X.)» [Опарин, 2004. С. 95].

«...в настоящее время созданы вещества с экзотическими параметрами: с изменяемой теплоемкостью, зависящей от внешнего магнитного поля; вещества, которые плавятся при понижении температуры и затвердевают — при нагревании. Обнаружены области сочетания параметров состояния газов, в которых газ охлаждается при сжатии. Кто сказал, что не могут быть обнаружены или модифицированы вещества под заданные параметры? Например, вещества, теплота парообразования которых (в некотором диапазоне температур и давлений) падает с уменьшением давления (температуры) испарения. Такие вещества были бы очень полезны в качестве рабочих тел тепловых машин» [Виноградов, 2006. С. 31 -32].

На мой вкус, эта идея — одна из самых красивых во всей истории науки. И то, что ее додумались независимо как минимум три автора, поражает. Так бывает тогда, когда наружу пробивается не просто красивая, но и верная (продуктивная) идея.

ГЛАВА 9

Вечные двигатели 2-го рода и несостоятельность запрета на них

9.1. Существующие определения вечных двигателей 2-го рода и их некорректность

Если судить по литературе, то запрет на вечные двигатели 2-го рода представляет собой необходимое следствие второго начала термодинамики, более того — тот самый оселок, на котором оно и заточено:

«...рассматривая все возражения против второго начала, не нужно забывать, что в конце концов, если только нет ошибки в рассуждениях, они направлены против невозможности *perpetuum mobile* второго рода» [Планк, 1925а. С. 98].

«Мы можем теперь установить второй закон термодинамики... Экспериментальное доказательство справедливости закона состоит главным образом в неудаче всех попыток сконструировать *perpetuum mobile* второго рода» [Ферми, 1973. С. 32].

Соответственно многие авторы формулируют второе начало как запрет на вечные двигатели 2-го рода. Поскольку же, как было установлено в гл. 5, содержание второго начала, как оно представлено в литературе, донельзя размыто, то донельзя размыто и понятие — запрещаемого «от имени» второго начала — вечного двигателя 2-го рода.

Реально во многих случаях формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода включают в себя определения таких двигателей,

причем спектр разных определений весьма широк. Приведем основные определения вечных двигателей 2-го рода, сопроводив их нашими комментариями.

1. Совмещенные формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода и их определений, в которых утверждается невозможность какого бы то и было изымания рассеянного тепла из среды.

1.1. «Из опыта мы знаем, что... покоящаяся энергия... не приходит самопроизвольно в движение... мы можем назвать всякое устройство, которым существующая покоящаяся энергия приводится в движение, *perpetuum mobile* второго рода, и второй основной принцип энергетики получает следующую форму: *perpetuum mobile второго рода невозможен* (выделено В. Оствальдом. — С. Х.)» [Оствальд, 1901. С. 190–191]¹.

1.1а. «...*perpetuum mobile* второго рода невозможен. При этом под *perpetuum mobile* второго рода подразумевают машину, которая может приводить покоящуюся энергию в движение или превращать ее в другие формы (выделено Оствальдом С. Х.)» [Оствальд, 1911. С. 101]².

1.2. «...механическая работа может сама собой превратиться в теплоту, хотя бы посредством трения, — но теплота не может сама собой превратиться обратно в работу. Если бы последнее было возможно, то мы могли бы привести в движение какой-нибудь двигатель за счет теплоты земного шара, которой имеется неограниченное количество, и при этом имели бы еще двойную выгоду, используя этот двигатель в качестве холодильника, т. к. он охлаждал бы земной шар.

Опыт показал, что такой двигатель (который называется также „*perpetuum mobile* второго рода“) невозможен» [Планк, 1925б. С. 12].

1.3. «...существуют определенные ограничения при превращении теплоты в работу. Если бы этого не было, то можно было бы построить машину, которая смогла бы путем охлаждения окружающих тел превращать взятую из окружающей среды теплоту в работу.

Так как запасы тепловой энергии, содержащиеся в земле, воде и атмосфере, практически не ограничены, то такая машина была бы для всех практических целей эквивалентна *perpetuum mobile*. Такую гипотетическую машину называют *perpetuum mobile* второго рода.

¹ Под покоящейся энергией В. Оствальд понимает рассеянное в среде тепло (см. в разд. 3.4, т. I сноску с его высказыванием по этому поводу).

² Формулировки 1.1а и 1.2 приводились в разд. 3.4, т. I.

Второй закон термодинамики исключает возможность построения *perpetuum mobile* второго рода» [Ферми, 1973. С. 31].

1.4. «...не иссякают ряды охотников опровергнуть Второй закон термодинамики и предложить очередной проект вечного двигателя второго рода, то есть непрерывно действующего устройства, которое производит работу только за счет охлаждения окружающей среды» [Шпильрайн, Семенов, 1984. С. 38].

В разд. 3.4, т. I были также приведены аналогичные формулировки О. Д. Хвольсона, К. А. Путилова, В. Ф. Ноздрева и др.

Комментарий. Здесь утверждается, что

невозможны какие бы то ни было тепловые машины, собирающие рассеянное тепло среды.

Как говорилось в разд. 3.4, т. I, подобные высказывания вступают в противоречие с фактами, поскольку гео- и гидротермальные энергетические установки и тепловые насосы — все классического типа, т. е. с холодильником, — спокойно черпают рассеянное тепло в среде (см. о них в разд. 1.4.2.4, т. I). Читатель может сказать, что авторы приведенных формулировок просто не очень аккуратны в выражениях и что я ним придираюсь. Может оно и так, однако, как это было показано в том же разд. 3.4, т. I, у многих авторов совершенно определенно присутствует мысль о том, что законы физики не разрешают человеку сколько угодно черпать в среде рассеянное тепло, поскольку, как об этом четко говорится в приведенных там высказываниях В. Томсона, В. Оствальда и др., это было бы равносильно вечному двигателю 1-го рода: хотя при этом энергия и не возникала бы из ничего, но она также была бы даровой.

Для них вечный двигатель 2-го рода означал бы практически вечный двигатель первого рода, самая мысль о котором им (и я с ними в этом солидарен) претит.

Развитие энергетики со всей определенностью показало несостоятельность этой параллели между вечными двигателями 1-го и 2-го рода, однако вместо того чтобы отменить под давлением фактов запрет на вечные двигатели 2-го рода, физики постарались примирить его с реальностью, накладывая во всё новых определениях вечных двигателей 2-го рода всё новые ограничения на их устройство и/или условия их функционирования, так чтобы получение с их помощью работы за счет рассеянного тепла среды и на самом деле оказалось невозможным.

2. Совмещенные формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода и их определений, в которых эти двигатели обязывают работать от одного источника температуры, т. е. не иметь холодильника.

- 2.1. «Тепловой двигатель, с помощью которого можно было бы полностью превращать в работу теплоту, полученную от какого-либо тела, и притом так, чтобы телам с меньшей температурой, участвующим в процессе, не передавалось сколько-нибудь теплоты, называют вечным двигателем второго рода... Вечный двигатель второго рода невозможен» [Вукалович, Новиков, 1972. С. 45]³.
- 2.2. «И. Р. Кричевский назвал двигатель, преобразующий тепло от одного теплового резервуара, монотермическим [Кричевский, 1962]⁴. С учетом этого названия формулировка второго начала термодинамики будет предельно краткой: „Монотермический двигатель невозможен“» [Опарин, 2004. С. 21–22].
- 2.3. «...это положение является одной из формулировок второго закона термодинамики: *вечный двигатель второго рода невозможен*. Здесь под вечным двигателем второго рода понимается двигатель, работающий от одного источника тепла окружающей среды (выделено А. И. Андрющенко. — С. X.)» [Андрющенко, 1975. С. 71].

Комментарий. В этих формулировках говорится о невозможности тепловой машины *без холодильника*, которая бы полностью превращала тепло в работу. Очевидно, что эти определения были введены, дабы вывести из-под удара гео- и гидротермальные установки и тепловые насосы — все с холодильником, — которые спокойно извлекают рассеянное в среде тепло и которые были неосторожно запрещены в формулировках 1.1–4. Казалось бы, честь мундира удалось отстоять, запрет на вечные двигатели 2-го рода формально остался в силе. Однако ненадолго, беда пришла с другой стороны. Как о том рассказывалось в разд. 8.4–6,

тепловые двигатели без холодильника, полностью превращающие тепло в работу, совершенно определенно существуют.

Речь идет о нециклических тепловых машинах, к числу которых относятся, например, ракетные двигатели (разд. 6.2 и 8.5), турбинка, стоящая на выходе из баллона со сжатым газом (разд. 7.5.3), и концентрационный элемент Нернста (разд. 6.2 и 7.5.3). Сюда же могут быть отнесены, на мой взгляд, псевдоциклические тепловые машины (разд. 8.4) и созданные «на бумаге» циклические машины без холодильника с двухфазным рабочим телом (разд. 8.6).

3. Совмещенные формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода и их определений, в которых эти двигатели обязывают быть циклическими.

³ Аналогичные формулировки: [Алексеев, 1980. С. 44; Новиков, 1984. С. 56].

⁴ Более полное определение монотермических двигателей см. в разд. 3.3, т. 1.

- 3.1. «Оствальд предложил следующую... формулировку: осуществление перпетуум мобиле второго рода невозможно... Под именем перпетуум мобиле второго рода подразумевают такой тепловой двигатель, который, повторяя произвольное число раз один и тот же процесс, был бы способен целиком превращать в работу всё тепло, почерпнутое им у какого-нибудь тела или тел, играющих роль источников тепла» [Путилов, 1939. С. 6]⁵.
- 3.2. «Планк формулирует второе начало так...: невозможно построить периодически действующую машину, которая не производит ничего другого кроме поднятия груза и охлаждения резервуара теплоты» [Там же]⁶.

Комментарий. Здесь объявляются невозможными *циклические* тепловые машины, которые бы полностью превращали тепло в работу. Это тот самый случай арьергардных боев, ведущихся сторонниками канонической точки зрения, чтобы любой ценой сохранить запрет на вечные двигатели 2-го рода. Как говорилось в разд. 8.5, *нециклическая* тепловая машина, вообще говоря, не нуждается в холодильнике, самим фактом своего существования опровергая тезис, согласно которому любая тепловая машина обязана иметь холодильник. Будучи своего рода *infant terribile* современной термодинамики, тепловая машина без холодильника по возможности сю игнорируется, что и проявляется в обсуждаемых определениях вечных двигателей 2-го рода. Ну и кому нужен такой запрет, который не запрещает главного — возможности вынимать рассеянное тепло среды, превращая его в работу (в другие формы энергии) *без тепловой компенсации*?!

Ограничение циклическими тепловыми машинами делает запрет на вечные двигатели 2-го рода беззубым, позволяя использовать в энергетике, основанной на круговороте тепла, нециклические тепловые машины с КПД, не ограниченным КПД Карно.

Кроме того, даже ограничение циклическими тепловыми машинами не спасает запрет на вечные двигатели 2-го рода, — как было показано в разд. 8.6, существуют во всяком случае, на бумаге — циклические тепловые машины без холодильника, в которых обеспечивается полное превращение тепла в работу.

4. Совмещенные формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода и их определений, в которых эти двигатели заставляют работать в среде без градиентов.

⁵ Аналогичные формулировки: [Ноздрев, 1967. С. 94; Сивухин, 1979. С. 90; Савельев, 1986. С. 344–345; Базаров, 1991. С. 51; Полторак, 1991. С. 45–46; Физика..., 1999. С. 72].

⁶ Аналогичные формулировки: [Мюнстер, 1971. С. 19; Кириллин и др., 1979. С. 54].

- 4.1. «...содержание второго начала термодинамики заключается в том, что нельзя извлечь работу из тел, которые находятся в тепловом равновесии друг с другом... Нельзя построить двигатель, который совершал бы работу, имея источником энергии тела, находящиеся в тепловом равновесии. В таком смысле он являлся бы тоже своего рода вечным двигателем, потому что мы окружены всё время энергией, находящейся в состоянии, близком к тепловому равновесию; такой двигатель был бы не хуже механического вечного двигателя. Для определенности такого рода вечный двигатель называется перпетуум-мобиле второго рода (выделено мной. — С. Х.)» [Ландау, 1949. С. 116–117].
- 4.2. «Мы можем теперь установить второй закон термодинамики в следующей форме: *невозможен процесс, единственным результатом которого будет превращение в работу теплоты, извлеченной из источника, имеющего всюду одинаковую температуру...* Экспериментальное доказательство справедливости закона состоит главным образом в неудаче всех попыток сконструировать *perpetuum mobile* второго рода (выделено Э. Ферми. С. Х.)» [Ферми, 1973. С. 32].
- 4.3. «...второй закон термодинамики был сформулирован так: „Невозможно создать вечный двигатель (*perpetuum mobile*) второго рода“ (В. Оствальд).

Вечным двигателем второго рода называют двигатель, который может работать с одним источником теплоты, т. е. двигатель, превращающий теплоту в работу при отсутствии разности температур в окружающей среде» [Техническая..., 1991. С. 55].

Комментарий. Здесь утверждается, что невозможны установки, которые бы полностью превращали в работу теплоту, извлекаемую из находящейся в тепловом равновесии среды при отсутствии в ней температурных и иных градиентов. «Уточненное» данным образом определение вечных двигателей 2-го рода позволяет, конечно, сохранить запрет на них, сделав, однако, само понятие таких двигателей бессодержательным. С водой выплеснули и ребенка. Извлекать тепло из среды, находящейся в тепловом равновесии, и на самом деле невозможно, о чем достаточно подробно говорилось в разд. 3.4, т. I, однако

этот запрет не имеет отношения ко второму началу термодинамики, установка же, не запрещаемая вторым началом, — это уже не вечный двигатель 2-го рода.

В окружающей нас среде полным полно всевозможных градиентов температуры, давления, концентрации и т. д., позволяющих безвозбран-

но вынимать рассеянное тепло из среды, о чем также шла речь в разд. 3.4, т. I. С точки зрения энергетики (да и второго начала термодинамики тоже), важно не то, наличествуют ли в среде, из которой извлекают рассеянное тепло, градиенты, а то, превосходит ли КПД вашей установки КПД Карно. Кроме того, как уже говорилось в разд. 5.3.1, ничто не мешает энергетической установке *самой создавать в равновесной среде нужные ей градиенты* (см., например, в разд. 10.2 об установке Орлова и др.).

5. Совмещенные формулировки запрета на вечные двигатели 2-го рода и их определений, в которых эти двигатели заставляют работать, не вызывая никаких изменений в среде.

5.1. «Невозможно построить такую периодически действующую машину, которая бы непрерывно совершала работу за счет теплоты, выделяемой системой при охлаждении, причем других изменений в этой системе или в окружающей ее среде не происходило бы. Другими словами, невозможно построить вечный двигатель второго рода» [Ноздрев, 1967. С. 93]⁷.

Комментарий. Формулировки этого пункта страдают тем же недостатком, что и предыдущего: никакая энергетическая установка не может работать за счет рассеянного тепла среды, не вызывая в ней изменений, однако это не имеет ни малейшего отношения к реальной ситуации.

Двигателей, вообще не оставляющих изменений в среде, не бывает. Кому нужен запрет, запрещающий всё?

Результаты проведенного анализа определений вечных двигателей 2-го рода воистину удивительны. Мало того, что, как было показано в гл. 5, донельзя размыто содержание второго начала термодинамики, «от имени» которого научное сообщество предельно жестко запрещает вечные двигатели 2-го рода, так теперь выясняется еще, что столь же размыто и понятие запрещаемого вечного двигателя 2-го рода! Не знаем точно, что, не знаем точно почему, но строго-настроено запрещаем...

Со вторым началом термодинамики мы разбирались в гл. 6–7; в разд. 7.6 мы постарались привести возможно более четкую его формулировку. Постараемся теперь определиться с понятием вечного двигателя 2-го рода.

Начнем с того, что резюмируем в табл. 9.1.1 встречающиеся в литературе определения вечного двигателя 2-го рода, указав взаимоотношения каждого из этих гипотетических объектов с реальностью и сопроводив авторским заключением относительно корректности или некорректности запрета на них.

⁷ Аналогичная формулировка: [Базаров, 1991. С. 53].

Таблица 9.1.1

Существующие определения вечного двигателя 2-го рода

№ пп.	Определения вечного двигателя 2-го рода	Взаимоотношения с реальностью	Корректность запрета «от имени» второго начала термодинамики
1	Любая тепловая машина, собирающая тепло, рассеянное в среде	Существует. Это, например, геотермальные и гидрогеотермальные энергетические установки и тепловые насосы. Все классического типа, т. е. циклические и с холодильником.	Запрет некорректен
2	Тепловая машина без холодильника, полностью превращающая тепло в работу. Точнее: тепловая машина, КПД которой не ограничен сверху КПД Карно	Существует. Это нециклические тепловые машины (разд. 8.5), псевдоциклические тепловые машины (разд. 8.4) и циклические тепловые машины без холодильника с двухфазным рабочим телом (см. следующий пункт настоящей таблицы)	Запрет некорректен
3	Циклическая тепловая машина, полностью превращающая тепло в работу. Точнее: циклическая тепловая машина, КПД которой не ограничен сверху КПД Карно	Существует на бумаге. Это теоретические термодинамические циклы Скорнякова и др., в которых рабочее тело представляет собой не однородный газ, как в классической тепловой машине, но двухфазную систему газ-жидкость, благодаря чему на стадии возвращения рабочего тела в начальное состояние часть полученного им ранее от нагревателя тепла не отдается холодильнику, но возвращается нагревателю (разд. 8.6)	Запрет, по-видимому, некорректен. Кроме того, он еще и неэффективен (беззуб), позволяя использовать в энергетике, основанной на круговороте тепла, нециклические тепловые машины с КПД, не ограниченным КПД Карно
4	Тепловая машина, превращающая тепло в работу при условии равновесности окружающей среды, т. е. при условии отсутствия в ней температурных и иных градиентов	Не существует	Запрет некорректен, не имея отношения ко второму началу термодинамики: в таких условиях не может работать никакая тепловая машина. Установка, не запрещаемая вторым началом, это уже не вечный двигатель 2-го рода
5	Тепловая машина, превращающая тепло в работу, не производя никаких других изменений в среде	Не существует	Запрет некорректен, не имея отношения ко второму началу термодинамики: на таких условиях не может работать никакая тепловая машина. Установка, не запрещаемая вторым началом, это уже не вечный двигатель 2-го рода

Эта таблица, говоря словами ослика Иа-Иа, представляет собой душераздирающее зрелище: при всем разнообразии встречающихся в литературе определений вечного двигателя 2-го рода нам не удалось найти ни одного корректного.

9.2. Уточнение понятия вечного двигателя 2-го рода и несостоятельность запрета на такой двигатель как следствие несостоятельности «закона» возрастания тепловой энтропии

Уточним понятие вечного двигателя 2-го рода, чтобы запрет на него приобрел хоть какой-то смысл.

Будем руководствоваться практическим вопросом: можно ли создать энергетику, построенную на круговороте тепла?

Терминологические игры, полагаю, пора заканчивать — человечеству на Земле нужно как-то выживать, а чтобы выжить, необходимо перевести энергетику на циклическое получение энергии из рассеянного в среде тепла (гл. 3). И мы хотим знать, что здесь реально, а что — нет.

Другими словами, нас интересуют энергетические установки, которые черпают рассеянное тепло из среды, превращая его в другие формы энергии. Такие установки, названные для простоты в разд. 3.2, т. 1 «фабриками холода», могут быть подразделены на два основных типа — извлекающие тепло из среды с тепловой компенсацией (т. е. с обязательным возрастанием тепловой энтропии) и делающие это без тепловой компенсации (т. е. с возможным уменьшением тепловой энтропии). «Фабрики холода» второго типа и будем называть вечными двигателями второго рода.

Вечный двигатель 2-го рода — это тепловая машина, которая собирает рассеянное в среде тепло, полностью превращая его в работу. Иначе говоря: вечный двигатель 2-го рода — это тепловая машина, которая собирает рассеянное в среде тепло и КПД которой не ограничен сверхху КПД Карно.

Определяя так вечный двигатель 2-го рода, мы не стесняем себя ограничениями, характерными для бытующих в литературе определений таких двигателей. Нам сейчас не важно, будет ли такая энергоустановка циклической или нециклической, будет ли она добывать тепло из равновесной среды или же будет использовать градиенты. Все эти тонкости не важны, пока вас волнует вопрос о принципиальной возможности или невозможности создания «фабрик холода» с максимально возможным КПД, не ограниченным сверхху КПД Карно. При соблюдении этих двух условий —

- 1) энергетические установки, которые мы называем вечными двигателями 2-го рода, должны собирать рассеянное в среде тепло;
- 2) их КПД не должен иметь в качестве теоретического потолка КПД Карно

– принципы их работы пусть будут самыми разными. Вот когда выяснится, -- если выяснится, -- что такие энергоустановки в принципе возможны, и дело дойдет до их практического развертывания -- вот тогда станут существенными принципы работы таких установок разного устройства, их относительная эффективность, стоимость и т. д.

Наше определение вечного двигателя 2-го рода объединяет определения 1 и 2 из табл. 9.1.1. Ближе других к нашему определению формулировка А. И. Андриющенко 2.3 в разд. 9.1. Его определение и вовсе совпало бы с нашим, если бы он более четко сформулировал мысль о том, что речь идет о сборе рассеянного в среде тепла. Можно также сказать, что наше определение представляет собой более четко артикулированную редакцию определения этого автора.

Итак, нас интересует гипотетическая тепловая машина, которая собирала бы рассеянное в среде (атмосфере, океане и земной коре) тепло и которая бы полностью превращала его в работу (в другие формы энергии), т. е. делала бы это с КПД, не ограниченным сверху КПД Карно, для чего она должна быть без холодильника. Запрещая без разбору все вечные двигатели 2-го рода (во многом, как отмечалось в разд. 3.5.2, т. I, из-за данного им В. Остальдом названия, связавшего их с вечными двигателями 1-го рода), Большая Наука, очевидно, распространяет свой запрет и на вечный двигатель 2-го рода в приведенной нами его редакции.

Как только что говорилось, наше определение вечного двигателя 2-го рода составлено из двух компонент, которые порознь вполне традиционны:

- 1) тепловая машина, которая собирает тепло в среде, превращая его в работу;
- 2) тепловая машина без холодильника.

И тепловые машины (1), и тепловые машины (2), как указывалось в разд. 9.1, существуют и, стало быть, не запрещены законами природы.

Трудно и даже невозможно себе представить, чтобы комбинация двух машин, каждая из которых не запрещена законами природы, была ими запрещена.

Запрет на тепловые машины (1) вообще возник по недоразумению, можно даже сказать, по вынужденному невежеству основателей термодинамики, не ведавших о широко известных сегодня гео- и гидротермальных установках и тепловых насосах. Запрет же на тепловые машины (2), как о том говорилось в разд. 8.2–3, возник

из-за неразведения тепловой и полной энтропии, отчего наряду с законом возрастания полной энтропии неявно считался действующим и «закон» возрастания тепловой энтропии. Показанная в разд. 7.5 несостоятельность этого «закона» означает и несостоятельность запрета на тепловые машины (2).

Однако не всё, что разрешено законами природы, удастся воплотить в жизнь. Тот факт, что в физике отсутствует запрет на создание вечных двигателей 2-го рода, как они здесь определены, не означает, что реально возможно создание таких двигателей, которые могли бы быть положены в основу термоциклической энергетики, т. е. достаточно мощных, экономически выгодных и экологически безопасных. Термоядерный синтез, к примеру, законами физики тоже не запрещен, однако с созданием соответствующей энергетической установки ничего не получается уже полвека.

Действующие сегодня тепловые машины (1) — это вполне традиционные тепловые машины циклического типа, которые в состоянии работать как угодно долго, но КПД которых ограничен КПД Карно. Действующие сегодня тепловые машины (2) — это нециклические машины вроде ракетных двигателей (разд. 6.2 и 8.5), турбины, стоящей на выходе из баллона со сжатым газом (разд. 7.5.3), и концентрационного элемента Нернста (разд. 6.2 и 7.5.3), которые, не имея холодильника, полностью превращают тепло в работу, но которые в состоянии действовать только ограниченное время, «не умея» работать в непрерывном режиме, как это делают циклические машины.

Задача, таким образом, состоит в том, чтобы соединить свойства тепловых машин (1) и (2), т. е.

создать такие энергетические установки, которые бы полностью (с КПД, не ограниченным КПД Карно) преобразовывали рассеянное тепло среды в работу (в другие формы энергии) в непрерывном режиме.

Это и будут вечные двигатели 2-го рода, которые не запрещены законами природы, но создание которых — с технической точки зрения — пока остается под вопросом. Работая достаточно продолжительное время, они должны иметь достаточную энергетическую мощность и быть экономически выгодными. Перспективы их разработки рассмотрим в разд. 10.2.

ГЛАВА 10

«Фабрики холода» с КПД, ограниченным и не ограниченным сверху КПД Карно, как основа термоциклической энергетики

После рассмотрения запрета «от имени» второго начала термодинамики на вечные двигатели 2-го рода и приведения доказательства несостоятельности этого запрета, чему были посвящены гл. 5–9, возвращаемся к основному сюжету книги. Изложенный в гл. 1–4 авторский сценарий устранения угрозы «тепловой смерти» на Земле в ближайшие 285–430 лет из-за потребления энергии как такового (практически вся потребляемая энергия рассеивается в виде тепла, тогда как торможение роста энергопотребления было бы направлено против вектора эволюции и потому чревато гибелью) состоит в переходе к (термоциклической) энергетике, построенной на круговороте тепла и «фабриках холода», которые бы вновь и вновь собирали рассеянное в среде тепло, превращая его в работу (в другие формы энергии).

«Фабрики холода», собирающие рассеянное тепло, мыслимы двух типов. Во-первых, это позитивно воспринимаемые Большой Наукой тепловые машины, КПД которых не превышает КПД Карно. Во-вторых, это отрицаемые (запрещаемые) ею тепловые машины с КПД, не ограниченным сверху КПД Карно. Как разъяснялось в разд. 3.3, т. I, сложность состоит в том, что тепло, рассеянное в атмосфере, океане и земной коре, характеризуются, как правило, невысокими температурными градиентами. Зарезая КПД Карно и соответственно КПД «фабрик холода» первого типа до весьма небольших значений, это делает развитие на их основе термоциклической энергетики нереальным. Несостоятельность запрета на вечные двигатели

2-го рода открывает в принципе дорогу для использования в термоциклической энергетике и «фабрик холода» второго типа, свободных от указанного изъяна «фабрик холода» первого типа.

Кратко обсудим перспективы развертывания тех и других.

10.1. «Фабрики холода» с КПД, ограниченным сверху КПД Карно: элементы термоциклической энергетики сегодня

Попытаемся ранжировать рассмотренные в разд. 1.4.2.3–4, т. I энергоустановки, на которые сегодня делают ставку участники мирового энергопроизводства в поисках альтернативы нефти и газу, по их «термозэкологичности», т. е. по тому, как они снижают тепловое загрязнение среды. Получается примерно следующий ряд по нарастанию «термозэкологичности»:

- 1) Энергетические установки, в которых используют (или предполагают использовать) уголь, атомную или ядерную энергию, термо- или холодный ядерный синтез, водород, замороженный гидрат метана, топливные элементы, космические (находящиеся за пределами Земли) энергоносители, энергию вакуума, биотопливо: вообще не являются «термозэкологичными», поскольку они производят новое тепло, которое не возникло бы, не произведи его человек;
- 2) Энергосберегающие установки: экономят потребление энергии и, тем самым, уменьшают рассеяние тепла;
- 3) Энергетика, использующая солнечную радиацию, энергию ветра, речных и морских течений, волн, приливов и другие возобновляемые источники энергии (ВИЭ): потребляет энергию, которая, если бы ее не использовал человек, всё равно рассеялась бы в виде тепла;
- 4) Тепловые насосы: производя тепловую энергию, частично используют рассеянное тепло среды, делая это с КПД, лимитируемым КПД Карно;
- 5) Гео- и гидротермальные электростанции классического типа: потребляют рассеянное тепло среды, делая это с КПД, лимитируемым КПД Карно;
- 6) Гипотетические вечные двигатели 2-го рода: потребляют рассеянное тепло среды, делая это с КПД, не лимитируемым КПД Карно.

К «фабрикам холода» первого типа, т. е. потребляющим рассеянное тепло среды с КПД, не превышающим КПД Карно, из всего этого перечня относятся только установки, названные в пп. 4 и 5. Об их достоинствах и недостатках было достаточно сказано в разд. 1.4.2.4, т. I. Главный вывод: развивать энергетiku, основанную на таких «фабриках холода», конечно же, необходимо, не ожидая, однако, от нее слишком многого --- термоциклическую энергетiku на них не построишь.

10.2. «Фабрики холода» с КПД, не ограниченным сверху КПД Карно: проекты вечных двигателей 2-го рода

После того, как была доказана, — хотелось бы надеяться, достаточно убедительно для читателя, — несостоятельность запрета на вечные двигатели 2-го рода (гл. 5–9) и было определено их возможное будущее как фундамента энергетики, построенной на круговороте тепла, которая только и может, как полагает автор этих строк, отвести от человечества угрозу надвигающейся «тепловой смерти» из-за потребления энергии как такового (гл. 3), пришло время предъявить их проекты. Прежде чем сделать это, приведем высказывание Августи Голдин:

«Братья Райт никогда бы не подняли в воздух свою машину, если бы в 1903 году они должны были бы действовать таким же образом, как нынешние изобретатели: представлять правительству предложения и планы, касающиеся как самой первой модели, так и всех последующих ее вариантов, вплоть до окончательного, полномасштабного. Более того, должна была бы быть доказана и техническая осуществимость, и экономическая безопасность, и безопасность с точки зрения окружающей среды всех этих проектов перед целой группой лордов, ни один из которых не верил в возможность полета вообще.

Братья Райт в самом начале имели только идею летательного аппарата — идею, осуществить которую возможно было лишь в принципе, идею, над которой люди смеялись. Людям вообще свойственно посмеиваться над тем, что „возможно в принципе“, потому что такие идеи, новые и неиспытанные, кажутся им сумасшедшими» [Голдин, 1983. С. 130–131]¹.

Сегодняшняя ситуация с вечными двигателями 2-го рода гораздо сложнее, чем была в начале XX в. с созданием аэропланов. Стоило аппарату братьев Райт, поднявшись в воздух, преодолеть 36,5 м за 12 с, как все возражения против идеи летательного аппарата тяжелее воздуха отпали, а к исследованиям и разработкам в этой новой области подключились промышленные корпорации, так что всего через 11 лет авиация смогла стать активным участником боевых действий на фронтах Первой мировой войны. Что же касается вечных двигателей 2-го рода, то число их разработок уже достигает нескольких десятков, причем некоторые из них, как утверждают их авторы, воплощены в металл, однако до признания идеи вечного двигателя 2-го рода пока так же далеко, как и сто лет назад.

И дело не только в том, что Большая Наука, будучи, как я полагаю, «закодированной» в этом пункте В. Оствальдом (разд. 3.5.2, т. I), не желает

¹ См. также в разд. 3.5.3, т. I высказывание А. Тодфлера, в котором упоминаются братья Райт.

обсуждать проекты вечных двигателей 2-го рода. К сожалению, эти проекты в своем большинстве и на самом деле не удовлетворяют научным стандартам, да и публикуются они обычно в весьма странных изданиях. Что, впрочем, и неудивительно, — как говаривал «отец народов», кадры решают всё, а откуда же взяться квалифицированным кадрам в области исследований и разработок вечных двигателей 2-го рода, если Большая Наука объявила эту область лженаучной, не допуская в своих изданиях обсуждения этой проблематики и лишь изредка выстреливая в ее сторону презрительные филиппики? Пребывание на далекой периферии науки, где авторы прожектов вечных двигателей 2-го рода вынуждены вариться в собственном соку, не может не снижать качество их разработок и публикаций. Только в 1990-х гг., когда в России ослабли все путы, на территорию отечественной Большой Науки стали проникать — крайне немногочисленные — публикации сторонников вечных двигателей 2-го рода.

Ситуация с публикациями о вечных двигателях 2-го рода подобна ситуации с Интернетом (где многие из них, кстати говоря, и вывешиваются), в котором, как знает каждый, кто имеет с ним дело, очень много откровенного мусора.

Вот почему мы не будем рассказывать здесь обо всех встретившихся нам прожектах вечных двигателей 2-го рода — в их большинстве они даже у автора этих строк при всем его позитивном настроении к идее таких двигателей не вызывают доверия. Мы опишем только несколько из них — те, что показались нам наиболее достоверными. Это не означает, что все остальные проекты вечных двигателей 2-го рода не стоят выеденного яйца. Может, и стоят, только автор не берется о том судить.

1. **Ветряк Орлова и др.** Вспомним, что говорилось в разд. 7.5.3 о сужающемся потоке идеального газа. Он описывается уравнением Бернулли, две равноправные формы которого применительно к данному случаю имеют вид соотношений (6.2.14) и (6.2.16)

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const, \quad (10.2.1)$$

$$\frac{v^2}{2} + c_p T = const, \quad (10.2.2)$$

где $\gamma = c_p / c_v$, c_p и c_v — теплоемкость идеального газа соответственно при постоянном давлении и объеме, p — давление и ρ — плотность газа, v — скорость потока и T — его абсолютная температура. Согласно уравнению (10.2.2),

ускорение сужающегося потока идеального газа сопровождается его охлаждением,

вызывающим уменьшение тепловой энтропии потока, которое компенсируется ростом нестепловой энтропии, связанным с уменьшением давления потока (см. соотношения (6.2.2) и (6.2.4) и связанный с ними текст). Это означает, что

кинетическая энергия ускоряющегося потока идеального газа возрастает за счет рассеянного в среде тепла.

Реальные газы и жидкости, надо полагать, ведут себя сходным образом, хотя уравнение Бернулли имеет для них более сложный вид. Поток воздуха в узком проходе между домами и горный поток в скалистой горловине, ускоряясь, охлаждаются.

Поместим навстречу ветру сужающуюся трубу, воздух в которой будет разгоняться по «геометрическим» причинам (см. соотношения (7.5.5–7) и связанный с ними текст). Кинетическая энергия потока и в этом случае будет возрастать за счет рассеянного в среде тепла.

Мы можем снабдить сужающуюся трубу турбиной, превратив ее в «фабрику холода». Ничто не мешает, также, объединить сужающуюся трубу и турбину под одним кожухом, как это предлагает сделать группа российских изобретателей во главе с И. С. Орловым [Соболь, 1999; Егоров, 2000; Орлов, 2000]. Их трехступенчатая установка выглядит на чертежах как пузатая бомба, подвешенная вдоль воздушного потока и принимающая его внутрь себя кольцеобразным отверстием. Как и в вихревой турбине Скорнякова (разд. 8.5), газовый поток (в данном случае атмосферный воздух) охлаждается, ускоряясь в сопле Лавалья². Различие в способе обеспечения более полного преобразования тепла в работу. Если у Скорнякова сопло одно, а далее стоит вихревой аппарат, то Орлов с коллегами ставят каскад из трех сопел Лавалья, в последнем из которых помещается турбина. Каждый из этих трех особым образом профилированных каналов в проекции «вид спереди» (поперек ветра) представляет собой кольцо, что не мешает ему в проекции «вид сбоку» (по ветру) оставаться соплом Лавалья.

Если верны выкладки изобретателей, то поток воздуха в их установке будет ускоряться почти до скорости звука. Установка Орлова и др. защищена патентами, но пока, насколько мне известно, не воплощена в металл.

Наличие ветра, добавлю от себя, для установки Орлова и др. не обязательно, ей достаточно иметь на входе в качестве стартера небольшой вентилятор, после запуска она будет засасывать воздух сама. Энергетические устройства такого рода могут быть, полагаю, приспособлены и к водной среде, где они будут иметь, по идее, существенно большую эффективность.

2. «Бестопливный монотермический двигатель» Володько [1998]. К идее своей энергоустановки Ю. И. Володько пришел, рассматривая классическую аэродинамическую задачу об истечении сжатого воздуха через сопло (щель) в среду, заполненную воздухом при низком давлении:

² Напомним, что сопло Лавалья — это (вначале сужающийся, а затем расширяющийся) канал для разгона жидкости или газа и придания потоку заданного направления.

«При выполнении экспериментального исследования... обнаружено, что... механическая энергия истекающей струи значительно (в два и более раз) превышает механическую энергию, необходимую для сжатия воздуха... Избыток механической энергии... в этом эксперименте... взят... из окружающей среды, точнее из атмосферного воздуха, в котором, однако, энергия находится... в виде рассеянной тепловой энергии. Следовательно, ламинарная струя сжатого воздуха³ представляет собой прямой преобразователь внутренней тепловой энергии атмосферного воздуха в механическую энергию» [Володько, 1998. С. 3].

«Выброс охлажденного воздуха является единственным видом воздействия указанного двигателя на окружающую среду» [Там же. С. 2].

По сути дела, двигатель Володько представляет собой вариант установки на тему изотермического расширения газа в пустоту (точнее – в среде с небольшим давлением) с возникновением кинетического потока (см. в разд. 6.2 случай 1.2.2.2).

3. Циклические тепловые машины без холодильника Скорнякова и др., рассмотренные в разд. 8.6, при соответствующим образом подобранном рабочем теле могут иметь в качестве источника энергии не питаемый топливом нагреватель, а рассеянное тепло среды, становясь вечными двигателями 2-го рода:

«Температура рабочего тела в начале процесса расширения может быть выбрана меньшей температуры вещества окружающей среды. Это возможно, если критическая температура вещества рабочего тела достаточно мала. В этом случае вещество окружающей среды может выполнять функцию нагревателя рабочего тела двигателя и являться источником дарового тепла, преобразуемого в эквивалентную механическую работу» [Лунаевский, 2004а. С. 211].

«Тепловые двигатели, реализующие вариант цикла, в котором начальная температура рабочего тела меньше температуры окружающей среды, а вещество среды является нагревателем рабочего тела, представляют новый вид источников даровой механической энергии. Такие источники будут обладать свойствами „вечного двигателя“ второго рода» [Там же. С. 219].

4. Нелинейный электроконденсатор Заева и др., как о том говорилось в разд. 7.5.3, при определенных параметрах установки извлекает тепловую энергию среды, преобразуя ее в электрическую энергию.

³ ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ, негурбулентное течение жидкости или газа, при котором жидкость (газ) перемещается как бы слоями, параллельными направлению течения.

5. Концентрационный элемент Нернста (разд. 6.2 и 7.5.3) генерирует электрический ток за счет рассеянного тепла среды, пока мы подливаем в него электролит.

6. Кольцар Лазарева (см. концовку разд. 7.5.3) может совершать работу за счет рассеянного тепла среды, однако пока непонятно, как придать этому лабораторному феномену производственные масштабы.

Вот, пожалуй, и все проекты вечных двигателей 2-го рода, которые автор решился предъявить читателю, хотя число всех таких проектов, существующих в литературе, как уже говорилось, измеряется десятками.

К каждому отдельно взятому проекту вечного двигателя 2-го рода — даже из числа кажущихся ему достаточно достоверными — автор этих строк, знающий о них только по литературе, не видевший их в «в железе» и не обморозивший о них руки (напомним, что все такие установки должны охлаждаться), относится достаточно скептически. Не скептически же, т. е. вполне позитивно, я настроен только в отношении самой идеи вечных двигателей 2-го рода. Моей задачей было не предъявить проекты вечных двигателей 2-го рода, которые можно было бы немедленно запускать в производство, но продемонстрировать некоторые существующие здесь идеи и убедить читателя в том, что эта область исследований заслуживает позитивного внимания Большой Науки.

Если и когда за отбор разумных проектов вечных двигателей 2-го рода возьмутся крупные энергетические компании, подключив серьезные научные силы, то, уверен, результаты не заставят себя долго ждать.

Из перечисленных здесь проектов вечных двигателей 2-го рода наиболее перспективен, на мой взгляд, ветряк Орлова и др. В его основе лежит феномен, описываемый уравнением Бернулли, которое описывает и возникновение подъемной силы крыла в результате уменьшения давления потока воздуха при его ускорении. И поскольку самолеты спокойно летают себе вот уже более ста лет, не просматривается никаких причин (во всяком случае, их не видит автор этих строк), по каким может не работать энергоустановка Орлова и др., использующая тот же феномен, только с другой — тепловой — его стороны. Уравнение, которое сделало реальностью авиацию, может сегодня поспособствовать в том же вечным двигателям 2-го рода.

Поскольку производство и потребление энергии сводится к превращению одних ее форм в другие и поскольку процессы превращения энергии тем интенсивнее, чем больше градиенты давления, температуры и пр., на которых они происходят, постольку в «фабриках холода» желательно использовать возможно большие природные градиенты. Если же природные градиенты недостаточны, то «фабрика холода» должна создавать их внутри себя, как это и делает, к примеру, та же энергоустановка Орлова и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подведем итоги. Авторская точка зрения состоит в том, что ограниченность ресурсов планеты уже в обозримом будущем заставит социальный мир осуществлять дальнейшую социальную эволюцию через интенсификацию круговоротов энергии и вещества.

Поскольку практически вся потребляемая человеком энергия оказывается рассеянной в среде в виде тепла, постольку круговорот энергии может быть реализован не иначе как круговорот тепла. Пресобразование потребления энергии в круговорот тепла в принципе решит проблему экспоненциального роста потребления энергии, который в противном случае привел бы человечество на Земле к «тепловой смерти». Одновременно принесся и решение проблемы исчерпания энергоресурсов, ускорение круговорота тепла позволит наращивать энергопотребление, оставаясь в пределах Земли, подобно тому, как это делает земной органический мир, который, сохраняя на протяжении миллиардов лет массу биосферы более или менее постоянной, многократно увеличил за это время ежегодное потребление энергии и вещества.

Чтобы перейти к энергетике, которая будет основана на круговороте тепла и которая поэтому может быть названа *термоциклической*, нам предстоит научиться собирать в промышленных масштабах рассеиваемое тепло, чтобы вновь и вновь использовать его энергию. Именно это делают сегодня гео- и гидротермальные энергоустановки и тепловые насосы, однако их КПД, лимитируемый КПД Карно, — из-за малости температурных градиентов рассеянного тепла — невелик, почему они одни совершенно определенно не справятся с этой задачей.

Предлагаемый в книге выход состоит в переходе к тепловым машинам, которые, как и традиционные гео- и гидротермальные установки и тепловые насосы, собирали бы рассеянное тепло, однако делали бы это с КПД, не ограниченным сверху КПД Карно. Такие тепловые машины называются вечными двигателями 2-го рода.

Каноническая точка зрения состоит в том, что вечные двигатели 2-го рода невозможны. С одной стороны, таким образом, имеем угрозу «тепловой смерти», с другой — запрет на вечные двигатели 2-го рода, наложенный Большой Наукой «от имени» второго начала термодинамики. На мой взгляд,

угроза «тепловой смерти» — это достаточно мощный стимул для максимально благожелательного рассмотрения аргументов в защиту вечных двигателей 2-го рода.

При этом, положение не столь безнадежно, как это может показаться на первый взгляд. Не может быть так, полагаю я, чтобы на протяжении длительного времени законы эволюции подстегивали органический мир и человечество к развитию в определенном направлении (в сторону интенсификации метаболизма и круговоротов вещества и энергии), а потом это развитие, в соответствии с законами эволюции, наткнулось бы вдруг на некий закон физики, который, делая невозможным круговорот тепла, обрекал бы человечество на гибель. Уверен, что законы эволюции и законы физики входят в единый и непротиворечивый свод законов природы. Если это и на самом деле так, то запрет на вечные двигатели 2-го рода «должен» оказаться несостоятельным.

Исходя из этих соображений, мы значительную часть настоящей книги уделили анализу существующих в литературе чрезвычайно (чрезмерно) многочисленных формулировок второго начала термодинамики и определений вечных двигателей 2-го рода. Этот анализ и в самом деле привел нас к выводу о несостоятельности запрета на вечные двигатели 2-го рода.

Запрет явился следствием целого ряда ошибок, допущенных основателями термодинамики.

1. С. Карно сделал вывод об обязательности холодильника у любой тепловой машины из устаревшей (ошибочной) идеи о *неуничтожаемости теплорода*, согласно которой при потреблении тепла оно не уничтожается, но только передается от более нагретого тела к менее нагретому. Вот это менее нагретое тело и есть тот самый холодильник, который, по Карно, необходим при всяком потреблении тепла.

Эта логика опирается на опыт потребления энергии: потребляя ее, мы не уничтожаем энергию, но только превращаем одну ее форму в другую. Однако потребление энергии принципиально отличается от потребления тепла, ибо потребление тепла означает именно его уничтожение:

потребляя тепло, мы превращаем его в другую форму энергии (в работу), т. е. уничтожаем как тепло (уничтожаем теплород). Поскольку же, потребляя тепло, мы не передаем его от более нагретого тела к менее нагретому, но превращаем его в другие формы энергии, постольку холодильник при этом не необходим.

2. Р. Клаузиус, В. Томсон и другие последователи Карно, отказавшись от теплорода, не исправили его ошибку, потому что работали исключительно с *классическими* тепловыми машинами, имеющими две особенности, которые делают холодильник необходимым:

- 1) цикличность;
- 2) простое рабочее тело (однородный и однофазный газ).

Возвращая такое рабочее тело в начальное состояние, мы вынуждены, охлаждая его, отдавать часть полученного от нагревателя тепла холодильнику. Между тем,

для нециклических тепловых машин и для циклических тепловых машин с двухфазным рабочим телом газ — жидкость холодильник не обязателен.

Примером нециклической тепловой машины может служить работающий в вакууме ракетный двигатель, для которого говорить об охлаждении продуктов сгорания за бортом не приходится — в вакууме продукты сгорания не охлаждаются, расширение газа в пустоту происходит изотермически. Это абсолютно верно для идеального газа и с достаточной точностью — для реальных (разд. 6.2 и 8.5).

Что же касается циклических тепловых машин с двухфазным рабочим телом, то, как это было независимо показано в последние три десятилетия несколькими авторами, возвращение рабочего тела в начальное состояние может осуществляться для таких машин не с передачей тепла холодильнику, но с возвращением этой части тепла нагревателю (разд. 8.6). Холодильник становится для таких машин лишним, КПД — не ограниченным КПД Карно.

3. Закон возрастания энтропии некорректно сводится к «закону» возрастания *тепловой* энтропии, тогда как действует закон возрастания *полной* энтропии. Если вы признаёте «закон» возрастания тепловой энтропии несостоятельным, то придёте к выводу, что тепловой энтропии убывать не возбраняется, а компенсация превращения тепла в работу может быть и нетепловой.

4. Действующая на Земле *тенденция* к рассеянию нетепловых форм энергии в виде тепла некорректно трансформируется в не знающий исключений *закон*, что заставляет отрицать самую возможность использования рассеянного в среде тепла как источника «даровой» энергии.

История с вечными двигателями 2-го рода показывает, что запреты Большой Науки на те или иные направления исследований и разработок, мягко говоря, непродуктивны. Сотни, а, может быть, и тысячи изобретателей и ученых по всему миру вот уже более века разрабатывают проекты энергоустановок, которые могли бы быть вечными двигателями 2-го рода, однако Большая Наука не даст им ходу, исходя из весьма спорного и туманного запрета, сформулированного классиками термодинамики и статистической физики во второй половине XIX в. К ничему хорошему это привести не могло. Человечеству угрожает сегодня вполне реальная «тепловая смерть» на Земле, отвести которую можно — в авторском сценарии — только при условии отказа от запрета на вечные двигатели 2-го рода. Апробированных же разработок таких энергоустановок у нас, благодаря усилиям Большой Науки, нет. Человечество — и уже не в первый раз — рискует погибнуть по собственной глупости.

Цель этой книги — попытаться переломить негативное отношение Большой Науки к идее вечных двигателей 2-го рода. До сих пор эта область

исследований и разработок пребывает на дальней периферии науки и потому — иначе и быть не могло — в ней задействованы в основном инженеры и ученые не самой высокой квалификации. И всё потому, что во второй половине XIX в. Большая Наука, как я считаю, ошибочно выбрала в области термодинамики и статистической физики тупиковую ветвь развития. Эта ситуация — из-за фрактальности науки, в силу которой она развивается через каскад точек ветвления, — достаточно обычна и даже нормальна, однако сегодня Большой Науке пора переходить с этой тупиковой ветви на магистральную, иначе эволюция накажет нас «тепловой смертью».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Равновесные термодинамические равенства

В отличие от механики, термодинамика не сводит процессы, происходящие в физической системе, к движению составляющих ее частей. В качестве термодинамических переменных выступают, поэтому, такие существенно макроскопические (не имеющие микроскопического аналога¹) величины как объем V , давление P , энтропия S , температура T . Функциями этих независимых переменных являются термодинамические потенциалы: энергия E , свободная энергия Гельмгольца (или просто свободная энергия) F , тепловая функция (энтальпия) W , свободная энергия Гиббса (или просто термодинамический потенциал) Φ . Термодинамические соотношения, связывающие дифференциалы термодинамических потенциалов (или, что то же самое, скорости их изменения достаточно разделить соотношения для дифференциалов на dt), представляют собой записи баланса энергии в разных переменных и *определяются сегодня только для равновесного случая*.

Если равновесная термодинамическая система изолирована, то все характеризующие ее переменные и потенциалы постоянны во времени. Изменяться они могут, когда система находится в контакте со средой, с

¹ То есть в статистической физике (механике) все они могут быть определены лишь на ансамбле механических (микро)систем, характеризуемых набором координат q и импульсов p и гамильтонианом $H(q, p)$, и не могут — для отдельной микросистемы. Энтропию можно записать как результат усреднения по ансамблю функции координат и импульсов отдельной микросистемы — $k \ln \rho(q, p)$,

$$S = -k \ln \overline{\rho(q, p)} = -k \int \rho(q, p) \ln \rho(q, p) dq dp, \quad (\text{С. П. 1.1})$$

однако величина — $k \ln \rho(q, p)$, как и фазовая плотность $\rho(q, p)$, вводится только на ансамбле микросистем.

которой она может обмениваться различными видами энергии — механической, тепловой, химической — причем этот обмен предполагается не нарушающим равновесности системы, для чего все процессы считаются здесь бесконечно медленными (квазиравновесными)². Часто принимают (постулируют), что процесс обмена механической и тепловой энергиями со средой характеризуется одной механической переменной — объемом V или давлением P — и одной тепловой — энтропией S (которая в современной термодинамике трактуется как исключительно тепловая величина, что заведомо некорректно — см. разд. 5.5 и гл. 6–7) или температурой T . Всего таким образом могут быть образованы четыре пары независимых переменных, каждой из которых отвечает свой термодинамический потенциал и свое термодинамическое соотношение, записывающее дифференциальный энергетический баланс для термодинамической системы:

$$V, S \quad dE = -PdV + TdS, \quad E, \quad (\text{П. 1.1})$$

$$V, T \quad d(E - TS) = dF = -PdV - SdT, \quad F = E - TS, \quad (\text{П. 1.2})$$

$$P, S \quad d(E + PV) = dW = VdP + TdS, \quad W = E + PV, \quad (\text{П. 1.3})$$

$$P, T \quad d(E - TS + PV) = d\Phi = VdP - SdT, \quad \Phi = E - TS + PV. \quad (\text{П. 1.4})$$

Переменные V и S и потенциалы в равновесном случае аддитивны, тогда как переменные P и T постоянны вдоль системы:

$$\begin{aligned} E &= Nf\left(\frac{V}{N}, \frac{S}{N}\right), & F &= Nf\left(\frac{V}{N}, T\right), \\ W &= Nf\left(P, \frac{S}{N}\right), & \Phi &= Nf(P, T) \end{aligned} \quad (\text{П. 1.5})$$

(N — число частиц в системе).

Когда система обменивается со средой не только механической и тепловой энергией, но и массой, добавляется независимая переменная N , отвечающая за изменение химической энергии:

$$V, S, N \quad dE = -PdV + TdS + \mu dN, \quad (\text{П. 1.6})$$

$$V, T, N \quad dF = -PdV - SdT + \mu dN, \quad (\text{П. 1.7})$$

$$P, S, N \quad dW = VdP + TdS + \mu dN, \quad (\text{П. 1.8})$$

$$P, T, N \quad d\Phi = VdP - SdT + \mu dN. \quad (\text{П. 1.9})$$

² См. в разд. 5.5.6 о некорректности квазиравновесного приближения при описании необратимых процессов.

Величина

$$\mu = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial N} \right)_{P, T} \quad (\text{П. 1.10})$$

называется химическим потенциалом, поскольку, согласно (П. 1.5) и (П. 1.10), ей пропорционален термодинамический потенциал Φ :

$$\Phi = \mu N. \quad (\text{П. 1.11})$$

Однако, строго говоря, μ является переменной, сопряженной N . Если в соотношения (П. 1.6–9) подставить тождество

$$\mu dN = d(\mu N) - N d\mu, \quad (\text{П. 1.12})$$

получим соотношения

$$V, S, \mu \quad d(E - \mu N) = dE_\mu = -PdV + TdS - Nd\mu, \quad E_\mu = E - \mu N, \quad (\text{П. 1.13})$$

$$V, T, \mu \quad d(F - \mu N) = dF_\mu = -PdV - SdT - Nd\mu, \quad F_\mu = F - \mu N, \quad (\text{П. 1.14})$$

$$P, S, \mu \quad d(W - \mu N) = dW_\mu = VdP + TdS - Nd\mu, \quad W_\mu = W - \mu N, \quad (\text{П. 1.15})$$

$$P, T, \mu \quad d(\Phi - \mu N) = d\Phi_\mu = VdP - SdT - Nd\mu, \quad \Phi_\mu = \Phi - \mu N, \quad (\text{П. 1.16})$$

где E_μ , F_μ , W_μ и Φ_μ — термодинамические потенциалы, являющиеся функциями не N , как потенциалы E , F , W и Φ , но μ . Потенциал F_μ часто обозначают Ω . Сопоставляя (П. 1.2) и (П. 1.14), получаем для него соотношение

$$E = \Omega + \mu N + TS, \quad (\text{П. 1.17})$$

являющееся макроскопическим аналогом большого канонического распределения³. С учетом (П. 1.11) для Ω имеем также равноценное соотношение

³ Большое каноническое распределение

$$\rho(q, p, N) = \exp \frac{\Omega + \mu N - H(q, p, N)}{kT} \quad (\text{С. П. 1.2})$$

отличается от канонического (распределения Гиббса)

$$\rho(q, p) = \exp \frac{F - H(q, p)}{kT} \quad (\text{С. П. 1.3})$$

включением зависимости от N . Усредняя каноническое распределение по ансамблю, т. е. умножая его правую и левую части на $\rho(q, p)$ и интегрируя по $dqdp$, получаем $E = F + TS$. Эта же операция с большим каноническим распределением дает $E = \Omega + \mu N + TS$. Это и означает, что каноническое и большое каноническое распределения являются микроскопическими аналогами этих макроскопических соотношений.

$$\Omega = F - \Phi = (E - TS) - (E - TS + PV) = -PV. \quad (\text{П. 1.18})$$

Аналогичным образом в равновесии

$$\Phi_{,\mu} = \Phi - \Phi = 0. \quad (\text{П. 1.19})$$

В общем случае вместо N могут фигурировать переменные λ_i немеханической и нетепловой природы, в качестве которых могут выступать, например, числа n_i (молей) частиц разных сортов.

Соотношение

$$dE = -PdV + TdS \quad (\text{П. 1.20})$$

в равновесной термодинамике часто называют *основным*, остальные подобны ему либо могут быть из него получены. С его обоснованием и с определением входящих в него величин в термодинамике возникают, неразрешимые трудности. Строго это соотношение получают, определяя давление P и температуру T выражениями

$$P = -\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_S, \quad T = \left(\frac{\partial E}{\partial S}\right)_V. \quad (\text{П. 1.21})$$

Однако определения (П. 1.21) и соотношение (П. 1.20) образуют замкнутый логический круг: мы определяем величины P и T выражениями (П. 1.21), получаем с помощью этих определений равенство (П. 1.20), а затем собираемся его использовать в качестве описывающего термодинамическую систему соотношения, как если бы умели определять каким-то независимым образом значения входящих в это соотношение величин. Пока мы остаемся в пределах термодинамики, это оказывается невозможным, аксиоматика, лежащая в основании термодинамики, носит в принципе ограниченный характер. Определение термодинамических величин также лежит вне термодинамики.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Элементы неравновесной термодинамики

П. 2.1. Неравновесные макроскопические неравенства

В равновесном случае справедливо основное термодинамическое соотношение:

$$dE = -PdV + TdS . \quad (\text{П. 2.1})$$

Покажем, что если, как это принято в современной термодинамике, трактовать термодинамическую энергию E как полную энергию системы, то это равенство переходит в общем неравновесном случае в неравенство

$$dE \leq -PdV + TdS . \quad (\text{П. 2.2})$$

Возьмем сначала случай, когда над равновесной замкнутой системой работа не совершается и когда соотношение (П. 2.1) принимает вид

$$dE = TdS . \quad (\text{П. 2.3})$$

Если систему, оставляя равновесной, изолировать, то равенство (П. 2.3) останется в силе, только его левая и правая части окажутся равными нулю: $TdS = 0$ в силу закона сохранения (полной) энергии, а $dE = 0$ в силу равновесности системы. Ситуация изменяется, когда такая изолированная система перестает быть равновесной. Тогда по-прежнему $dE = 0$, но теперь уже $TdS \geq 0$, так что равновесное равенство (П. 2.3) переходит в неравновесное неравенство

$$dE \leq TdS . \quad (\text{П. 2.4})$$

В общем случае разложим каждый из трех входящих в равенство (П. 2.1) членов на два слагаемых, первое из которых отвечает за измене-

нис, вызываемое внутренними процессами, а второе — за изменение, вызываемое средой:

$$dE = d_i E + d_e E, \quad (\text{П. 2.5})$$

$$-PdV = -Pd_i V - Pd_e V, \quad (\text{П. 2.6})$$

$$TdS = Td_i S + Td_e S. \quad (\text{П. 2.7})$$

Закон сохранения (полной) энергии E записывается выражением

$$d_i E = 0. \quad (\text{П. 2.8})$$

Работа, совершаемая над системой, по определению имеет внешнее по отношению к системе происхождение:

$$-Pd_i V = 0. \quad (\text{П. 2.9})$$

Равенство (П. 2.1) может быть представлено, таким образом, в виде суммы двух равенств

$$d_i E = -Pd_i V + Td_i S, \quad (\text{П. 2.10})$$

$$d_e E = -Pd_e V + Td_e S, \quad (\text{П. 2.11})$$

однако в равновесии все члены, составляющие (П. 2.10), равны нулю, поскольку к равенствам (П. 2.8–9) следует добавить в этом случае равенство

$$Td_i S = 0. \quad (\text{П. 2.12})$$

В неравновесном случае равенство (П. 2.11) сохраняет силу, а вот равенство (П. 2.10) переходит в неравенство

$$d_i E \leq -Pd_i V + Td_i S. \quad (\text{П. 2.13})$$

Это следует из фиксирующего второе начало неравенства (5.6.7)

$$0 \leq Td_i S \quad (\text{П. 2.14})$$

(напомним, что абсолютная температура неотрицательна), если в его левую часть дописать равную нулю величину $d_i E$, а в правую — также равную нулю величину $-Pd_i V$. Складывая соотношения (П. 2.11) и (П. 2.13), получаем неравенство (П. 2.2).

Подобно тому как равновесное равенство (П. 1.1) дает равенства (П. 1.2–4), неравновесное неравенство (П. 2.2) дает неравенства

$$dF \leq -PdV - SdT, \quad (\text{П. 2.15})$$

$$dW \leq VdP + TdS, \quad (\text{П. 2.16})$$

$$d\Phi \leq VdP - SdT, \quad (\text{П. 2.17})$$

если в его правую часть дописать соответственно $SdT - SdT$, $VdP - VdP$ и $VdP - VdP + SdT - SdT$.

Неравенства (П. 2.2) и (П. 2.15–17) показывают, что энтропия не убывает ($dS \geq 0$) не только в случае изолированной системы, но и в случае замкнутой системы при постоянных (полной) энергии E и объеме V или при постоянных энтальпии W и давлении P . В случае замкнутой системы при постоянных объеме V и энтропии S второе начало звучит уже как закон убывания (полной) энергии E ($dE \leq 0$), при постоянных V и T — как закон убывания свободной энергии F ($dF \leq 0$), при постоянных P и S — как закон убывания энтальпии W ($dW \leq 0$) и при постоянных P и T (как это имеет место, например в живых системах) — как закон убывания термодинамического потенциала Φ ($d\Phi \leq 0$):

$$dE \leq 0 \quad \text{при } V = \text{const}, S = \text{const}, \quad (\text{П. 2.18})$$

$$d(E - TS) = dF \leq 0 \quad \text{при } V = \text{const}, T = \text{const}, \quad (\text{П. 2.19})$$

$$d(E + PV) = dW \leq 0 \quad \text{при } P = \text{const}, S = \text{const}, \quad (\text{П. 2.20})$$

$$d(E - TS + PV) = d\Phi \leq 0 \quad \text{при } P = \text{const}, T = \text{const}. \quad (\text{П. 2.21})$$

Аналогичным образом доказывается переход равновесных равенств (П. 1.6–9) в неравновесные неравенства

$$dE \leq -PdV + TdS + \mu dN, \quad (\text{П. 2.22})$$

$$dF \leq -PdV - SdT + \mu dN, \quad (\text{П. 2.22})$$

$$dW \leq VdP + TdS + \mu dN, \quad (\text{П. 2.24})$$

$$d\Phi \leq VdP - SdT + \mu dN, \quad (\text{П. 2.25})$$

когда система обменивается со средой не только механической и тепловой энергией, но и массой. Легко могут быть получены и неравновесные неравенства в еще более общем случае, когда вместо N фигурируют переменные λ_j немеханической и нетепловой природы.

Таким образом, сегодня в неравновесной области теоретическая термодинамика не располагает какими бы то ни было дифференциальными равенствами (уравнениями). Ситуация еще более осложняется тем, что участвующие в неравновесных неравенствах переменные (кроме объема V , к которому статистическая физика добавляет еще энтропию S) и потенциалы (кроме энергии E) вводятся, как мы видели, с помощью *равновесных равенств*. Это обстоятельство известно, и именно из-за него термодинамические неравенства считают справедливыми только для слабо неравновесных систем.

П. 2.2. Линейная (околоравновесная) термодинамика

Положение немного исправляется в околоравновесной области линейной термодинамикой, развитой в 1931 г. норвежским физиком Л. Онсагером.

Пусть необратимые процессы, протекающие в данной закрытой системе, описываются n макроскопическими величинами x_1, \dots, x_n , значения которых в равновесии равны нулю. Функцией этих величин является и энтропия S . Обозначив равновесное значение энтропии через S_0 , неравновесное ее значение представим в виде

$$S = S_0 + \Delta S(x_1, \dots, x_n). \quad (\text{П. 2.26})$$

Для скорости роста энтропии можно записать выражение

$$\frac{dS}{dt} = \sum \frac{\partial(\Delta S)}{\partial x_j} \dot{x}_j. \quad (\text{П. 2.27})$$

Обозначим:

$$X_j = \frac{\partial(\Delta S)}{\partial x_j} = \frac{\partial S}{\partial x_j}, \quad (\text{П. 2.28})$$

$$J_j = \dot{x}_j. \quad (\text{П. 2.29})$$

Величины X_j называют *термодинамическими силами*, J_j — *термодинамическими потоками*. Соотношение (П. 2.27) принимает в этих обозначениях вид

$$\frac{dS}{dt} = \sum X_j J_j. \quad (\text{П. 2.30})$$

Для открытой системы dS/dt в (П. 2.30) заменяется на $d_i S/dt$:

$$\frac{d_i S}{dt} = \sum X_j J_j. \quad (\text{П. 2.31})$$

Часто термодинамические силы и потоки относят к единице объема, и тогда соотношение (П. 2.31) принимает вид

$$\sigma = \sum X_j J_j. \quad (\text{П. 2.32})$$

В равновесии термодинамические силы и потоки равны нулю. Поэтому вблизи него потоки J_j можно разложить в ряд по степеням X_j :

$$J_j = J_j(\{X_k\}) = J_j(0) + \sum_k \left(\frac{\partial J_j}{\partial X_k} \right)_0 X_k + \dots \quad (\text{П. 2.33})$$

Первый член этого разложения отвечает равновесию и тождественно равен нулю. Ограничиваясь приближением первого порядка, получаем, поэтому, соотношение

$$J_j = \sum L_{jk} X_k, \quad (\text{П. 2.34})$$

где

$$L_{jk} = \left(\frac{\partial J_j}{\partial X_k} \right)_0. \quad (\text{П. 2.35})$$

Коэффициенты L_{jk} называются *коэффициентами Онсагера*, или *кинетическими коэффициентами*. Из (П. 2.34) можно найти X_j :

$$X_j = \sum R_{jk} J_k, \quad (\text{П. 2.36})$$

где матрица R_{jk} является обратной по отношению к L_{jk} :

$$\sum_k L_{jk} R_{kl} = \delta_{jl}. \quad (\text{П. 2.37})$$

Соотношения (П. 2.34) и (П. 2.36), называемые *соотношениями Онсагера*, — главные в его теории, которая, как видим, действительно линейна и работает только вблизи равновесия. С помощью этих соотношений для производства энтропии получаем выражения

$$\sigma = \sum_{j,k} L_{jk} X_j X_k = \sum_{j,k} R_{jk} J_j J_k. \quad (\text{П. 2.38})$$

Сами по себе соотношения Онсагера представляют собой просто определенным образом унифицированную запись феноменологических уравнений переноса вещества (т. е. диффузии), тепла (т. е. теплопроводности) и др. Скажем, уравнение диффузии

$$J_\mu = -D \text{grad } \mu \quad (\text{П. 2.39})$$

(j_μ — вектор потока химического потенциала) может быть представлено в виде

$$j_\mu = J = LX = (DT) \left(-\frac{1}{T} \text{grad } \mu \right), \quad (\text{П. 2.40})$$

так что здесь

$$L = DT, \quad X = -\frac{1}{T} \text{grad } \mu, \quad \sigma = XJ = \frac{D}{T} (\text{grad } \mu)^2 \quad (\text{П. 2.41})$$

[Денбиг, 1954. С. 71].

Линейность — не открытие Онсагера, это просто приближение первого порядка, в котором записаны уравнения переноса и в котором сплошь и рядом работают физики. Другое дело, полученное им же соотношение взаимности

$$L_{jk} = L_{kj}, \quad (\text{П. 2.42})$$

открытие которого

«по праву может считаться поворотным пунктом в истории термодинамики» [Пригожин, 1985. С. 101]

и которое было доказано Онсагером с помощью энтропийного вариационного принципа.

П. 2.3. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии

Другим важным результатом линейной термодинамики считается теорема о минимуме производства энтропии, сформулированная и доказанная И. Пригожиным в 1945 г. В ней идет речь об открытой системе, близкой к равновесию и описываемой линейной термодинамикой. Согласно теореме Пригожина,

если заданные граничные условия, фиксируемые значениями термодинамических сил, не дают системе достичь равновесия при нулевом производстве энтропии, то система переходит в стационарное состояние, минимизирующее производство энтропии при данных значениях этих сил на уровне некоторого отличного от нуля постоянного во времени значения.

В случае n термодинамических сил X_1, \dots, X_n , из которых k сил X_1, \dots, X_k остаются постоянными, для стационарного состояния имеет место

$$J_{k+1} = \dots = J_n = 0, \quad (\text{П. 2.43})$$

причем (П. 2.43) эквивалентно равенствам

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_j} = 0, \quad j = k+1, \dots, n. \quad (\text{П. 2.44})$$

Доказывается теорема дифференцированием выражения для производства энтропии σ по нефиксированным внешними условиями термодинамическим силам. Используя для σ выражение (П. 2.38), с учетом (П. 2.34) получаем

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_j} = 2J_j, \quad j = k+1, \dots, n. \quad (\text{П. 2.45})$$

Так что

величины J_j и $\partial \sigma / \partial X_j$ достигают нуля одновременно, что и составляет содержание теоремы Пригожина

[Пригожин, Дсфэй, 1966. С. 486].

Поскольку в теореме Пригожина идет речь о соотношении

$$\sigma = \min, \quad (\text{П. 2.46})$$

постольку сегодня распространена ее трактовка как *вариационного принципа*, чему способствовал и сам Пригожин, называвший свою теорему экстремальным принципом [Гленсдорф, Пригожин, 1973. С. 48]. Термины *экстремальный* и *вариационный* тесно связаны, вариационное исчисление определяется как

«раздел вычислительной математики, посвященный методам отыскания экстремальных значений функционалов» [Математический..., 1988. С. 104].

С такой трактовкой теоремы, однако, возникают определенные сложности. Прежде всего, вдали от равновесия она несправедлива:

«Едва была сформулирована теорема о минимуме производства энтропии, — пишет Пригожин, — как сразу же стало ясно, что она строго выполняется только в окрестности состояния равновесия... Когда же выяснилось, что в системах, далеких от равновесия, термодинамическое поведение может быть совершенно иным, более того, даже прямо противоположным тому, которое предсказывает теорема о минимуме производства энтропии, то эти результаты были восприняты как весьма неожиданные» [Пригожин, 1985. С. 103].

Неожиданными эти результаты являются только потому, что ломают традиционные представления о необратимых процессах как ведущих к состоянию равновесия с замедлением роста энтропии. Наблюдаемое ускорение необратимой во времени эволюции ясно показывает, что рассмотрение необратимых процессов как исключительно процессов релаксации неправомерно (разд. 7.5.2.2 и П. 3.2.5). О том же говорят синергетика и анализируемые ею явления [Хайтун, 2005а. Прил. 5]. Ни в теории эволюции, ни в синергетике вообще не возникает понятия равновесного состояния, соответствующего некоторому максимальному значению энтропии. Соответственно здесь не фигурирует и тезис о замедлении роста энтропии по времени.

Трудности с теоремой Пригожина отпадают, если принять во внимание, что она вовсе не является вариационным принципом минимального производства энтропии.

В самом деле, о чем говорит этот принцип?¹ О том, что система выбирает путь, отвечающий *минимальному на каждый текущий момент времени* производству в ней энтропии. Теорема Пригожина говорит о другом — о том, *каким реально оказывается этот выбранный системой путь вблизи равновесия*. Поскольку в равновесном состоянии не только максимизируется энтропия, но и минимизируется (попросту равно нулю) производство энтропии, постольку этот путь оказывается здесь таким, что производство энтропии уменьшается во времени, достигая в конечном стационарном состоянии минимума, а в равновесном — нуля вообще.

¹ В действительности ситуация с вариационным энтропийным принципом сложнее, чем она здесь выглядит. В природе, судя по всему, действует не просто принцип минимального производства энтропии и не просто принцип максимального производства энтропии, но определенная их комбинация, которую мы называем *вариационным принципом минимакса*: минимизируется скорость роста энтропии, не ведущего к последующему росту энтропии (что и имеет место в случае релаксации системы), и максимизируется скорость роста энтропии, ведущего к последующему росту энтропии (разд. 2.4.3.1, т. 1).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Энтропия и беспорядок *

Как говорилось разд. 7.2.1, физическая теория эволюции, согласно которой всё развивается с ростом энтропии в сторону упрощения, находится в разительном противоречии с теорией эволюции, которая создается в биологии, науках о Земле и космогонии и согласно которой эволюция происходит в сторону усложнения. Физическая же теория эволюции, говорили мы, опирается на *трактовку энтропии как меры беспорядка*.

В этом приложении будут кратко рассмотрены основные направления, в которых билась мысль ученых в поисках решения проблемы применимости закона возрастания энтропии (проблемы «двух эволюций»). Мы предъявим эмпирические факты и аргументы в защиту тезиса о том, что «томсоновская» картина мира, в соответствии с которой порядок всегда переходит в хаос, должна быть дополнена «антитомсоновской», согласно которой, наоборот, порядок может порождаться хаосом. Только тогда картина мира примет достаточно объемный характер, отражая реальное положение вещей.

П. 3.1. Попытки решения проблемы применимости закона возрастания энтропии (проблемы двух эволюций)

Уточним терминологию. В дальнейшем мы будем иногда говорить о трактовке энтропии как меры *беспорядка/сложности*. Термином «беспорядок/сложность» мы обозначаем для краткости совокупность двух переменных: «порядок – беспорядок», значения которой меняются от полного

* Переработанные и дополненные гл. 9 книги [Хайтун, 1996] и гл. 3 книги [Хайтун, 2005a].

«порядка» до полного «беспорядка», и «сложность простота», значения которой меняются от «сложного» до «простого». Эти две переменные, строго говоря, не совпадают, однако мы их различать не будем. То есть «сложная» система является для нас здесь и «упорядоченной», а «простая» — «неупорядоченной». Это, конечно, не вполне правомерно. В оправдание можно сказать, что большинство авторов поступает так же, не оговаривая того.

И еще одно терминологическое замечание. Второе начало термодинамики, как оно представлено в литературе, включает в себя пять компонент (см. разд. 6.3), одной из которых является закон возрастания *полной* энтропии, а другой — (несостоятельный — см. разд. 7.5) «закон» возрастания *тепловой* энтропии. Однако, подавляющее большинство обсуждаемых в настоящем приложении авторов не проводят различия между вторым началом и законом возрастания энтропии, по-видимому, отождествляя их; не склонны они различать и закон возрастания *полной* энтропии и «закон» возрастания *тепловой* энтропии. Однако мы к ним придраться в этом пункте не станем, дабы не занимать лишнего места.

П. 3.1.1. Первое направление: некритическое восприятие закона возрастания энтропии

Мы обязаны начать с ученых, которые, принимая на веру закон возрастания энтропии как задающий направление эволюции, вообще не реагируют на обсуждаемую проблему. Отсутствие рефлексии — тоже своего рода рефлексия.

Характерно, что, перескакивая трудный для осмысления уровень окружающей нас сложных живых и неживых систем, эти ученые часто прилагают закон возрастания энтропии сразу ко всей Вселенной. Здесь мы должны указать доклад Больцмана 1886 г., в котором говорилось:

«Таким образом, второй закон констатирует непрерывный рост деградации энергии, пока наконец не прекратятся все напряжения, которые могли бы произвести работу, и не прекратятся все видимые движения во Вселенной.

Все попытки спасти Вселенную от этой тепловой смерти остались безуспешными» [Boltzmann, 1886; Рус. пер. С. 11].

Впоследствии Больцман пересмотрел свою точку зрения, выдвинув флуктуационную гипотезу (см. разд. П. 3.1.2). Апокалиптическая картина тепловой смерти мира, однако, продолжала притягивать внимание ученых, оказывая глубокое воздействие на общественную мысль. Показательно следующее высказывание Н. А. Бердяева, в котором он связывает рост энтропии со стремлением к социальному равенству:

«Прочности нельзя искать в физическом миропорядке. Физика постановляет смертный приговор миру. Мир погибнет в равномерном распределении тепловой смерти во Вселенной, энергии, необратимой в другие формы энергии. Энергии творческие, создающие многообразие космоса, идут на убыль. Мир погибнет от неответимого и непреодолимого стремления к физическому равенству. И не есть ли стремление к равенству в мире социальном та же энтропия, та же гибель социального космоса и культуры в равномерном распределении тепловой энергии, необратимой в энергию, творящую культуру» [Бердяев, 1922. С. 70–71].

Идея тепловой смерти Вселенной жива и сегодня. Скажем, Дж. Д. Барроу и Ф. Дж. Типлер пишут, что, если

«Вселенная расширяется постоянно, она станет неограниченно иррегулярной в далеком будущем... Мы связываем рост иррегулярности с ростом энтропии гравитационного поля и, таким образом, даем новую картину тепловой смерти Вселенной» [Barrow, Tipler, 1978].

П. Девис предлагает уже два варианта гибели всего живого во Вселенной. Если Вселенная расширяется вечно, пишет он, то второе начало утверждает, что

«энтропия будет неответимо продолжать расти, пока не будет достигнуто равновесие, когда прекращается всякая организованная активность» [Davies, 1978. P. 179].

Если же после фазы расширения Вселенной последует фаза сжатия, то будущее не менее мрачно:

«Неприятная истина представляется такой: неумолимая дезинтеграция Вселенной, насколько мы знаем, кажется неизбежной, организация, которая поддерживает всякую упорядоченную активность, от человека до галактики, медленно, но неумолимо исчезнет и даже может быть предана забвению в гравитационном коллапсе» [Op. cit. P. 197].

Другие авторы смотрят на будущее Вселенной менее пессимистично. Например, Д. Н. Пэйдж и М. Р. МакКи [Page, McKee, 1981] полагают, что Вселенная Фридмана¹ может никогда не достичь равновесия, и тогда рост ее энтропии окажется неограниченным. Вселенной в этой картине ничего не грозит.

Некоторые ученые настолько уверены в справедливости закона возрастания энтропии, что отождествляют энтропию со временем. Скажем, в такой формулировке:

¹ То есть, однородная и изотропная нестационарная — расширяющаяся или сжимающаяся — Вселенная [Хайтун, 2005а. Разд. 6.5.1].

«Энтропия монотонно возрастает вдоль траектории и поэтому может быть отождествлена с собственным временем системы, которое в этом случае естественно назвать ее энтропийным временем» [Левич, 2003. С. 30].

У. С. Франклин [Franklin, 1910], возможно, первым предположил, что представление о времени, имеющем определенное направление, полностью связано с необратимыми процессами в сторону возрастания энтропии. Дискуссия по этому вопросу продолжалась и во второй половине XX в. [Blum, 1951; Grünbaum, 1955; Popper, 1967a, b].

На мой взгляд, из монотонности возрастания энтропии вовсе не следует возможность ее отождествления со временем. Если мы отождествляем энтропию со временем, то лишаемся возможности рассматривать скорость роста энтропии dS/dt . Хорошо известно, между тем, что эта скорость, вообще говоря, изменяется во времени. Скажем, падает по мере приближения релаксирующей системы к равновесному состоянию.

К слову, в полной публикации процитированного текста А. П. Левича приведенная формулировка заменена несколько более корректной:

«Энтропийный экстремальный принцип влечет монотонное увеличение энтропии состояний вдоль траектории изменчивости (последовательности состояний). Тем самым значения энтропии параметризуют изменения системы, другими словами, возникает энтропийная параметризация времени, или энтропийное время систем» [Левич, 2004. С. 92].

И, вообще, время — это не только фундаментальная сущность, т. е. относящаяся к материальному миру непознаваемое свойство бытия, воспринимаемое нами как данность², но, если говорить на языке теории измерения, еще и латентная переменная, или латента, выбор шкалы которой находится в руках субъекта измерения и которую (шкалу) целесообразно выбирать «естественной», т. е. открытой, линейной и «первично аддитивной» (см. разд. II. 3.2.3 и [Haitun, 1986; Хайтун, 1989; 2005a. Прил. 9]). Субъект измерения волен, конечно, отождествив время с энтропией, сделать шкалу времени нелинейной, но в этом, во-первых, не было бы никакой «физики», одна только «теория измерения», а, во-вторых, нелинейная шкала времени, как и любой другой латенты, была бы неудобна в приложениях.

Некритическое восприятие закона возрастания энтропии как закона эволюции было свойственно и такому большому специалисту в области математической биологии, как А. Лотка. Казалось бы, он в первую очередь

² «Время как имманентный признак существования движущейся материи универсально и в когнитивном плане апостериорно» [Дрюк, 2004. С. 108]. О фундаментальных сущностях см. [Хайтун, 2005a. Разд. 4.1.1].

должен был обратить внимание на трудности, связанные с распространением этого закона на биологическую эволюцию, которая совершенно определенно идет в сторону усложнения. Но нет, в своих «Элементах математической биологии» он пишет, что

«направление эволюции... есть направление необратимых преобразований. Для изолированной системы оно есть направление увеличения энтропии. Закон эволюции в этом смысле — второе начало термодинамики» [Lotka, 1956. P. 26].

Промежуточное положение между учеными, не рефлексировавшими на обсуждаемую проблему и рефлексировавшими на нее, занимает известный астрофизик Дж. Силк. Он констатирует существование в современной астрофизике двух подходов. Согласно первому, который он называет «консервативным», ранняя Вселенная была упорядоченной:

«Вселенная всегда переходит от „порядка“ к „беспорядку“, поэтому энтропия всегда растет» [Фейнман и др., 1977б. С. 383].

Согласно второму, «революционному», в ранней Вселенной, напротив, царил хаос. Чтобы оставить в силе закон возрастания энтропии, трактуемой им как «мера беспорядка в физической системе» [Силк, 1982. С. 152], Силк сознательно выбирает «консервативный» подход:

«По мере того как в процессе эволюции Вселенной ее структура становится всё более сложной, время и энтропия необратимо продолжают расти. Поэтому кажется более вероятным постулировать относительную однородность и порядок ранней Вселенной, чем хаос» [Силк, 1982. С. 152].

Согласно т. н. Бюраканской концепции, которую и защищает Силк, эволюционные

«процессы во Вселенной протекают не от более разреженных состояний к более плотным, а наоборот — от плотных или даже сверхплотных состояний к более рассеянным» [Амбарцумян, Казютинский, 1979. С. 38].

Однако эта концепция постепенно заглохла, аргументы в ее защиту не публикуются [Гинзбург, 1980. С. 32], среди астрофизиков всё более преобладающей становится «революционная» точка зрения. Поражение Бюраканской концепции, на мой взгляд, служит еще одним аргументом против трактовки энтропии реальных систем как меры беспорядка.

О существующих объяснениях ненаступления «тепловой смерти» Вселенной см. в разд. 7.5.2.2. Угрозе «тепловой смерти» на Земле, по сути дела, посвящена вся настоящая монография.

П. 3.1.2. Второе направление: флуктуационная гипотеза

Первой попыткой решения проблемы применимости закона возрастания энтропии была флуктуационная гипотеза Л. Больцмана. отождествляя вероятные макросостояния, отвечающие большим значениям энтропии, с неупорядоченными, он в 1886 г. еще полагал, как мы видели, что окружающий нас мир обречен на тепловую смерть. Однако в результате полемики с Э. Цермело в 1896–1897 гг. по поводу *H*-теоремы он, пытаясь парировать аргументы оппонента (разд. 7.2.2), формулирует новую точку зрения, оказавшуюся более оптимистичной. Надо установить, говорит он, как это получилось, что окружающие нас тела находятся в очень неслучайных состояниях [Boltzmann, 1896; Рус. пер. С. 450]. Для ответа на этот вопрос Больцман и выдвигает флуктуационную гипотезу [Boltzmann, 1897, 1895 1898], согласно которой окружающая нас макроскопическая область Вселенной является гигантской флуктуацией, тогда как Вселенная в целом находится в равновесном состоянии. Человек, по Больцману, потому только и имеет возможность наблюдать эту чрезвычайно маловероятную флуктуацию, что представляет собой ее порождение.

Несостоятельность флуктуационной гипотезы становится особенно рельефной, если ее развить, как это и делает Больцман, до логического завершения.

Примем на минуту точку зрения Больцмана. Вселенная в целом находится в равновесии, т. е. мертва. Но то тут, то там в ней возникают флуктуации — миры, в части которых энтропия растет, а в части — убывает. Необратимость, таким образом, не носит абсолютного характера, направленные процессы зависят от того, в каком из миров-флуктуаций вы находитесь:

«Таким образом, для Вселенной в целом два направления времени являются неразличимыми, так же как в пространстве нет верха и низа» [Boltzmann, 1897; Рус. пер. С. 461].

Как видим, флуктуационная гипотеза необходимо приводит к трактовке необратимой *эволюции как иллюзии*:

«Одна из больцмановских идей подмыла абсолютный характер времени самого по себе. Отталкиваясь от того аргумента, что энтропия не может всегда расти, но сама может быть объектом статистической флуктуации, он предположил полусерьезно¹, что принцип возрастания энтропии можно было бы сохранить, если просто опреде-

¹ На мой взгляд, С. Браун в этом пункте ошибается, Больцману в тот момент совершенно определенно было не до шуток: под огнем критики оказалось всё дело его жизни, которое он и защищал, выдвигая свою гипотезу (см. разд. 7.2.2).

лить направление времени как направление, в котором энтропия растет» [Brush, 1988. P. 238].

Больцман, таким образом, первым, и совершенно правомерно, связал проблему применимости закона возрастания энтропии с проблемой необратимости (см. о ней в разд. 7.2.2).

Если мы считаем необратимость иллюзией, то тогда незачем говорить ни о законе возрастания энтропии, ни об эволюции. Предложенная Больцманом трактовка необратимости как иллюзии была отрицательно воспринята большинством ученых.

Такова, например, оценка К. Поппера:

«Идея Больцмана поражает своей смелостью и красотой. Вместе с тем она заведомо неприемлема, по крайней мере для реалиста. Она объявляет одностороннее изменение иллюзией. В таком случае трагическую гибель Хиросимы также следует считать иллюзией. Но тогда и весь наш мир становится иллюзией вместе со всеми нашими попытками узнать о нем нечто новое. Тем самым идея Больцмана... обрекает себя на поражение. Идсалистическая гипотеза Больцмана имеет характер *ad hoc* гипотезы⁴ и противоречит его собственной реалистической... философии» [Popper, 1976. P. 160; Цит. по: Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 323].

С этой оценкой Поппера солидарны И. Пригожин и И. Стенгерс, из книги которых заимствована цитата. Солидарен с ней и автор этих строк.

Будучи внутренне непротиворечивой, флуктуационная гипотеза тем не менее имела немало сторонников среди специалистов по термодинамике и статистической физике:

«Подавляющее большинство ученых склонялось к мнению, что термодинамика должна ограничиваться изучением строго равновесных состояний и процессов.

Такого мнения придерживались, в частности, Джозайя Виллард Гиббс и Гилберт Н. Льюис, самый известный специалист по термодинамике своего времени. С их точки зрения необратимость, связанная с однонаправленным временем, должна была быть преданной анафеме. Льюис пошел еще дальше и в одной из своих работ заметил: „Мы увидим, что физику почти повсеместно удалось очистить свою науку от односторонне текущего времени..., чуждого идеалам физики“ [Lewis G. N. Science, 71, 570, 1930]» [Пригожин, 1999. С. 58–59].

⁴ AD HOC ГИПОТЕЗА (от лат. *ad hoc* — единственно с целью), предположение, специально принимаемое для объяснения данного явления и не связанное с предшествующими знаниями о нем.

В числе сторонников гипотезы Больцмана мы находим А. Эйнштейна и М. Смолуховского, которые, восприняв от него флуктуационную проблематику и заложив основы теории флуктуаций как раздела неравновесной статистической физики, взяли на вооружение и флуктуационную гипотезу вкуче с давным сию объяснением необратимости как иллюзии.

Приведем высказывание Эйнштейна, свидетельствующее о том, что он понимал природу необратимости именно таким образом:

«Больцман... показал, что, согласно кинетической теории, процесс, обратный необратимому тепловому процессу, с точки зрения термодинамики хотя и возможен принципиально, но вероятность того, что он действительно произойдет, практически равна нулю... по Больцману, усредненные опытные законы создают нам видимость необратимости тепловых процессов» [Einstein, 1915; Рус. пер. С. 349].

Слово «видимость» здесь — не случайная оговорка, Эйнштейн не раз повторял, например, в письмах к своему другу М. Бессо, что различие между прошлым и будущим является иллюзией, обусловленной «невсрными» начальными условиями [Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 365; Пригожин, 1999. С. 144]. Правда, в 1949 г. он высказывается уже более осторожно, считая реальной *макроскопическую* необратимость, однако по-прежнему полагая обратимыми процессы на микроуровне:

«Если из B в A можно послать (протелеграфировать) сигнал (проходящий в непосредственной близости от мировой точки P), а из A в B послать сигнал нельзя, то тем самым будет установлен односторонний (т. е. асимметричный) характер направления времени, т. е. для направления стрелки не будет свободы выбора.

Здесь существенно, что посылка сигнала является необратимым (в смысле термодинамики) процессом, связанным с возрастанием энтропии (в то время как, *согласно нашим современным представлениям, все элементарные процессы обратимы* (выделено Эйнштейном. — С. Х.)) [Эйнштейн, 1967. С. 314].

Аналогична ранней позиции Эйнштейна и позиция Смолуховского, утверждающего, что необратимые процессы на самом деле обратимы по времени и что необратимость всегда носит кажущийся характер:

«Теплота сама собою может переходить от более низкой температуры к более высокой, а кажущиеся необратимыми процессы в действительности являются обратимыми. Для этого... необходимо только ждать, пока это появится само собою в силу законов случая... Любое состояние, как бы оно ни было „невероятным“, с течением времени будет достигнуто» [Smoluchovski, 1912; Рус. пер. С. 197–198].

В согласии с флуктуационной гипотезой, Смолуховский утверждает, что «энтропия может как возрастать, так и убывать» [Smoluchowski, 1914; Рус. пер. С. 203]

и что

«может быть даже всю солнечную теплоту следует рассматривать лишь как само собою появившееся скопление теплоты внутри системы, находящейся в состоянии равновесия, — однако, если выйти за область средних флуктуаций, то вероятность такого скопления уменьшается несравненно быстрее, чем его величина» [Там же].

Из отечественных физиков, придерживавшихся флуктуационной гипотезы, можно назвать, например, Я. П. Терлецкого (1912–1993):

«Парадокс „тепловой смерти“ разрешается в теории, построенной на основе динамической концепции. Приобретает новый смысл флуктуационная гипотеза Больцмана. Здесь же становится понятным смысл времени до начала Большого взрыва Вселенной. Это время, текущее в обратном направлении, т. е. закон возрастания энтропии в попятно текущем динамическом времени» [Терлецкий, 1988. С. 141].

Будучи существенно антиэволюционной, флуктуационная гипотеза сегодня непопулярна. И не потому, что, как указывают многие авторы, вероятность больцмановской флуктуации всего нашего макроскопического мира, размеры которого чрезвычайно раздвинула современная астрономия, исчезающе мала:

«То обстоятельство, что нам удалось наблюдать такую колоссальную флуктуацию, можно было бы объяснить тем, что осуществление такой флуктуации и является необходимым условием для существования наблюдателя (условием, делающим возможным биологическое развитие организмов). Этот аргумент, однако, не выдерживает никакой критики, так как неизмеримо большей вероятностью обладала бы флуктуация, скажем, в объеме одной лишь солнечной системы, что во всяком случае было бы уже достаточным для обеспечения возможности существования наблюдателя» [Ландау, Лифшиц, 1964. С. 46].

И даже не потому, что появляются всё новые данные, говорящие о неравновесности всей Вселенной (разд. 7.5.2.2). Дело в том, что побеждает эволюционный подход как таковой:

«...ежедневный опыт убеждает нас в том, что свойства природы не имеют ничего общего со свойствами равновесной системы, а астрономические данные показывают, что то же самое относится и ко всей

доступной нашему наблюдению колоссальной области Вселенной» [Там же. С. 45–46].

В наши дни точки зрения на необратимость как иллюзию придерживается, например, В. Б. Губин, у которого энтропия имеет исключительно операциональный (деятельностный) смысл:

«...энтропия оказывается не параметром состояния системы (т. е. частиц в замкнутом объеме) самой по себе, а характеристикой контроля над системой. Подчеркнем, что она характеризует не реальность саму по себе, а лишь связь субъекта с объектом его деятельности» [Губин, 2003. С. 117–118].

П. 3.1.3. Третье направление: закон возрастания энтропии действует не везде

Более распространен вариант разрешения противоречия между законом возрастания энтропии и эволюцией за счет их обоих. Говорят, что эволюция в сторону усложнения происходит не всегда и что когда она так происходит, мы уже не можем быть уверены в неизменности закона возрастания энтропии [Shinbrot, 1987; Шаповалов, 1994, 1996]. Озабоченный проблемой собственного выживания, человек склонен сосредоточивать внимание на феномене жизни, представителем коим является. Поэтому чаще всего говорят в этой связи о неприменимости закона возрастания энтропии к живому.

В разд. 7.2.1 указывалось, что уже Г. Гельмгольц высказывал сомнения относительно возможности распространения закона возрастания энтропии на живые системы. Разной степени выраженности сомнения в применимости этого закона к живому и социальному звучат во многих работах⁵:

«...жизнь представляет движение. Материальность представляет то же движение в обратном направлении; каждое из этих движений просто и цельно; материя, образующая миры, представляет один нераздельный поток, и столь же нераздельна жизнь, проходящая сквозь материю, выделяя из нее живые существа. Из этих двух потоков, второй противодействует первому» [Бергсон, 1909. С. 213].

⁵ См. также [Подолинский, 1991; Ауэрбах, 1911, 1913; Умов, 1916; Льюис, 1929; Lillie, 1948; Jeans, 1953; Триггер, 1965; Вигнер, 1971; Вернадский, 1978, 1994; Аршавский, 1982, 1996; Винер, 1983; Афанасьев, 1986; Лима-де-Фариа, 1991; Добропорова, Ситко, 1994]. Работа С. А. Подолинского была впервые опубликована в 1880 г. в журнале «Слово». Термином «эктропизм», фигурирующим в названии книги Ф. Ауэрбаха 1911 г., он обозначает отрицательную энтропию, которую сегодня принято называть негэнтропией.

«Не стоит отрицать того, что при рассмотрении огромной лестницы живых существ мы постоянно будем наталкиваться на отклонения от закона [возрастания] энтропии» [Льюис, 1929. С. 124].

«В противовес внешним видимостям, из которых исходит физика, великое устойчивое не внизу, в инфразлементарном, а вверху, в ультрасинтетическом. Значит, мир по воле случая рассеивается в материю единственно лишь своей тангенциальной оболочкой (т. е. обычной физической. — С. Х.). Своим ядром радиального мир обретает свое лицо и свою естественную устойчивость, наперекор вероятному тяготению к божественному очагу духа, который привлекает его впереди... *что-то в космосе ускользает от энтропии, и ускользает всё больше* (выделено мной. — С. Х.)» [Тейяр де Шарден, 1987. С. 213].

«Векторы, выделенные в социальной истории, оказываются, по существу, сквозными, пронизывающими все „дочеловеческие“ стадии истории биосферы и космоса. Результирующая этих векторов — последовательные изменения *от более вероятных к менее вероятным состояниям* и структурным организациям... на протяжении 13–15 млрд лет мир становился всё более „странным“ (чтобы не сказать: „всё менее естественным“, с энтропийной точки зрения) (выделено А. П. Назаретяном. — С. Х.)» [Назаретян, 2004. С. 196].

В этом ряду выделяется книга К. С. Тринчера, попытавшегося обосновать обсуждаемую концепцию экспериментально. Его книга вызвала резкую и, представляется, заслуженную критику⁶. Тринчер опирается на факты, говорящие, по его мнению, о несправедливости теоремы Пригожина о минимуме производства энтропии (разд. П. 2.3) применительно к процессам онтогенеза. Ему правильно, на мой взгляд, было указано, что если даже указанная теорема и неприменима к онтогенезу, то это еще не говорит о неприменимости к живым системам всей физической термодинамики, поскольку организм, по всей видимости, не описывается линейной термодинамикой Л. Онсагера, в рамках которой доказывалась указанная теорема. Не говоря уже о том, справедливо пишут критики, что калориметрические экспериментальные данные, на которые опирается Тринчер, здесь недостаточны, т. к. свой вклад в производство энтропии вносят и неучитываемые калориметрическими средствами структурные изменения в организме. Этот последний пункт критики согласуется с тем, что говорилось в гл. 6: полная энтропия реальной системы не сводится к тепловой энтропии, об изменении которой только и говорят калориметрические данные.

⁶ [Ковалев, 1964; Сырников, 1965; Волькенштейн, 1966; Волькенштейн, Сырников, 1966; Гленсдорф, Пригожин, 1973; Зотин, 1974].

Э. М. Галимов (см. о его собственной концепции разд. П. 3.1.9) также отрицательно относится к попытке Тринчера оценить меру упорядочения в онтогенезе через изменение удельной теплопродукции [Галимов, 2001. С. 56].

Что же касается критики собственно закона возрастания энтропии в его отношении к живому, то наибольшие возражения вызвал центральный тезис Тринчера, согласно которому производство

«энтропии в окружающей живую систему среде равно в количественном отношении производству негэнтропии внутри живой системы» [Тринчер, 1965. С. 41].

Производство энтропии, как уже не раз говорилось, всюду положительно. Тринчер же

«постулирует нарушение второго начала в живой системе, а не доказывает это ответственное утверждение» [Волькенштейн, Сырников, 1966. С. 380].

Дискуссия, вызванная книгой Тринчера, позволяет сделать вывод, что экспериментальных доказательств неприменимости закона возрастания энтропии к живым системам не существует. Но это само по себе еще не зачеркивает рассматриваемую концепцию. И. А. Аршавский, например, согласен с критикой в адрес книги Тринчера. Тем не менее он также полагает, что закон возрастания энтропии не действует в живом:

«Неподчинение второму принципу термодинамики осуществляется самим организмом благодаря присущей ему специфичности живого. Она выражается в противопоставлении диссипации (через активность) восстановительных процессов... Только во взаимодействии со средой живая система подчиняется второму принципу термодинамики» [Аршавский, 1982. С. 37–38].

Аршавский, таким образом, полагает, что сам по себе живой организм не подчиняется закону возрастания энтропии и что только его открытость исправляет ситуацию в этом отношении. Апелляция к открытости живых систем в еще большей степени характерна для его более новой работы [Аршавский, 1996]. У. Байер [Weig, 1962], напротив, утверждает, что именно открытость живой системы и делает неприменимым к ней второе начало.

Проведение дихотомии система/среда более характерно для анализируемой в следующих разделах концепции Шрёдингера и др. Что же касается концепции Тринчера и др., то

ее логическое развитие необходимо приводит к выводу о сосуществовании в природе двух форм эволюции:

«Одна связана со вторым началом классической термодинамики и характеризует эволюцию неорганической материи в изолированной системе, что выразится в необратимом приближении ее к наиболее вероятному состоянию. Это состояние характеризуется максимальной неупорядоченностью, т. е. максимальной энтропией и минимумом свободной энергии. Другая связана с биологической эволюцией. В отличие от первой вторая форма эволюции характеризуется необратимым возрастанием структурной организации развивающихся организмов» [Аршавский, 1982. С. 19].

Последовательное проведение этой концепции приводит к признанию невозможности возникновения живой материи из неживой и к выводу о параллельном их существовании практически с момента зарождения Вселенной:

«Возникновение живой материи представляется... как одномоментное возникновение всей совокупности первичных живых существ... Мир живой материи и мир неживой материи в таком виде, как он известен в настоящее время, имеют, следовательно приближенно одинаковый возраст — 2–4 миллиарда лет. Отсюда можно заключить, что из некой протоматерии (А) более 4 миллиардов лет назад, когда Вселенная начинала свою нынешнюю фазу развития — фазу расширения⁷, возникли (приблизительно в одно и то же время) две материальные сущности (В) и (С) — живая и неживая материи... и они развиваются каждая по своим физическим законам» [Тринчер, 1965. С. 99].

Идею вечности жизни разделяли такие известные ученые, как А. Бергсон [1909] и В. И. Вернадский [1926, 1978, 1994]. Приведем фрагмент статьи Вернадского 1940 г. (он умер в 1945 г., так что это высказывание представляется возможным рассматривать как итог его размышлений на эту тему):

«Необходимо допустить одновременное создание ряда организмов разной геохимической функции, тесно связанных между собой, т. е. допустить абиогенез монолита жизни — задача экспериментально немислимая.

Абиогенез монолита жизни неизбежно заставляет допустить в жизненной среде существование и проявление таких... явлений, которые сейчас нам неизвестны... При таком положении наших знаний

⁷ Приводимые Тринчером данные устарели: возраст земной жизни около 4,5 млрд лет, а наблюдаемый мир начал расширяться около 13,7 млрд лет назад [Хайтун, 2005а. Разд. 4.3.1 и 6.1].

правильнее будет с научной точки зрения поставить явления жизни наряду с энергией, материей, с атомами, электричеством, эфиром и т. п., как искони существующие части космоса, более или менее несводимые всецело к какому-нибудь одному из этих представлений. Если научный анализ покажет в будущем неправильность этой рабочей научной гипотезы — всегда может быть внесена необходимая поправка.

В таком случае жизнь следует признать столь же безначальной с научной точки зрения, каким является, например, электричество.

Монолит жизни может в таком случае создаться на нашей планете, его возникновение мыслимо при особых условиях ее бытия, при наличии в окружающем космосе жизни. Вероятно, это не будет абиогенез — во всяком случае, не абиогенез в нашем современном понимании (выделено мной. — С. Х.)» [Вернадский, 1994. С. 449–450].

Идея вечности живого имеет сторонников и сегодня:

«Ученые и философы всё чаще обращаются к мысли о том, что живая и неживая материя, как равноправные, вечно сосуществующие субстанции, уходят своими корнями в квантовый мир полевых формаций... Возможно, формирование на ранних стадиях развития Вселенной неких ее фундаментальных паттернов и констант... предопределило „сублимацию“ первичной квантовой материи и параллельно развивающихся ветви неживой и живой материи» [Дрюк, 2004. С. 107].

Концепция Тринчера и др. ошибочна, представляется, в главном — в проводимом ею противопоставлении живой и неживой материи по характеру эволюции.

Неверно, будто структурная самоорганизация свойственна только живому, в неживом мире наблюдаются такие же процессы усложнения,

будь то, скажем, процессы усложнения Земли [Хайтун, 2005а. Разд. 7.4] или формирования звезд и галактик в нашей Метагалактике [Там же. Разд. 6.11]. Целый мир самоорганизующихся неживых систем открыла нам синергетика, о чем будет говориться в разд. П. 3.1.5.

Г. П. Йоксей ограничивает действие закона возрастания энтропии более тонким образом:

«Насколько это касается происхождения жизни, термодинамика и „тепловая смерть“ Вселенной к делу не относятся. Мы должны рассматривать генетическую энтропию, а не термодинамическую» [Yockey, 1977].

Живос, полагает он, подчиняется второму началу как закону термодинамики. Но термодинамическая энтропия и структурная энтропия, о которой может идти речь при описании живых систем (см. о структурной энтропии разд. 5.5.5), — это несопоставимые величины.

Йокей, конечно же, прав в том, что второе начало в узком смысле слова, т. е. как закон термодинамики, понимаемой как наука о потоках тепла, распространяется только на тепловые потоки и потому не в состоянии описать развитие живых систем, рассматриваем ли мы биологическую эволюцию в целом или же ограничиваемся онтогенезом. В этом пункте Йокей пересекается с авторами работ [Бауэр, 1935; Elsasser, 1958; Шамбадаль, 1967]. Э. С. Бауэр, например, говорит, что в живом организме источником выполняемой им работы является отнюдь не тепловая энергия. Более того, уже в XIX в. специалисты по физиологии питания заметили, что организм характеризуется чересчур высоким для тепловой машины КПД, который отвечает ненаблюдаемому в действительности перепаду температур в несколько сот градусов [Лазарев, 1945; Брода, 1978. С. 16–17].

Заметим, однако, что, если уж живой организм и является тепловой машиной, то, скорее, *непрерывного* (нелинейного) действия, чем циклического. Между тем, как говорится в разд. 8.5, КПД *нелинейной* тепловой машины⁸ вовсе не определяется температурами нагревателя и холодильника, поскольку последний в такой машине может отсутствовать, так что для высокого КПД такой тепловой машины большой перепад температур, вообще говоря, не необходим.

Йокей вместе с тем, как нам представляется, неверно фиксирует область применения второго начала термодинамики (см. терминологическое замечание в конце разд. 5.1). Второе начало, как оно представлено в литературе, выходит за пределы тепловых процессов, включая в себя пять компонент, одной из которых является закон возрастания полной энтропии, описывающий взаимодействия любой природы (разд. 6.3 и гл. 6–7). Что касается тепловой энтропии, то, как это было показано в разд. 7.5, она не обязана расти там, где кроме тепловых необратимых процессов происходят нетепловые. Именно таковы живые системы, применительно к которым, стало быть, «закон» возрастания *тепловой* энтропии *не работает*, тогда как закон возрастания *полной* энтропии, действующий всегда и везде, соблюдается здесь в полной мере.

Заклучая раздел, следует сказать, что попытки как-то ограничить действие закона возрастания энтропии сегодня становятся всё более редкими.

⁸ Строго говоря, и циклической тоже, если ее рабочее тело является двухфазной системой жидкость — газ (разд. 8.6).

П. 3.1.4. Четвертое направление: за усложнение отвечает среда (концепция Шрёдингера и др.)

Наиболее общепринята сегодня концепция, объясняющая процессы упорядочения в реальных системах потоками беспорядка (энтропии) из системы в среду, или потоками порядка (неэнтропии) из среды в систему. Эта концепция связана с именем Э. Шрёдингера, который опубликовал в 1944 г. получившую широкую известность книгу «Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки» [Schrödinger, 1944].

С именем Шрёдингера, однако, данную концепцию можно связывать лишь условно, поскольку основные ее идеи были высказаны другими авторами ранее. Кроме того, рассматриваемая концепция в общем ее виде, подчеркивая определяющую роль среды в процессах самоорганизации, не проводит в этом отношении различия между живыми и неживыми системами, тогда как Шрёдингер склонен полагать, что это явление характеризует живое в отличие от неживого. Как и авторы рассмотренных в предыдущем разделе работ, он воздвигает барьер между живым и неживым, но делает это таким образом, чтобы закон возрастания энтропии не ставился под удар:

«Каждый процесс, явление, событие, назовите это как хотите, — короче говоря, всё, что происходит в природе, означает увеличение энтропии в той части мира, где это происходит. Так и живой организм непрерывно... производит положительную энтропию» [Schrödinger, 1944; Рус. пер. С. 102].

Костяк концепции Шрёдингера составляют две идеи. Согласно первой, живая система отличается от неживой тем, что является существенно неравновесной, избегая перехода в инертное равновесное состояние.

О том, что живые системы — это системы, далские от равновесия, сегодня говорят многие авторы. Приведем одно из таких высказываний:

«Мнимое противоречие между возрастанием сложности в ходе биологической эволюции и возрастанием энтропии в эволюции изолированной физической системы легко снимается. В биологии мы имеем дело с открытыми системами, далскими от равновесия» [Волькенштейн, 1984. С. 430].

И это справедливо, особенно, если иметь в виду эволюционные процессы. Вместе с тем *в некоторых отношениях* органические системы могут рассматриваться как околоравновесные, что *до некоторой степени* оправдывает применение к ним линейной неравновесной термодинамики [Гладышев, 1996]. Так, околоравновесным является, по-видимому, элементный состав организмов (разд. П. 3.1.9).

Однако первым мысль о существенной неравновесности живых систем высказал отнюдь не Шрёдингер, но, по-видимому, Э. С. Бауэр под названием *принципа устойчивого неравновесия*:

«Все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях» [Бауэр, 1935. С. 43].

Шрёдингер высказывает эту же идею, только на девять лет позже:

«Именно в силу того, что организм избегает быстрого перехода в инертное состояние „равновесия“, он и кажется столь загадочным» [Schrödinger, 1944; Рус. пер. С. С. 101].

Если же, пишет он, изолировать или поместить в однородные условия неживую систему, то

«всякое движение, обычно, очень скоро прекращается в результате различного рода трений; разности электрических или химических потенциалов выравниваются, вещества, которые имеют тенденцию образовывать химические соединения, образуют их, температура становится однообразной благодаря теплопроводности. После этого система в целом угасает, превращается в мертвую массу материи» [Там же. С. 100].

Вторая идея, лежащая в основании концепции Шрёдингера: живая система сохраняет неравновесность *за счет среды*, черпая в ней необходимую неупорядоченность, т. е. неэнтропию. Первым, однако, ее высказал Л. Больцман еще в 1886 г.:

«Всеобщая борьба за существование живых существ — это борьба не за строительный материал для тела — составные элементы всех организмов имеются в избытке в воздухе, в воде и в недрах Земли — и не за энергию, которая в изобилии содержится во всяком теле, к сожалению, в форме непревращаемой теплоты. Но это — борьба за энтропию (сейчас бы сказали — за неэнтропию. — С. Х.), которая становится доступной при переходе энергии от горячего Солнца к холодной Земле» [Boltzmann, 1905. S. 40].

Будучи знакомым с этим высказыванием Больцмана, Шрёдингер формулирует его идею своими словами. Организм, пишет он, может избежать состояния максимальной энтропии, которое представляет собой смерть, т. е.

«оставаться живым, только путем постоянного извлечения из окружающей его среды отрицательной энтропии, которая представляет

собой нечто весьма положительное... Отрицательная энтропия — вот то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это менее парадоксально, существенно в метаболизме то, что организму удается освободить себя от всей той энтропии, которую он вынужден производить, пока он жив» [Schrödinger, 1944; Рус. пер. С. 102].

Подчеркнем, что краеугольным камнем концепции Шрёдингера является понимание энтропии как меры беспорядка. В этой связи он констатирует удивительную способность

«организма концентрировать на себе „поток порядка“, избегая таким образом перехода к атомному хаосу, — способность „пить упорядоченность“ из подходящей среды» [Там же. С. 108].

У Шрёдингера много последователей. Скажем, Р. Пенроуз объясняет усложнение органического мира на Земле тем, что растения выбирают из солнечного излучения его низкоэнтропийную часть:

«...зеленые растения... используют солнечный свет... Земля, включая и ее обитателей, не задерживает эту энергию надолго, а переизлучает ее целиком обратно в окружающее пространство. Однако эта переизлученная энергия находится уже в высокоэнтропийной форме, а именно, в виде так называемого „радиационного тепла“, т. е. инфракрасных фотонов. В противоположность общепринятому мнению, Земля вместе с ее обитателями не получает энергии от Солнца! Вся роль Земли здесь сводится к тому, чтобы принять энергию в низкоэнтропийной форме, а затем рассеять ее обратно в окружающее пространство, но уже как энергию с высокой энтропией... Таким образом, Солнце служит для нас мощным источником низкой энтропии. Мы (благодаря упомянутой замечательной способности растений) это используем, выделяя некоторую небольшую ее часть и преобразуя ее в удивительные по своей сложности структуры наших организмов» [Пенроуз, 2003. С. 260–261].

Таким образом,

основная идея концепции Шрёдингера — это объяснение процессов упорядочения в живых системах в отличие от неживых потоками порядка (негэнтропии) из среды вовнутрь.

Или, что то же самое, потоками беспорядка (энтропии) в обратном направлении. Живое, утверждает Шрёдингер, черпает порядок в среде, неживые системы такой способностью не обладают.

Приписывание в этой схеме способности черпать порядок в среде только живым системам понятно. В самом деле, если признать такую спо-

способность и за неживыми системами, то тогда эти неживые системы должны черпать в свою очередь порядок откуда-то еще, из систем третьего типа. Но такого третьего типа систем не существует.

Однако и в схеме Шрёдингера возникает вопрос, откуда берется порядок в неживых системах. Сам Шрёдингер отвечает на него не очень внятно. Он говорит, что если в живом действует механизм «порядок из порядка», причем порядок в (живой) системе черпается из порядка в среде, то неживое обязано возникновением порядка принципу «порядок из беспорядка»,

«которому в действительности следует природа и который один даст объяснение огромному ряду природных явлений и, в первую очередь, их необратимости» [Schrödinger, 1944; Рус. пер. С. 113].

Аналогичным образом высказывается Э. Янч:

«Приближение к равновесному состоянию также может давать структуры. Кристаллы, снежные хлопья и биологические мембраны являются такими равновесными структурами с *большой* энтропией, чем энтропия соответствующих жидких состояний, из которых они возникли (выделено мной. — С. Х.)» [Jantsch, 1980. P. 26].

Если бы под принципом «порядок из беспорядка» в концепции Шрёдингера и др. понималась возможность возникновения упорядоченных структур в *изолированных* системах, не обменивающихся со средой ни энергией, ни веществом, то тогда пришлось бы признать, что энтропия не является мерой беспорядка. Однако к этому сторонники концепции Шрёдингера и др. не готовы. И, рассматривая вопрос о происхождении упорядоченных неживых систем, опираются на формулировки закона возрастания энтропии для замкнутых систем, согласно которым этот закон при постоянных объеме и энтропии переходит в (звучит как) закон убывания энергии, при постоянных объеме и температуре — как закон убывания свободной энергии, при постоянных давлении и энтропии — как закон убывания энтальпии и, наконец, при постоянных давлении и температуре — как закон убывания термодинамического потенциала (разд. П. 2.1).

Обо всех этих законах, производных от закона возрастания энтропии, можно говорить только вблизи равновесия, потому что вдали от него определение термодинамических величин, если мы остаемся в пределах термодинамики, оказывается затруднительным (см. концовку разд. П. 2.1). Поскольку живые системы, как говорилось, существенно неравновесны, особенно, в отношении процессов упорядочения, постольку все эти околоравновесные варианты закона возрастания энтропии к ним неприменимы. Однако обычно об этом забывают (работает принцип «ищу под фонарем, потому что там светло»), используя закон убывания термоди-

намического потенциала, поскольку в живых системах постоянны именно давление и температура⁹, а чаще, приближенно полагая в живых системах постоянными объем и температуру, считают справедливым закон уменьшения свободной энергии¹⁰.

Но вернемся к неживым системам. Логика, которой придерживаются в концепции Шрёдингера и др. при использовании закона уменьшения свободной энергии применительно к таким системам, может быть уяснена из следующего рассуждения И. Пригожина [1985. С. 95].

Пригожин отталкивается от выражения для свободной энергии (П. 1.2)

$$F = E - TS. \quad (\text{П. 3.1})$$

Структура этой формулы, пишет он,

«отражает конкуренцию между энергией E и энтропией S . При низких температурах второй член пренебрежимо мал, и минимальное значение S порождает образования, соответствующие минимуму энергии и обычно малым значениям энтропии. Однако по мере повышения температуры система сдвигается в сторону со всё более высокими значениями энтропии. Опыт подтверждает эти соображения, так как при низких температурах мы имеем твердое тело, для которого характерна упорядоченная структура с малой энтропией, а при высоких температурах мы имеем газообразное состояние вещества с высокой энтропией. Образование определенных типов упорядоченных структур в физике является следствием начал термодинамики, примененных к замкнутым системам, находящимся в состоянии теплового равновесия» [Пригожин, 1985. С. 95].

Такое же рассуждение проводит Э. Янч [Jantsch, 1980. P. 141].

При данном значении температуры уменьшение свободной энергии, говорят нам, рассматривая формулу (П. 3.1), может достигаться двумя путями: во-первых, *уменьшением* энергии и, во-вторых, *увеличением* энтропии. При малых значениях температуры системе выгоднее добиваться уменьшения свободной энергии за счет уменьшения энергии, но не за счет увеличения энтропии.

Другими словами, когда температура рассматриваемой замкнутой системы, сохраняющаяся постоянной при постоянном же объеме, достаточно мала, то, выделяя в среду в потребном количестве энергию, она (система) может тем самым компенсировать происходящее в ней в результате упорядочения уменьшение энтропии, так чтобы свободная энергия, как того требует при данных условиях закон возрастания энтропии, убывала.

⁹ См. неравенство (П. 2.21).

¹⁰ См. неравенство (П. 2.19).

Аналогичное рассуждение может быть проведено и для замкнутой системы с постоянными давлением и температурой, когда уменьшается теперь уже термодинамический потенциал с опорой на выражение (П. 1.4)

$$\Phi = E - TS + PV. \quad (\text{П. 3.2})$$

Только полной безысходностью ситуации, складывающейся при трактовке энтропии как меры беспорядка, можно объяснить то, что приведенные рассуждения кого-то удовлетворяют и сегодня. В том числе и И. Пригожина, уделившего столь большое внимание формулировке закона возрастания энтропии для неизолированных систем (разд. 5.6 и 7.1), согласно которой система, когда в ней протекают необратимые процессы, *порождает энтропию*?!

Системе не всё равно, как ей минимизировать свободную энергию. Она не может минимизировать ее с отрицательным порождением энтропии.

Если мы, как Шрёдингер и др., считаем, что упорядочение нашей неживой системы означает непременно уменьшение ее энтропии, то должны прийти к выводу, что она тоже, как живые системы, черпает негэнтропию извне. В самом деле, суммарное изменение энтропии (разд. 5.6 и 7.1):

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}, \quad (\text{П. 3.3})$$

причем в области необратимых процессов

$$\frac{d_i S}{dt} \geq 0. \quad (\text{П. 3.4})$$

Считаем, что упорядочение неживой системы означает уменьшение ее энтропии:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt} < 0. \quad (\text{П. 3.5})$$

Если бы при этом система *не* черпала негэнтропию извне, т. е. если бы для нее имело место неравенство

$$\frac{d_e S}{dt} \geq 0, \quad (\text{П. 3.6})$$

то, согласно (П. 3.3–4), было бы справедливо неравенство

$$\frac{dS}{dt} > 0, \quad (\text{П. 3.7})$$

но никак не (П. 3.5). Остается полагать, что система черпает негэнтропию извне, т. е., что

$$\frac{d_e S}{dt} < 0. \quad (\text{П. 3.8})$$

Но тогда мы опять приходим к исходной схеме Шрёдингера и др. с ее принципом «порядок из порядка», только теперь уже и для неживых систем.

Таким образом, вопреки Шрёдингеру, принципиального различия между живыми и неживыми системами в их отношении к закону возрастания энтропии не существует

(см. следующий раздел). И мы снова стоим перед тем же сакраментальным вопросом, откуда берется порядок в среде, если сама она должна брать его откуда-то еще? Особенно интригующе этот вопрос звучит для всей бесконечной Вселенной, тем более если мы дополним его другим: что заставляет Вселенную (наблюдаемый мир) усложняться в ходе эволюции, если единственный известный нам закон природы, говорящий о направлении развития, т. е. закон возрастания энтропии, требует эволюционного упрощения?

Тем не менее сам упор, который Шрёдингер и др. делают на открытость усложняющихся систем, следует признать здравым,

открытость реальных систем и на самом деле играет большую роль в эволюции наблюдаемого мира, только эта роль иная, нежели это представляется в концепции Шрёдингера и др.

Как это часто бывает в науке с первопроходцами, выйдя на новый феномен, Шрёдингер вербализовал его недостаточно четко (размыто).

Вектор эволюции, говорилось в разд. 2.4.2, т. I, — направлен в сторону интенсификации всевозможных метаболизмов и взаимодействий. По своей природе открытые системы заняты обменом разных форм взаимодействий со средой, *интенсифицируя метаболизмы*. Открытость системы добавляет более чем существенную лепту в эволюционные процессы за счет внешних взаимодействий, у которых то гигантское преимущество по сравнению с внутренними, что они практически неисчерпаемы в своем многообразии, поскольку средой для данной системы служит в пределе вся Вселенная.

Вот почему для эволюции так важны открытые системы и вот почему эволюция любого фрагмента наблюдаемого мира рано или поздно необходимо переходит к существенно открытым, или *автопойэтическим*¹¹, систе-

¹¹ АВТОПОЙЭТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (от греч. autos — само и poiesis — изготовление, создание), далекая от равновесия устойчивая, постоянно самообновляющаяся система, существование которой поддерживается непрерывным обменом веществом и энергией со средой [Janisch, 1980. P. 10, 33; Margulis, Sagan, 1986. P. 10]. Автопойэтическая система может существовать только как открытая система.

мам, которые не просто интенсивно обмениваются друг с другом и со средой энергией и веществом, но и существовать-то могут только как открытые.

Закон возрастания энтропии вовсе не запрещает изолированным системам усложняться, просто они делают это существенно медленнее, чем взаимодействующие друг с другом открытые системы.

Внутренняя слабость концепции Шрёдингера и др. в ее классическом варианте обусловила ее развитие, приведшее к трем рассматриваемым далее модификациям.

П. 3.1.5. Первая модификация концепции Шрёдингера и др.: синергетика

Именно синергетика [Хайтун, 2005а. Разд. 3.2.5 и прил. 5; 2007а. Гл. 3], будучи основным разделом науки о самоорганизации, реализует главную идею концепции Шрёдингера и др. об определяющей роли в процессах структурирования дихотомии система/среда, придавая ей количественную форму. Некоторые авторы утверждают, что современная теория самоорганизации существенно продвинула вперед решение проблемы противоречия закона возрастания энтропии эволюции живого:

«Жизнь более не выглядит как островок сопротивления второму началу термодинамики» [Гленсдорф, Пригожин, 1973. С. 260].

Напротив,

«жизнь, заведомо укладываемая в рамки естественного порядка, предстает перед нами как высшее проявление происходящих в природе процессов самоорганизации» [Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 234].

Заметим, что сам И. Пригожин, которого мы здесь цитируем, и его Брюссельская школа неравновесной термодинамики не внесли существенных корректив в понимание дихотомии система/среда, дополнив ее, однако, микроскопическим сопряжением химических реакций энтропийной и антиэнтропийной направленности. Суммарное производство энтропии сопряженных химических реакций выражается соотношением

$$\frac{d_i S}{dt} = - \sum_k A_k w_k, \quad (\text{П. 3.9})$$

где A_k — сродство k -й реакции и w_k — ее скорость [Пригожин, 1985. С. 100]. При положительности всей суммы отдельные слагаемые $A_k w_k$ могут иметь разные знаки.

Это сопряжение химических реакций энтропийной и антиэнтропийной направленности, в силу исповедуемой ими трактовки энтропии как меры беспорядка, интерпретируется Пригожиным и его последователями как сопряжение процессов упрощения и усложнения:

«Произвольно протекающие процессы характеризуются положительным производством энтропии: $\sigma \cdot XJ$, т.е. совпадением знаков обобщенной силы (X) и вызываемого ею потока (J) (см. разд. П. 2.2. — С. X). Процесс упорядочения можно в общем случае охарактеризовать отрицательным производством силы и потока: $\{-X'J'\}$.

Такой процесс может осуществляться только в локальном (микроскопическом) сопряжении с процессом, характеризующимся положительным производством энтропии, так, что $(XJ) + (-X'J') \geq 0$. Последнее неравенство отвечает требованию второго закона термодинамики. Случаи подобного сопряжения... достаточно распространены в природе» [Галимов, 2001. С. 213].

Объясняя процессы структурирования, сопряжение процессов усложнения и упрощения, однако, не отменяет *преобладания* в ходе эволюции первых процессов над вторыми, так что проблема остается: если вы трактуете усложнение негэнтропийно, то вам проще всего объяснять усложнение эволюционирующих систем потоками негэнтропии извне.

Однако школа Пригожина занимает в синергетике достаточно периферийное положение, магистральная же ее (синергетики) вставка, связанная с именами Э. Лоренца, Д. Рюэля и Ф. Такенса и др. внесла в концепцию Шрёдингера и др., из которой она выросла, существенную поправку: оказалось, что

процессы самоорганизации, описываемые синергетикой, не являются прерогативой живых систем, большинство синергетических моделей описывают явления неживой природы.

Например, модель Э. Лоренца [Lorenz, 1963]

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -\sigma x - \sigma y, \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz, \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xy, \end{aligned} \quad (\text{П. 3.10})$$

положившая начало синергетическим исследованиям, была предложена для описания атмосферных явлений; модель А. Кука и П. Робертса [Cook, Roberts, 1970]

$$\begin{aligned}\frac{dy}{dt} &= -\mu x + yz, \\ \frac{dy}{dt} &= -Ax - \mu y - xz, \\ \frac{dz}{dt} &= 1 - xy\end{aligned}\tag{П. 3.11}$$

— электромагнитных вихрей в ядре Земли; «брюсселятор» (модель Лефевра—Николиса—Пригожина)¹²

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= A - (B+1)X + X^2Y, \\ \frac{dY}{dt} &= BX - X^2Y\end{aligned}\tag{П. 3.12}$$

— химической системы и т. д. Так что, если бы даже дихотомия система/среда играла в процессах самоорганизации роль, отводимую ей концепцией Шрёдингера и др., то живое мало чем отличалось бы в этом плане от неживого.

Сам по себе этот факт, конечно, не разрушает эту концепцию. Более того, сообщает, казалось бы, базирующейся на ней теории эволюции большую общность:

«Очевидной и универсальной термодинамической основой структурообразования в космической, добиологической и биологической эволюции является „экспорт энтропии“ — ее выделение открытой системой» [Волькенштейн, 1984. С. 432].

«...почти всё, что нас окружает, и мы сами являемся системами, далекими от равновесия» [Шелепин, 1987. С. 19].

Г. Н. Алексеев возводит даже очевидный для сторонников рассматриваемой концепции факт эволюционного уменьшения энтропии открытых систем за счет среды в ранг закона, который он называет «третьим законом энергоэнтропики»:

«...закон уменьшения энтропии открытых систем при прогрессивном развитии: энтропия открытых систем в процессе их прогрессивного развития всегда уменьшается за счет потребления энергии от внешних источников... При этом энтропия систем, служащих источниками энергии и негэнтропии (например, Солнца), возрастает» [Алексеев, 1983. С. 33–34].

¹² [Кудрявцев, 1987. С. 127; Chaos, 1986. P. 31; Хайтун, 2005а. Разд. П. 5.2.4].

Позиция В. И. Шаповалова [1994, 1996] носит несколько более гибкий характер, чем позиция Алексеева:

«Окружающий нас мир состоит из систем с самыми разными степенями открытости в диапазоне от нулевой до максимальной. В абсолютно замкнутой системе (нулевая степень открытости) действует только закон возрастания энтропии. В абсолютно разомкнутой системе (максимальная степень открытости) действует только закон убывания энтропии. Во всех остальных системах, то есть системах, с которыми нам приходится иметь дело в повседневной практике, действуют оба закона. И тем, какой из них преобладает, определяется либо самоорганизация, либо дезорганизация систем» [Шаповалов, 1996. С. 20].

Однако сказанным не исчерпывается вклад синергетики в развитие концепции Шрёдингера и др. Тот факт, что, как оказалось, синергетические системы могут быть и изолированными [Хайтун, 2005а. Разд. П. 5.5.2; 2007а. Разд. 3.5.2], наносит еще один удар по идее об ответственности среды за необратимые процессы упорядочения. Это значит, что

наличие среды не является обязательным условием протекания в системах процессов упорядочения.

П. 3.1.6. Вторая модификация концепции Шрёдингера и др.: подключение теории естественного отбора

В работах, посвященных теории химической эволюции, возникает мотив естественного отбора под давлением среды как основного механизма предбиологической эволюции, а некоторые авторы распространяют его далеко за пределы органической эволюции. Отказывая, таким образом, эволюционирующим системам в саморазвитии [Хайтун, 2005а. Разд. 4.7.2], данная модификация концепции Шрёдингера и др., в отличие от предыдущей, противостоит теории самоорганизации.

А. И. Опарин [1959. С. 98–101] говорит о «борьбе за существование» среди коацерватных капель. В книге [Руденко, 1969] целая глава посвящена естественному отбору среди автокаталитических систем. М. Кальвин [1971. С. 149] пишет о связи процессов автокатализа и «молекулярного отбора» на стадии предбиологической эволюции. Аналогична точка зрения В. М. Гранта:

«Отбор на уровне одного гена, до сих пор рассматривавшийся как чересчур упрощенная, но полезная абстракция, был, по-видимому, реальным и даже главным селективным процессом на ранних ста-

диях органической эволюции, когда преобладающей единицей организации были геноподобные частицы» [Грант, 1991. С. 143].

По М. Эйгену [Eigen, 1971a, b; Эйген, Винклер, 1979; Эйген, Шустер, 1982], естественный отбор происходил на предбиологической стадии среди *гиперциклов*, под которыми он понимает относительно автономные белковонуклеотидные комплексы (цепи), способные, благодаря нелинейному автокатализу, к самовоспроизводству. О молекулярном же отборе говорит Дж. Джойс [Joyce, 1989]: благодаря различиям в химическом поведении разных молекул РНК, полагает он, одни из них реплицируются¹³ успешнее других. О молекулярном естественном отборе пишет и Э. М. Галимов:

«...подход к решению проблемы происхождения жизни... так или иначе сводится к поиску модели изначального возникновения автокаталитических и самореплицирующих систем, которые затем эволюционируют в процессе молекулярного, естественного отбора» [Галимов, 2001. С. 86].

А. Е. Седов распространяет естественный отбор на биосистемы разного уровня:

«Объектами естественного отбора служат не только особи, но и все прочие уровни биосистем, взаимодействия которых „сверху“ и „снизу“ и определяют, какими могут и не могут быть макромолекулы, клетки, организмы и их сообщества» [Седов, 1999. С. 101].

О естественном отборе в неорганическом и/или социальном мире говорят авторы работ [Спенсер, 1867; Георгиевский, 1983; Елиссев, 1983; Мозелов, 1983; Черникова, 1987; Урманцев, 1988; Кудрин, 1998] и др. В качестве примера может быть приведено высказывание Э. Н. Елиссева:

«Идеи естественного отбора получили распространение и в исследованиях царства минералов. С помощью геометрического отбора А. В. Шубников объяснил причины закономерного роста кристаллов в друзах» [Елиссев, 1983. С. 202].

Странным образом Елиссев одновременно исповедует и теорию самоорганизации:

«Теория эволюции признается как теория самоорганизации. Эта идея, получившая развитие в органическом естествознании, имеет

¹³ «РЕПЛИКАЦИЯ (от позднелат. *replicatio* — повторение), редупликация, ауторепликация, процесс самовоспроизведения макромолекул нуклеиновых кислот, обеспечивающий точное копирование генетической информации и передачу ее от поколения к поколению» [Биология..., 1999. С. 536].

все права на существование и в неорганическом естествознании» [Там же. С. 27].

Иногда теорию естественного отбора распространяют на космическую эволюцию [Волькенштейн, 1988. С. 14] и вообще на весь мир:

«...основные принципы дарвинизма применимы к любым эволюционирующим системам от элементарных частиц до галактик» [Молчанов, 1967. С. 305].

Некоторые авторы напрямую сопрягают теорию естественного отбора с энтропийной проблематикой. Такова, например, концепция «энтропийного насоса» [Campbell, 1967; Woolhouse, 1967], согласно которой в ходе отбора выживают организмы с *меньшим* содержанием энтропии. Применительно к предбиологической эволюции эту же идею высказывает А. П. Руденко:

«Эволюция каталитических систем идет по пути отбора систем с наименьшей энтропией организации» [Руденко, 1969. С. 162].

Дж. А. Уилсон [Wilson, 1968] идею «энтропийного насоса» переворачивает: он полагает, что в ходе естественного отбора возникают организмы с *большим* содержанием энтропии.

Э. М. Галимов сопрягает естественный отбор с энтропийной проблематикой через теорему Пригожина о минимуме производства энтропии:

«При рассмотрении факторов упорядочения... не было принципиальной необходимости обращения к идее отбора. Однако в неявном виде он присутствует в механизме эволюции, так как требование минимума производства энтропии предполагает конкуренцию между участниками процесса, способными обеспечить этот минимум. Естественный отбор сопровождает эволюцию, модифицирует пути эволюции, но не является обязательным фактором упорядочения» [Галимов. С. 67].

Подробнее о концепции Галимова см. в разд. П. 3.1.9.

Когда тот иной автор говорит об (естественном) отборе, порой трудно понять, имеется ли в виду собственно естественный отбор или же только борьба за существование (конкуренция). Между тем это крайне существенно, поскольку борьба за существование, в отличие от естественного отбора, полагаем мы, действует и в органической эволюции, и в универсальной эволюции вообще, оставляя на «приплод» наиболее удачные прогрессивные самосборки (новации, мутации) и элиминируя менее успешные [Хайтун, 2005а. Разд. 4.4.3 и 4.7.2]. Совершенно определенно, однако,

борьба за существование, способствующая адаптации органических (и не только) форм к среде, не определяет направленность эволюции в сторону усложнения [Там же. Разд. 4.7.2 и 5.3–6].

Среда в этом участвует, но совсем не так, как это мыслится в концепции Шрёдингера и др., — безо всяких потоков негэнтропии из среды в эволюционирующие системы (см. концовку разд. П. 3.1.4).

Таким образом, подключение теории естественного отбора к концепции Шрёдингера и др. не помогает установить, чем задается наблюдаемое направление эволюции в сторону усложнения.

П. 3.1.7. Третья модификация концепции Шрёдингера и др.: дихотомия система/среда ускоряет рост энтропии

Концепция Шрёдингера и др., если ее взять как целое, включая две очерченные выше модификации, удовлетворяет сегодня большинство ученых, которые полагают, что дихотомия система/среда, характеризующая открытые системы с их потоками энтропии изнутри наружу, снимает все противоречия между эволюционным усложнением и ростом энтропии:

«Мнимое противоречие между возрастанием сложности в ходе биологической эволюции и возрастанием энтропии в эволюции изолированной физической системы легко снимается. В биологии мы имеем дело с открытыми системами, далекими от равновесия» [Волькенштейн, 1984. С. 430].

В некоторых работах, однако, такое противоречие искусственно создается, когда

их авторы высказываются в том плане, что живые и социальные системы, не нарушая закона возрастания энтропии, *противодействуют* ему,

оттягивая смерть организма или разрушение того или другого социального объекта:

«...организм непрерывно создает порядок из порядка в смысле самовоспроизведения и порядок из беспорядка в силу обмена веществ... Здание, предоставленное самому себе, разрушается... Разумная деятельность живого организма — человека — направлена на преодоление второго начала. Человек... не увеличивает, а уменьшает энтропию» [Волькенштейн, 1965. С. 30].

О противодействии живого закону возрастания энтропии говорят также авторы работ [Аузэрбах, 1911; Анри, 1917; Osborn, 1918; Комаров, 1921; Бернштейн, 1966; Опарин, 1966; Шмальгаузен, 1972; Опарин, Гладилин, 1982; Алексеев, 1984; Югай, 1985; Галимов, 2001; Цветков, 2002]. Приведем еще одно высказывание такого рода:

«... жизнь есть ничто иное, как постоянное задержание и накопление химической и лучистой энергии, замедляющее превращение полезной энергии в теплоту и препятствующее рассиванию последней в мировом пространстве» [Анри, 1917. Столб. 455].

Это противодействие, утверждается в этой концепции, не приводит к нарушению закона возрастания энтропии только из-за своей малости:

«Если рассматривать солнечную систему как изолированную (что, конечно, весьма далеко от истины), то энтропия ее непрерывно увеличивается за счет излучения Солнца. На фоне этого грандиозного процесса уменьшение энтропии во всех живых организмах ничтожно мало» [Волькенштейн, 1965. С. 34].

Аналогичным образом Л. А. Блюменфельд, оценив количество содержащейся в многоклеточном организме информации в битах и перейдя путем ее умножения на постоянную Больцмана к оценке

«понижения энтропии при построении организма человека за счет упорядоченности» в энтропийных единицах (э. е.) [Блюменфельд, 1977. С. 26],

заключает:

«Таким образом, упорядочение биологической организации человеческого тела не превышает 301,5 э. е., причем подавляющий вклад в эту упорядоченность вносит упорядоченное распределение аминокислотных остатков в молекулах белков. Такое понижение энтропии при возникновении сложностей биологической организации — человеческого тела — с легкостью компенсируется тривиальнейшими физическими и химическими процессами. Так, например, повышение энтропии на 300 э. е. обеспечивается испарением 170 см³ воды или окислением 900 г глюкозы.

Рассмотренные оценки показывают, что возникновение и усложнение биологической организации термодинамически происходит практически бесплатно. Энтропия совокупности 10¹³ различных одноклеточных организмов почти не отличается от энтропии человека, состоящего из 10¹³ клеток.

Все разговоры об „антиэнтропийных тенденциях“ биологической эволюции, об исключительной упорядоченности живой материи основаны на явном недоразумении... любая биологическая система упорядочена не больше, чем кусок горной породы того же веса» [Там же. С. 26–27].

Позиция А. И. и А. А. Зотиных аналогична:

«99 % массы живых организмов Земли (примерно $2,4 \cdot 10^9$ т сухой массы) составляют растения... Из оставшегося 1 % на долю беспозвоночных приходится 97–99 % всей зоомассы... Следовательно, биоэнергетический прогресс затрагивает лишь часть организмов, обитающих в биосфере, и часть эта составляет небольшой процент от общей массы живых организмов. В такой большой термодинамической системе, как биосфера, возможны самые невероятные с термодинамической точки зрения процессы, происходящие в одних частях системы за счет сопряженных процессов... протекающих в других. Так считают большинство авторов, использующих термодинамику для понимания процессов биологической эволюции» [Зотин А. И., Зотин А. А., 1999. С. 179–180].

Следует решительно сказать, что оценки Блюменфельда и др. не имеют отношения к действительности, потому что в них вычисляется число вариантов, которыми может реализоваться данная структура при перестановке составляющих ее «кубиков» (клеток, молекул биополимеров и т. д.), *при условии их независимости*, что в статистической физике соответствует модели идеального газа, коим живой организм совершенно определенно не является. Другими словами, в подобных выкладках рассчитывается изменение энтропии *без учета взаимодействий*, которые здесь более чем существенны, изменяя всю картину (см. разд. П. 3.2.5).

Приведем фрагмент выкладок Блюменфельда:

«В теле человека насчитывается порядка 10^{13} клеток. Пусть среди них нет ни одной пары одинаковых клеток и ни одну пару нельзя поменять местами. Это означает, что относительное расположение клеток уникально. Количество информации, необходимос для построения такой единственной структуры из $(10^{13}!)$ возможных $I = \log_2(10^{13}!) \sim 10^{13} \log_2 10^{13} \sim 4 \cdot 10^{14}$ бит. Таким образом, понижение энтропии при построении организма человека за счет упорядоченности этого типа составит $\Delta S = 2 \cdot 10^{-24} \cdot 4 \cdot 10^{14} \sim 10^{-9}$ э. с.» [Блюменфельд, 1977. С. 25–26].

Видим, что Блюменфельд вычисляет величину $k \log_2 N!$, где N — число «кубиков», что отвечает в статистической физике приближению *равновероятных* микросостояний, которыми может реализоваться данное макросостояние. Иначе говоря — модели *равновесного* газа *независимых* частиц («кубиков») (см. соотношение (5.5.9) и связанный с ним текст).

Противодействуя, в рамках рассматриваемой концепции, закону возрастания энтропии, живые и социальные системы не могут не *тормозить* суммарный рост энтропии:

«... жизнь равнозначна замедлению дегградации, следующей из второго принципа» [Шамбадаль, 1967. С. 265].

«Жизнь двояким образом *стремится* опровергнуть постулат Клаузиуса, во-первых: в процессе индивидуальной эволюции, или онтогенеза, во-вторых -- в процессе перехода одних форм в другие, или филогенеза. Тогда как мертвое охотно идет навстречу рассеянию энергии, превращая всякую энергию в тепловую и тем обесценивая ее, живое *борется* с этим космическим процессом: оно действительно, активно, оно идет как бы наперекор постулату Клаузиуса, *стремясь не растратить, а накопить энергию...* Организм замедляет превращение энергии в теплоту, препятствует теплоте рассеиваться в мировом пространстве и тем отдалает то состояние всеобщего равновесия, к какому неуклонно стремится мертвая материя (выделено Л. С. Бергом. С. X.» [Берг, 1922. С. 8–9].

Отсюда с необходимостью следует вывод о том, что органический и социальный миры не являются неизбежными этапами универсальной эволюции. Этот вариант концепции Шрёдингера и др., таким образом, смыкается с точкой зрения Тринчера и др. (разд. П. 3.1.3), которой эта концепция на словах не присмлет.

Вариант концепции Шрёдингера и др., о котором мы здесь говорим, внутренне не обязателен для нее,

более органичной представляется прямо противоположная точка зрения, согласно которой живые системы благодаря дихотомии система/среда *ускоряют* суммарный рост энтропии¹⁴.

Г. Т. Миллер приводит простую пищевую цепь, состоящую из травы, кузнечиков, лягушек, форели и человека. Человеку требуется для питания ежегодно около 300 форелей; 300 форелей в свою очередь поедают ежегодно около 30 000 лягушек; лягушкам нужно 27 млн кузнечиков; кузнечики съедают примерно 1000 т травы. На примере этой цепи Миллер демонстрирует чрезвычайную расточительность живой природы в расходовании энергии. Около 80–90 % энергии, говорит он, просто теряется в каждом пищевом звене, что приводит к громадному суммарному обесцениванию энергии и, следовательно, к росту энтропии [Miller, 1971. P. 291]. Миллера поддерживает Дж. Рифкин [Rifkin, 1980].

Весьма оригинальна точка зрения Р. Фокса. Рост упорядоченности в живых организмах, уверен он, перекрывается упрощением комплексов воды в клетках, суммарный же рост энтропии без этого упорядочения был бы меньше:

¹⁴ [Miller, 1971, 1975; Black, 1978; Jantsch, 1980; Rifkin, 1980; Johnson, 1988; Аллен, Нельсон, 1991].

«Как известно, вода является основным молекулярным компонентом клетки, выполняющим функции растворителя» [Фокс, 1992. С. 98].

«Вода участвует во всех биологических процессах самосборки. Субъединицы, диспергированные в клетке, будь то белки или полинуклеотиды, окружены структурированной водой; молекулы воды связаны водородными связями со многими химическими группами, а также с другими молекулами воды» [Там же. С. 99].

«...увеличение упорядоченности означает очевидное уменьшение энтропии... однако при этом не обязательно возникает противоречие со вторым началом термодинамики, поскольку биологические системы не относятся к классу изолированных систем... упорядочение системы субъединиц при самосборке действительно происходит, но при этом имеет место значительно большее разупорядочение ансамбля молекул воды» [Там же. С. 101].

Доказательств этого странного утверждения Фокс не приводит. Позиция А. Ленинджера [Lehninger, 1975] аналогична: молекулярная самосборка, полагает он, предопределена стремлением окружающих молекул воды к состоянию с максимальной энтропией.

Э. Янч [Jantsch, 1980] последовательно рассматривает разные этапы эволюции материи в рамках синергетической модификации концепции Шрёдингера и др. При этом и рождение звезд и галактик, и появление и развитие жизни на Земле он связывает с убыстрением роста энтропии (подробнее о его варианте концепции универсальной эволюции см. [Хайтун, 2005а. Разд. 5.2.2]).

А. И. и А. А. Зотины, мысля органический мир как термодинамическую систему, представляют его ускоренную эволюцию как результат ускоренного движения к... состоянию равновесия:

«...в общем случае система любой степени сложности в процессе изменений движется к состоянию равновесия. В то же время в термодинамике неравновесных процессов существует... принцип наискорейшего спуска¹⁵, согласно которому движение открытой системы к равновесию происходит самым быстрым путем. Отсюда вытекает, что движение сложной системы к равновесию или стационарному состоянию должно сопровождаться появлением подсистем, которые двигаются в противоположном направлении, и это движение сопровождается увеличением диссипативных функций подсистемы... Появление таких подсистем (таких организмов) ускоряет движение сис-

¹⁵ О принципе наискорейшего спуска А. И. и А. А. Зотиных и родственных ему вариационных принципах линейной (околоравновесной) термодинамики см. [Хайтун, 2005а. Разд. П. 6.1.4].

темы в целом (биосферы) к состоянию равновесия» [Зотин А. И., Зотин А. А., 1999. С. 253–254].

При этом Зотины вполне традиционно понимают энтропию как меру беспорядка:

«В классической термодинамике мерой беспорядка является энтропия, и ее возрастание в ходе движения изолированной системы к состоянию равновесия сопровождается увеличением неупорядоченности системы. Обратный процесс — уменьшение энтропии — соответствует увеличению упорядоченности системы» [Зотин А. И., Зотин А. А., 1999. С. 68–69].

Поэтому движение органического мира к равновесию должно было бы означать, по Зотиним, его упрощение, чего явно не наблюдается, биосфера в ходе эволюции усложняется. Зотины ошибаются, органический мир в ходе эволюции не приближается к равновесию, но удаляется от него.

Подведем итоги нашего обсуждения концепции Шрёдингера и др. Как говорилось, она сегодня наиболее распространена, чему способствовало развитие синергетики и двух других модификаций концепции. Мы видели, однако, что эта концепция оставляет без ответа более чем существенный вопрос о том, куда же сбрасывают беспорядок системы, служащие для усложняющихся систем средой? Другими словами, она не отвечает на главный вопрос,

откуда же, в конце концов, берется тот порядок, который затем потребляется эволюционирующими системами? Что заставляет наблюдаемый мир усложняться в ходе эволюции, если этого так «не хочет» закон возрастания энтропии?

В связи с этим, следует сказать, что из концепции Шрёдингера и др. главным образом испарилась идея *самоорганизации*, поскольку усложнение инициируется здесь исключительно средой. Именно это вменяют ей в вину авторы работы [Немцев и др., 1997], согласно которым, кроме того, самоорганизация за счет среды «ничего не оставляет» от закона возрастания энтропии.

«Эволюция за счет среды» расходится, например, с тем фактом, что органическая эволюция обгоняет по темпам эволюцию неорганической среды, а социальная эволюция — эволюцию неорганической и органической среды. Остается непонятным, кроме того, чем внутренние взаимодействия в системе хуже ее взаимодействий со средой, тем более что дихотомия внутреннее/внешнее весьма условна — при (мысленном) расширении системы внешнее становится внутренним.

Безусловно дихотомия система/среда является одним из важнейших факторов эволюции в сторону усложнения, однако роль этого фактора,

судя по всему, иная, чем это мыслится в концепции Шрёдингера и др. (см. концовку разд. П. 3.1.4). Необходимость уточнения эволюционной роли среды и побуждает, мне кажется, ученых двигаться за пределы концепции Шрёдингера и др.

П. 3.1.8. Пятое направление: рост энтропии может сопровождаться ростом сложности даже в изолированной системе

Это направление представляет собой то же первое направление (разд. П. 3.1.1), только на новом витке понимания проблемы. Ученые подходят здесь к пониманию того, что рост сложности вообще не противоречит росту энтропии.

Дж. Уилсон [Wilson, 1968], поддерживающий, как говорилось в разд. П. 3.1.6, идею «энтропийного насоса», полагает, в отличие от других участников дискуссии по поводу этой идеи, что естественный отбор вносит в живые системы информацию и потому *увеличивает* их энтропию. При этом он не даст себе труда согласовать рост энтропии с ростом сложности организма.

Ряд авторов, высказывая сомнения относительно традиционной увязки энтропии с беспорядком, корректируют либо понятие беспорядка/сложности (одна группа авторов), либо понятие энтропии (другая группа авторов). К первой группе относится П. Райт [Wright, 1970], который ограничивается туманным призывом к умеренности [moderation] в употреблении трактовки энтропии как меры беспорядка, поскольку идеи, касающиеся «порядка», имеют «интуитивный качественный» характер.

С. Бир более категоричен:

«Почему бы нам не настаивать на том, что наиболее вероятное следует считать и наиболее упорядоченным? Можно ли представить себе что-либо более упорядоченное, чем идеально равномерное распределение молекул, теплоты или каких-то иных объектов...?» [Бир, 1965. С. 285].

Биру, конечно, не запретишь считать равномерное распределение наиболее упорядоченным. Только это ни на йоту не сдвигает с места проблему соотношения энтропии и эволюции. В самом деле, если мы полагаем, что при переходе в равновесие ранее неравновесного газа имеет место упорядочение, то мы должны признать за процессы упорядочения и происходящие в природе процессы дезинтеграции, также сопровождаемые выравниванием соответствующих распределений. И наоборот, происходящие в ней процессы структурирования, делающие распределения всё

менсе равномерными, придется отождествить с процессами уменьшения порядка. Тогда проблема, подлежащая решению, будет звучать так: энтропия является (по Биру) мерой порядка, ее рост означает увеличение упорядоченности; как связать с законом возрастания энтропии идущие в ходе эволюции процессы, связанные с уменьшением упорядоченности? Проблема, таким образом, вывернулась наизнанку, но осталась.

С. М. Стишов утверждает, что

«геометрический беспорядок и энтропия неоднозначно связаны между собой» [Стишов, 1988. С. 119],

поскольку термин

«„беспорядок“... следует понимать только в том смысле, что микроскопическое состояние системы многих частиц задается набором случайных величин, исчисляемых на основе вероятностных законов» [Там же. С. 93].

К сожалению, он не расшифровывает далее свое понимание беспорядка.

Именно трудности, возникающие при использовании энтропии в качестве меры беспорядка, способствовали, представляется, появлению колмогоровской меры сложности [Chaitin, 1975, 1988; Papertin, 1980; Landauer 1988]. При этом сложность данной структуры измеряется длиной минимальной математической программы, необходимой, чтобы записать эту структуру. Такое переопределение понятия сложности, однако, не отменяя факта эволюционного усложнения, не дает ничего нового и для решения проблемы соотношения энтропии и эволюции.

Н. Георгеску-Роеген предлагает вообще отказаться от понятия беспорядка/сложности:

«Беспорядок, в высокой степени относительно, если не вообще неуместное понятие» [Georgescu-Roegen, 1971. P. 142].

После столь конструктивного заявления ему уже ничто не мешает рассматривать экономические процессы с позиции закона возрастания энтропии.

К числу авторов, поднимающих руку на понятие энтропии, относится А. М. Хазен [1992, 1993, 1998а, б, 2000], который, желая преодолеть трудности, связанные с трактовкой энтропии реальных систем как меры беспорядка, модернизирует энтропию Больцмана

$$S = k \ln W, \quad (\text{П. 3.13})$$

применительно к которой он считает действующим вариационный принцип *минимального* производства энтропии. Модернизированную энтропию Больцмана Хазен определяет выражением

$$S = K \ln \Omega, \quad (\text{П. 3.14})$$

«где K — адиабатический инвариант системы и Ω — функция, описывающая число состояний, которые может принимать система, образованная многими элементами» [Хазен, 1998б. С. 12].

Далее он вводит собственную энтропию

$$S(K) = \chi \ln K \quad (\text{П. 3.15})$$

[Там же. С. 28], применительно к которой считает действующим уже принцип *максимального* производства энтропии.

Напомним, что в современной физике K — это никакой не «адиабатический инвариант», а постоянная Больцмана k (см. концовку разд. 5.5.2). Концепция разработана Хазеном весьма детально, у него есть сторонники [Мезенцева, 1997], однако, на мой взгляд, для введения новой — хазеновской — энтропии нет достаточных оснований, решение проблемы соотношения энтропии и эволюции, как будет показано в разд. П. 3.2, не требует столь сильных средств.

А. П. Левич [2002, 2004] переходит от энтропии Больцмана, которую принято считать равной (точнее — пропорциональной) логарифму числа возможных микросостояний системы¹⁶, к обобщенной энтропии, равной

«логарифму удельного числа допустимых преобразований данного состояния системы» [Левич, 2004. С. 91].

И этот переход, представляется, недостаточно обоснован, или, другими словами, является слишком сильным средством решения обсуждаемой проблемы.

Версия М. И. Штеренберга представляет собой «энтропийный аналог» упомянутой выше версии Н. Георгеску-Росгена. Он обнаруживает, что рост энтропии может сопровождаться ростом упорядоченности даже в случае изолированной системы:

«Возьмем смесь льда и изолируем ее. Если вода холодная и лед достаточно охлажден, то эта смесь, несмотря на рост энтропии в этой системе, превратится в упорядоченный ледовый кристалл. Этот пример обладает достаточной общностью, ибо он может быть реализован на всех смесях типа твердая — жидкая фаза. Упорядочение может происходить одновременно с ростом энтропии и в других случаях, как в изолированной, так и в открытой системе. Это относится, в частности, к реакциям полимеризации, когда, например, из жидких компонентов эпоксидной смолы или газообразного мономера (этилена, про-

¹⁶ Это справедливо, напомним, в случае равновесной замкнутой системы и не справедливо в общем неравновесном случае (см. текст между соотношениями (5.5.8) и (5.5.9).

пилена и т. п.) образуется твердый полимер. Отсюда следует естественный вывод, что упорядочение может сопровождаться ростом энтропии не только в изолированных, но и в открытых системах» [Штеренберг, 2003. С. 104]

(ср. в разд. П. 3.2.6–7 пример с кристаллизацией пересохлажденной жидкости). Это обстоятельство заставляет его... отказаться от понятия энтропии при обсуждении второго начала термодинамики:

«Таким образом, ответ на замечание Дж. фон Неймана¹⁷ мог бы прозвучать так: „Никто не знает, что же такое в действительности энтропия, потому что она не имеет определенного физического смысла“. Поэтому представляется рациональным при формулировке второго закона делать акцент на тех определениях, которые не содержат понятия „энтропия“» [Там же. С. 110].

«Конечно, всё сказанное не означает для функции (а не понятия) энтропии „запрета на профессию“. Более того... ее используют для решения ряда задач. Однако здесь напрашивается аналогия с использованием в математике функции комплексного переменного в промежуточных операциях. Но, естественно, никто не предпримет попытку найти физический смысл комплексного числа» [Там же. С. 111].

На мой взгляд, Штеренберг ошибается, у энтропии имеется совершенно определенный смысл, и состоит он в том, что скорость роста энтропии характеризует скорость (интенсивность) необратимых процессов превращения друг в друга разных форм взаимодействий (разд. 5.5.3), а сама эта величина имеет смысл вероятности макросостояния системы (разд. 5.5.2 и 7.2.3). То же обстоятельство, что рост энтропии зачастую сопровождается ростом упорядоченности даже в случае изолированной системы, может быть осмыслено без отказа от понятия энтропии (разд. П. 3.2).

Более полезными представляются рассматриваемые далее работы, в которых поиск путей объяснения роста сложности с ростом энтропии ведется без пересопределения понятий энтропии и сложности/порядка и без отказа от них. При всем разнообразии появляющихся здесь исследований все они кружатся около одних и тех же идей.

Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков полагают, что происходящее в ходе эволюции Вселенной усложнение ее пространственной структуры, связываемое ими с уменьшением энтропии, происходит благодаря параллельному упрощению импульсной структуры, которое они связывают с ростом энтропии [Зельдович, Новиков, 1967. С. 640]. Непонятно, однако, на каком основании они трактуют эволюционное усложнение Вселенной как чисто

¹⁷ Высказывание фон Неймана: «Никто не знает, что же такое в действительности энтропия» [Штеренберг, 2003. С. 104].

пространственное. Кроме того, весь их подход страдает механистичностью, поскольку полная энтропия вводится ими в пространстве координат и импульсов, что возможно лишь для механических систем, которые занимают в наблюдаемом мире достаточно скромное место (разд. 2.4.2.2, т. 1). Тем не менее, будучи внутренне непротиворечивой,

эта конструкция появляется в узнаваемом виде у целой группы авторов, разрабатывающих идею «закона сохранения энтропии».

Я. А. Виньковецкий расщепляет энтропию на структурную (пространственную), с которой он связывает рост сложности, и «энергетическую», отвечающую, как он полагает, за упрощение. Причем для *произведения* значений этих двух видов энтропии у него действует «закон сохранения» [Виньковецкий, 1971. С. 32]. Эта конструкция, на мой взгляд, также остается игрой ума.

Е. А. Седов [1976, 1980, 1982] выдвигает «закон всемирного равновесия»:

«Можно предполагать, что наряду с законом всемирного тяготения в масштабах Вселенной действует также закон всемирного равновесия, суть которого заключается в том, что обесценивание энергии (рост энтропии), обусловленное рассеиванием тепловой энергии, компенсируется накоплением информации (уменьшением энтропии), обусловленным концентрацией массы, осуществляющейся под действием гравитационных сил» [Седов, 1976. С. 35–36].

Можно, конечно, сказать, что решение Седова несостоятельно, потому что нет никакого «закона всемирного равновесия» (гипотеза о таком законе является слишком сильной). Однако не всё так просто, за этим «законом» у Седова стоит реальный факт. В ходе длящегося около 13,7 млрд лет расширения нашей Метагалактики и на самом деле происходит, с одной стороны, ее охлаждение (разд. 7.5.3) с превращением тепла в другие формы энергии, а, с другой стороны, — ее гравитационное структурирование. Вот Седов и полагает, что эти два процесса в части усложнения/упрощения и возрастания/убывания энтропии компенсируют друг друга.

К сожалению, этот факт осмыслен Седовым недостаточно четко. Во-первых, не может быть и речи о взаимной *компенсации* процессов возрастания и убывания энтропии, т. к. полная энтропия *растет*. Во-вторых, ему не стоило столь жестко связывать процессы охлаждения нашей Метагалактики (Седов говорит о Вселенной) с ростом энтропии, а ее гравитационного структурирования — с убыванием последней, здесь всё достаточно зыбко. Скажем, превращение тепла в другие формы энергии, как и всякий необратимый процесс, сопровождается *ростом* энтропии, однако уменьшение количества тепла в нашей Метагалактике, как о том говорится в разд. 7.5.3) происходит с *уменьшением* тепловой энтропии.

В более поздних работах Е. А. Седов [1988, 1993] утверждает, что упорядочение материи на верхних уровнях структурной организации компенсируется ее разупорядочением на нижних, и наоборот. У «закона иерархической компенсации Седова» имеются свои сторонники, например, А. П. Назаретян [1999б, 2004], о котором пойдет чуть далее.

Автор этих строк сам когда-то думал подобным образом:

«...средний атомный вес химических элементов земной коры равен 24,8, а органических систем — 14. Таким образом, средний атомный вес живого на Земле существенно меньше, чем неживого. Очевидно, уменьшение среднего атомного веса означает упрощение структурной организации материи на атомном уровне.

Итак, живая материя, будучи на надатомных уровнях организации сложнее неживой, на атомных — проще ее. Поэтому удельная энтропия живого по сравнению с неживым меньше на надатомных уровнях и больше на атомном. Следовательно, процесс убывания энтропии живого на надатомных уровнях в ходе эволюции органического мира сопровождается процессом возрастания энтропии на атомном уровне структурной организации материи. (Конечно, не следует думать, что при развитии живой материи происходит фактическое уменьшение атомного веса элементов: нет, здесь происходит выборка химических элементов с меньшими весами.)» [Хайтун, 1974. С. 291–292].

Сегодня я уверен в ошибочности этой точки зрения. Просто потому, что процессам усложнения «незачем» уравниваться процессами упрощения, поскольку энтропия реальных систем не является мерой беспорядка (см. разд. П. 3.2). Дихотомическое разведение процессов усложнения и упрощения — система/среда, пространственные/импульсные структуры, верхние/нижние уровни организации и т. д., — на мой — сегодняшний — взгляд, непродуктивно.

А. П. Назаретян развивает закон всемирного равновесия Седова в *закон сохранения разнообразия*:

«...закономерная связь между ростом и ограничением разнообразия выглядит настолько общезначимой, что напрашивается вывод о наличии еще одного универсального закона сохранения. Закон сохранения разнообразия мог бы оказаться прямым следствием термодинамических законов (или наоборот?). Теоретически на роль универсального источника неэнтропии могли бы претендовать черные дыры, прочее темное вещество... или какие-то «дофизические» формы материи» [Назаретян, 2004. С. 227–228].

Отказ от трактовки энтропии как меры беспорядка делает лишним и этот «закон».

Д. С. Чернавский [Романовский и др., 1984. С. 33–39] формулирует «закон» постоянства суммы информации, заключенной в системе в данный момент, и информационной энтропии:

$$H + I = \text{const}, \quad (\text{П. 3.16})$$

где I — информация и

$$H = -\frac{1}{\log 2} \sum_i p_i \log p_i \quad (\text{П. 3.17})$$

— информационная энтропия. Опираясь на этот «закон», Чернавский полагает, что в ходе эволюции имеет место уменьшение информационной энтропии и увеличение информации:

«Все процессы от стадии „бульона“ до образования объектов единого кода часто связывают с возникновением биологической информации и уменьшением информационной энтропии» [Там же. С. 38].

Увеличение сложности в ходе эволюции совмещается, таким образом, с ростом заключенной в системе информации.

Надо сказать, что «закон» Чернавского — это чистой воды недоразумение, поскольку постоянство суммы информации и информационной энтропии выражает собой *определение* информации, и только. Дело в том, что, как говорилось в разд. 5.5.4, информация может быть введена двумя разными способами, в зависимости от того, как при этом подключается наблюдатель.

Если мы говорим об информации, которая *содержится в системе (в тексте)* и которую наблюдатель может из нее извлечь, то справедлив *энтропийный принцип информации* (информация растет с энтропией). Соответствующая информация (Шеннона) совпадет с физической (и информационной) энтропией. Если же мы говорим об информации, которой *наблюдатель уже располагает о системе (о тексте)*, то справедлив *неэнтропийный принцип информации* (информация убывает с ростом энтропии). Соответствующая информация (Бриллюэна), с точностью до произвольной аддитивной постоянной, отличается от физической (и информационной) энтропии знаком, поскольку информация, которой мы располагаем в *некоторый начальный момент времени* о реальной системе, в ходе ее естественной эволюции уменьшается (наша информация устаревает), тогда как энтропия системы при этом растет.

Вот это второе определение, в которое входит произвольная аддитивная постоянная, Чернавский и трактует как «закон» природы. Информация Шеннона (см. выражения (5.5.17–18)):

$$I_{III} = H \quad \text{или} \quad I_{III} = H_0 + H. \quad (\text{П. 3.18})$$

Информация Бриллюэна (см. выражение (5.5.15–16)):

$$I_B = -H \quad \text{или} \quad I_B = H_0 - H, \text{ т. е.} \quad I_B + H = H_0. \quad (\text{П. 3.19})$$

Вот это определение Чернавский и трактует как «закон» природы (П. 3.16). Мало того, не упоминая (не подозревая?) о двух способах введения информации, допускает при этом еще и прямую ошибку, говоря о входящей в это определение информации как об уже *заключенной в системе*, тогда как так выражениями (П. 3.15–16) определяется информация Бриллюэна, а не Шеннона, и потому с уменьшением информационной энтропии H эта информация (Шеннона), вопреки Чернавскому, также уменьшается, а не растет.

На аналогичной путанице с определением информации, позволяющей совместить рост сложности с ростом информации (Бриллюэна), основано решение проблемы несоответствия роста энтропии росту эволюционной сложности Н. Н. Заличевым, согласно которому

«общая ЭИ человечества постоянно возрастает» [Заличев, 1995. С. 88].

Здесь ЭИ — это энтропия информации, определяемая Заличевым как энтропия, взятая с обратным знаком [Там же. С. 85].

Точка зрения А. Н. Панченкова также подобна точке зрения Чернавского. Отличие в том, что он говорит только о физической энтропии, деля ее на координатную (структурную) и импульсную, которую он отождествляет с термодинамической. Полная энтропия у Панченкова в ходе эволюции наблюдаемого мира остается постоянной, тогда как импульсная растет, обеспечивая упрощение импульсных структур, а координатная уменьшается, обеспечивая усложнение пространственных структур:

«...фундаментальным свойством энтропии является двойственность представления. Это свойство в формульном виде имеет формулировку

$$H_f = H_q + H_p. \quad (\text{П. 3.20})$$

Здесь H_q — структурная энтропия, H_p — энтропия импульса» [Панченков, 1999. С. 72].

«Энтропию импульса можно рассматривать как ресурсы системы, необходимые для ее строительства, развития и жизнеобеспечения. Этому смысловому значению H_p будет соответствовать значение структурной энтропии как структуры системы, зависящей от времени — текущей структуры. При таком толковании смысл глобальной симметрии — *закона сохранения энтропии* — ясен: при движении виртуальной сплошной среды сумма ее ресурсов и структуры сохраняет постоянно значение.

Таким образом, *закон сохранения энтропии* во Вселенском масштабе означает — все процессы во Вселенной есть процессы преоб-

разования энтропии импульса в структурную энтропию (и наоборот) при постоянной общей энтропии (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 505–506].

Против конструкции Панченкова могут быть высказаны те же аргументы, что и против конструкции Зельдовича и Новикова, плюс возражения против его закона сохранения полной энтропии, который равным счетом ни на чем не основан.

О законе сохранения энтропии пишет также П. Ю. Черносвитов:

«...второе начало термодинамики в приложении ко Вселенной в целом должно формулироваться как закон сохранения энтропии, а не ее несубвывая и уж тем более — не ее возрастания... Если в какой-то локальной точке Вселенной (предположим на планете Земля) наблюдается очевидный рост сложности материальных структур, то, значит, именно эта локальная точка испытывает активный приток информации. Но если закон сохранения информации верен, то где-то во Вселенной должен наблюдаться ее отток. Иначе говоря, построение одних сложных структур должно неизбежно сопровождаться разрушением других (выделено мной. — С. Х.)» [Черносвитов, 1998].

В этом же ряду находится позиция А. С. Харитоновой, согласно которому энтропия — это мера

«неопределенности состояния системы... минимуму свободной энергии соответствует не максимум энтропии, как принято в термодинамике, а максимум суммы трех энтропий, определенных в своих классах переменных. Поэтому рост энтропии по одному классу переменных может компенсироваться ее уменьшением по другим классам переменных:

$$\Delta I(p) + \Delta I(q) + \Delta I(l) = 0 \quad (\text{П. 3.21})$$

(выделено мной. — С. Х.)» [Харитонов, 2004. С. 23].

«Система находится в равновесии относительно общей (суммарной) меры хаоса и порядка, с одной стороны, а, с другой стороны, мера хаоса и порядка по каждому классу переменных может перестраиваться... Насколько возрастает мера хаоса по одним переменным, настолько же она уменьшается по другим переменным (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 34].

Здесь p — импульсы, q — координаты и l — «набор типов степеней свободы, характеризующий структурное многообразие динамических элементов» [Там же. С. 22].

В отношении построения А. С. Харитоновой могут быть высказаны те же соображения, что и в отношении предыдущих «равновесных» концепций:

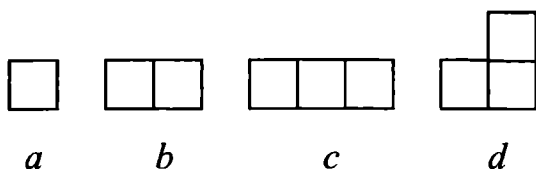


Рис. П. 3.1. Этим рисунком Д. Р. Брукс и Е. О. Уилей [Brooks, Wiley, 1986. P. 59] иллюстрируют свой тезис, согласно которому с образованием структуры энтропия *растет*.

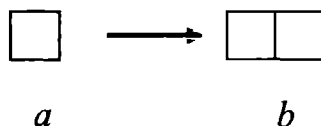


Рис. П. 3.2. Фрагмент рис. П. 3.1. При переходе от фигуры *a* к фигуре *b* энтропия *растет*.

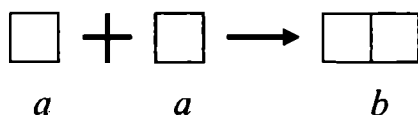


Рис. П. 3.3. Показанный на рис. П. 3.2 фрагмент рисунка Брукса и Уилей, скорректированный, чтобы учесть то обстоятельство, что при расчете изменения энтропии в ходе образования структуры следует принимать во внимание все ее составные части. При переходе от фигуры, образованной двумя квадратиками *a*, к фигуре *b* энтропия *уменьшается*. Это подрывает тезис Брукса и Уилей, изложенный в подписи к рис. П. 3.1.

за представлениями о такой «равновесности», на мой взгляд, не стоит ровным счетом ничего реального.

Более чем странная идея принадлежит Д. Р. Бруксу и Е. О. Уилею [Wiley, Brooks, 1982; Brooks, 1983; Brooks, Wiley, 1986], работы которых вызвали острую критику [Lovtrup, 1983; Bookstein, 1983]. Отталкиваясь от работ Дж. Уикена (о которых мы расскажем чуть погодя), эти авторы, однако, согласовывают рост энтропии, имеющий место, как они полагают, в ходе индивидуального развития организма (онтогенеза), с ростом сложности вполне оригинальным образом.

В основе представления Бруксом и Уилесом процесса образования структуры в ходе онтогенеза лежит элементарная последовательность геометрических фигур, показанная на рис. П. 3.1:

«Четыре простых геометрических фигуры... Вершины представляют дискретные элементы („частицы“), образующие структуры. Ли-

нии, связывающие вершины, представляют взаимосвязи между элементами, которые определяют структуры» [Brooks, Wiley, 1986. P. 59].

Вводя вероятность, с которой данная «частица» попадает в соответствующую вершину, они посредством несложных расчетов получают *рост энтропии при переходе от более простых фигур к более сложным*. Скажем, для фигур a и b на рис. П. 3.1:

$$H_a = -4 \left(\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} \right) = 2,00 \text{ бит}, \quad (\text{П. 3.22})$$

$$H_b = -4 \left(\frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right) - 2 \left(\frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} \right) = 2,50 \text{ бит}. \quad (\text{П. 3.23})$$

Ошибка Брукса и Уилея очевидна: они не учитывают, что в ходе образования новой структуры вещество этих новых структур не возникает из ничего.

Вместо, скажем, предложенной ими элементарной схемы, фрагмент которой воспроизведен на рис. П. 3.2, следует брать схему, показанную на рис. П. 3.3, для которой с усложнением фигуры энтропия уменьшается:

$$H'_a = 2H_a = 4 \text{ бит}, \quad (\text{П. 3.24})$$

$$H'_b = H_b = 2,50 \text{ бит}. \quad (\text{П. 3.25})$$

То есть, мы снова получаем уменьшение энтропии при образовании структуры, с чем так неудачно борются Брукс и Уилей.

Более плодотворной представляется идея, согласно которой усложнение системы может происходить с ростом энтропии за счет увеличения максимального числа возможных микросостояний.

В общем виде эту идею предложил П. Т. Ландсберг [Landsberg, 1984a, b].

Ландсберг связывает беспорядок D и энтропию S не выражением (7.2.1) $S = k \log D$, а другим:

$$D = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{S}{k \ln n}, \quad (\text{П. 3.26})$$

где n — максимальное число возможных макросостояний системы. Для порядка $1 - D$ имеем

$$1 - D = 1 - \frac{S}{S_{\max}}. \quad (\text{П. 3.27})$$

«В реальных ситуациях $S(n)$ может расти, и временная скорость изменения [беспорядка]

$$\dot{D}(n) = \left(\frac{\dot{S}(n)}{S(n)} - \frac{\dot{n}}{n \ln n} \right) D(n) \quad (\text{П. 3.28})$$

может быть отрицательной, если даже $\dot{S}(n)$ положительна» [Landsberg, 1984a].

Понятие порядка/беспорядка вводится на интуитивном уровне (см. разд. П. 3.2.3), так что определение (П. 3.26) в принципе в принципе ничем не хуже определения (7.2.1), отличаясь от него линейностью вводимой связи между D и S и нормировкой D на единицу. Вот эта нормировка, благодаря которой в определении (П. 3.26) появляется множитель $1/k \ln n$, и позволяет, если рассуждать формально, порядку $1 - D$ расти с энтропией S .

В содержательном плане мысль Ландсберга проста — мы знаем, что энтропия распределения тем больше, чем оно шире, и что распределение тем шире, чем оно проще по форме (см. разд. П. 3.2.5).

Уменьшение энтропии распределения, вызванное усложнением его формы, полагает Ландсберг, может быть превзойдено увеличением энтропии, вызванным расширением распределения за счет роста числа возможных микросостояний.

Идею, аналогичную ландсберговской, высказывает и Д. Лэйзер [Layzer, 1975, 1988].

Мыслимы разные реализации этой идеи. Дж. С. Уикен [Wicken, 1978, 1987, 1988] первым предложил вариант такой реализации. Рассматривая процесс образования молекул-полимеров из мономеров, он показывает, что этот процесс может идти с ростом энтропии за счет роста числа доступных системе конфигурационных возможностей.

Уикен иллюстрирует свои соображения на следующем простом примере. Допустим, у нас есть молекулы-мономеры A , B , C и D в равном числе. Допустим, далее, что некоторая доля молекул-мономеров всех четырех типов образовала димеры. Всего, таким образом, имеем теперь 20 типов молекул — 4 типа мономеров и 16 типов димеров:

A	B	C	D
AA	BA	CA	DA
AB	BB	CB	DB
AC	BC	CC	DC
AD	BD	CD	DD

Опираясь на классическое определение энтропии Больцмана, Уикен вводит энтропию данной системы как пропорциональную логарифму числа комбинаций, которые могут быть образованы из всех молекул (мономеров и димеров). Он обнаруживает, что эта энтропия максимальна при некотором значении доли молекул, образовавших димеры, так что при меньшем значении этой доли их образование происходит с ростом энтропии.

Уикен отталкивается от больцмановского выражения (5.5.9)

$$W = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots} \quad (\text{П. 3.29})$$

для числа микросостояний идеального газа. Обозначая через M число молекул-мономеров каждого из четырех видов A, B, C и D и через ξ — долю молекул всех четырех типов, образовавших димеры, имеем после их образования по $M(1-\xi)$ молекул A, B, C и D . Далее, $4M\xi$ молекул-мономеров образовали $2M\xi$ молекул-димеров, т. е. имеем $(2M\xi/16) = M\xi/8$ молекул-димеров каждого из 16 типов. Общее же количество молекул-димеров разных типов составляет $4M(1-\xi) + 2M\xi = 2M(2-\xi)$. Подсчитываем, используя (П. 3.29), общее число комбинаций, которые могут быть образованы из всех молекул (мономеров и димеров):

$$W_0 = \frac{(2M(2-\xi))!}{(M(1-\xi))!^4 (M\xi/8)!^{16}} \quad (\text{П. 3.30})$$

Исследуя стандартным образом энтропию системы

$$S_0 = k \ln W_0 \quad (\text{П. 3.31})$$

как функцию ξ на максимум, Уикен находит, что этот максимум достигается при $\xi = 0,553$. Отсюда и следует, что объединение мономеров в димеры, связанное с ростом ξ от 0 до любого значения, равного или меньшего 0,553, ведет к росту энтропии.

Поддерживая вывод Уикена о том, что образование молекул-полимеров может идти как с уменьшением энтропии, так и с ее ростом, мы должны, тем не менее, отметить, что использованное им выражение для вероятности макросостояния справедливо только для модели газа невзаимодействующих частиц, неприменимой к реальным системам, всё развитие которых, включая образование полимеров, осуществляется за счет взаимодействий.

С. Фраучи [Frautschi, 1982, 1988] даст другую реализацию идеи Ландсберга. Рассматривая вопрос о том, как примирить наблюдаемую эволюцию Вселенной с законом возрастания энтропии, он в качестве источника роста энтропии указывает увеличение числа фотонов. Как известно, энтропия

системы, состоящей из N частиц, растет с N . Вместо выражения для энтропии газа частиц массы m

$$S = kN \ln \left(\frac{V}{N} \left(\frac{2\pi mkT}{h^2} \right)^{3/2} e^{5/2} \right) \quad (\text{П. 3.32})$$

(V — объем, T — температура, k — постоянная Больцмана и h — постоянная Планка), говорит Фраучи, с точностью до двух порядков можно взять

$$S \approx kN, \quad (\text{П. 3.33})$$

поскольку,

«как заметил Ферми, все большие логарифмы ≤ 100 даже в космологии».

Фраучи рассматривает для примера связывание нуклонов в α -частицы, когда число нуклонов уменьшается в 4 раза, но зато на каждый нуклон выделяется $(7 \text{ Мэв})/3kT$ фотонов за счет освобождения энергии в процессе связывания нуклонов. Таким образом, суммарное изменение энтропии, если воспользоваться выражением (П. 3.33), составляет

$$\Delta S = k \left(\frac{N}{4} + \frac{N(7 \text{ Мэв})}{3kT} \right) - kN. \quad (\text{П. 3.34})$$

При $T < (28/9) \text{ Мэв}$ изменение энтропии оказывается положительным.

Фраучи, несомненно, прав, рост числа фотонов (и других частиц) и связанное с этим увеличение числа возможных микросостояний является одним из каналов роста энтропии во Вселенной, который уже сам по себе мог бы, навстречу, компенсировать многие идущие здесь процессы усложнения, *если бы они в том хоть сколько-нибудь нуждались* (см. разд. П. 3.2).

Однако во Вселенной, помимо процессов возникновения частиц, происходят и процессы их поглощения и аннигиляции.

Ф. А. Цицин приходит к выводу о возможности уменьшения энтропии замкнутой системы *при одновременном росте вероятности ее состояния*. Ножницы между энтропией и вероятностью состояния появляются у него за счет флуктуаций энтропии:

«С учетом... флуктуаций функциональная связь между энтропией... и вероятностью состояния... системы отсутствует... Поэтому неправомерно отождествление процесса релаксации, идущего при обязательном увеличении вероятности состояния системы, с процессом *роста энтропии*. В свете полученных результатов не исключены и такие процессы, в которых увеличение вероятности состояния... со-

проводается *понижением энтропии* (выделено Цициным. — С. Х.)» [Цицин, 1988. С. 152–153].

Всё бы ничего, да только флуктуации энтропии, пропускающие усложнение реальных систем, должны были бы быть в схеме Цицина достаточно редкими событиями, тогда как усложнение является вектором всей универсальной эволюции.

Существует другая, гораздо более глубокая и общая идея, объясняющая, почему рост энтропии может сопровождаться ростом сложности даже в изолированной системе.

П. 3.1.9. Шестое направление: эволюционное усложнение объясняется теоремой Пригожина (концепция Галимова)

Э. М. Галимов придерживается общепринятого взгляда на энтропию как меру беспорядка

«Традиционно энтропия понимается как мера беспорядка. Но лучше сказать: энтропия — это мера свободы. Уменьшение энтропии — это ограничение свободы... Упорядочение — это нарастающая степень несвободности поведения» [Галимов, 2001. С. 42–43].

Эволюционное же усложнение — и в этом состоит его новация — он выводит из *теоремы Пригожина* о минимуме производства энтропии, в которой идет речь об открытой околоравновесной системе, описываемой линейной термодинамикой. Если заданные граничные условия не позволяют системе достичь состояния равновесия с нулевым производством энтропии, говорит теорема, то система переходит в стационарное состояние с постоянным во времени минимальным при данных условиях производством энтропии (разд. П. 2.3).

Чтобы приложить теорему Пригожина к живым системам, Галимов объявляет их околоравновесными:

«Принцип минимального производства энтропии, на который мы опираемся, справедлив лишь в области линейной термодинамики, т. е. относится к процессам, не слишком удаленным от равновесия» [Там же. С. 160].

«Химические реакции в организме и химическое содержание процессов эволюции, с нашей точки зрения, являются в существенной мере процессами, отвечающими линейной области неравновесной термодинамики» [Там же. С. 58].

Галимов сознает спорность своего утверждения:

«И. Пригожин и другие представители брюссельской школы связывают процессы биологической самоорганизации исключительно с явлениями упорядочения (диссипативными структурами), отвещающими области нелинейной термодинамики необратимых процессов... На первый взгляд, представление о какой-либо близости к равновесию кажется совершенно несовместимым с высокоупорядоченным и, следовательно, глубоко неравновесным обликом биологических систем» [Там же. С. 161–162].

Тем не менее он уговаривает себя, что теорема Пригожина применима к органическим системам, поскольку не видит другого способа объяснить эволюционное упорядочение. Ему тем легче себя уговорить, что органические системы и на самом деле околоравновесны в некоторых отношениях, например, в отношении элементного состава, как это убедительно показывает Галимов на примере распределения изотопов углерода [Там же. С. 179–197]. Отсюда, конечно, не следует, что органические системы околоравновесны во всех отношениях:

«На этом фоне могут иметь место глубоко необратимые реакции, нелинейные процессы, нестационарные состояния и т. п.... Близость к равновесию и стационарность биохимических процессов делает в некоторых случаях эффективным использование методов равновесной термодинамики... Это менее очевидно применительно к собственно эволюционным процессам (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 196–197].

Тем не менее, наступая на свои сомнения, Галимов прилагает *околоравновесную* теорему Пригожина к «собственно эволюционным процессам» в живых системах. Вот центральный пункт его концепции:

«Система необратимых реакций, в которой установилось стационарное состояние, характеризуется минимумом производства энтропии. Эта система является устойчивой. Если какое-либо возмущение выводит ее из стационарного состояния, то она стремится вернуться в него. Любое состояние, отличное от стационарного, характеризуется более высоким производством энтропии, следовательно, любое возмущение приводит к увеличению энтропии системы. Релаксация системы с возвращением в стационарное состояние, т. е. состояние с минимумом производства энтропии, должно сопровождаться образованием низкоэнтропийного продукта. Таким образом, возникает эволюционирующая стационарная система, поддерживаемая притоком энергии и обменом веществ» [Там же. С. 130].

Как видим, Галимов объясняет эволюционное усложнение упорядочением, которое раз за разом происходит в живых системах, когда они,

отклонившись почему-либо от стационарного состояния, возвращаются в него с уменьшением производства энтропии.

Это объясняется, мягко говоря, несостоятельно. Допустим на минуту, что возвращение системы в стационарное состояние и на самом деле сопровождается «образованием низкоэнтропийного продукта». Чтобы вернуться в стационарное состояние, надо из него сначала выйти.

Живые системы возвращаются в стационарное состояние ровно столько же раз, сколько отклоняются от него.

Если возвращение в стационарное состояние сопровождается упорядочением, то отклонение от него должно сопровождаться разупорядочением. Одно компенсируется другим, никакого эволюционного упорядочения отсюда произойти не может.

Однако Галимов не прав и в исходном своем тезисе, возвращение системы в стационарное состояние вовсе не сопровождается ее упорядочением. Как видно по его центральному высказыванию,

он ошибочно отождествляет уменьшение *производства энтропии* с уменьшением *энтропии*.

Вот еще одно высказывание Галимова в том же духе:

«Производство низкоэнтропийного продукта имеет в качестве обязательной предпосылки принцип минимума производства энтропии в стационарной системе».

В соответствии с теоремой о минимуме производства энтропии... из возможных путей развития предпочтителен тот, который при равном расходе энергии ведет к наибольшему снижению энтропии» [Галимов, 2001. С. 55].

В теореме Пригожина, заметим, речь идет о снижении при приближении к стационарному состоянию не энтропии, но *производства энтропии*. Производство же энтропии (скорость ее роста за счет внутренних процессов) всегда положительно, включая и минимальное производство энтропии в стационарном состоянии системы (разд. П. 2.3). Возвращаясь в стационарное состояние, живая система *продолжает генерировать положительную энтропию*, просто темпы генерирования падают во времени, достигая минимума в стационарном состоянии.

Принимая на минуту, как Галимов, что энтропия является мерой беспорядка, получаем, поэтому, вывод, противоположный им доказываемому: и возвращение живой системы в стационарное состояние, и отклонение от него, и пребывание в этом состоянии сопровождается разупорядочением. Факты, конечно, говорят другое, ни о каком доминировании

процессов разупорядочения в органическом мире говорить не приходится, вот только к теореме Пригожина это не имеет отношения. Поскольку же, таким образом, эта теорема вполне бесполезна в плане объяснения эволюционного усложнения, постольку исчезает и стимул для трактовки органических систем *применительно к эволюционным процессам* как околоравновесных.

П. 3.1.10. Седьмое направление: эволюционное усложнение объясняется давлением взаимодействий

Как это часто бывает в науке, невозможно сказать, кто первым пришел к мысли о том, что эволюционное усложнение вызывается давлением взаимодействий. Формулировки ранних эволюционистов вынужденно размыты из-за неразвитости понятийного аппарата, так что их приходится «переводить» на современный нам язык.

Уже Р. Декарт (около 1630 г.) утверждает, что мир обязан возникновением в нем порядка *законам природы*:

«Иными словами, допустим, что с первого же момента, как была сотворена материя, одни из ее частей начали двигаться в одну, а другие — в другую сторону, одни быстрее, а другие медленнее (или, если это вам угодно, остались совсем без движения), и что материя сохраняет в дальнейшем свое движение, следуя обычным *законам природы*. Бог так чудесно установил эти законы, что если бы мы даже предположили, что им не создано было ничего, кроме сказанного, и не вложено в материю никакого порядка и соразмерности, а, наоборот, всё перемешано в самый запутанный и сложный хаос, какой только могут описать поэты, то и в таком случае *законы эти были бы достаточны, чтобы заставить части материи распутаться и расположиться в весьма стройный порядок*. Придя благодаря этим законам *сама собою* в порядок, материя наша приняла бы форму весьма совершенного мира, в котором можно было бы наблюдать не только свет, но также и все остальные явления, имющие место в нашем действительном мире (выделено мной. — С. Х.)» [Декарт, 1934. С. 163].

Формулировки Декарта вынужденно размыты. Сами по себе *законы* не могут ничего двигать, всё движется *силами*, или *взаимодействиями*, законы которых Декарт и называет *законами природы*. Слова *гравитация* или *притяжение* в приведенном пассаже отсутствуют, лишь незримо здесь витая.

И. Ньютон в ответном письме от 10 декабря 1692 г. Р. Бентли¹⁸, просившего объяснить, как образовались звезды, развивает космологическую модель Декарта, вводя гравитацию непосредственно в текст:

«Что касается Вашего первого вопроса, мне кажется, что если бы вещество нашего Солнца и планет и всё вещество Вселенной было равномерно рассеяно [scattered] по всему небу, и каждая частица обладала врожденным [innate] тяготением ко всему остальному, и всё пространство, по которому это вещество рассеяно, было бы, тем не менее, конечным, то вещество с наружной стороны этого пространства направлялось бы в середину всего пространства и образовало бы там одну, большую сферическую массу. Но если бы вещество было равномерно распределено [diffused] по бесконечному пространству, оно никогда бы не собралось в одну массу, но некоторое количество [some] его собралось бы в одну массу, и некоторое количество в другую, так чтобы создать [so as to make] бесконечное количество больших масс, рассеянных на больших расстояниях друг от друга по всему бесконечному пространству. И так могли быть образованы Солнце и Неподвижные [Fixt] Звезды, если считать, что вещество имеет понятную [lucid] природу» [The Correspondence..., 1961. P. 234].

В приложении к «Оптике» Ньютона [1954. С. 299–301] наряду с силами гравитационного притяжения фигурируют силы отталкивания, оставшиеся в письме к Бентли за кадром.

И. Кант (1755 г.) развивает концепцию Декарта - Ньютона в космологическое учение об образовании солнечной планетной системы из газообразной туманности:

«Непосредственно после сотворения мира природа находилась в первичном состоянии и была совершенно бесформенна... Элементы, коим присущи силы для приведения друг друга в движение, имеют источник жизни в самих себе. Материя с самого начала стремится к формированию. Рассеянные элементы с большей плотностью благодаря притяжению собирают вокруг себя всю материю с меньшим удельным весом; сами же они вместе с материей, которую они присоединили к себе, собираются в тех точках, где находятся еще более плотные частицы, а эти частицы точно так же собираются вокруг еще

¹⁸ Ричард Бентли [Richard Bentley] (1662–1742), выдающийся английский филолог, священник и профессор богословия. В 1692 г. был пребендарием и капелланом при епископе в Вустере [The Correspondence..., 1961. P. 236] (пребендарий — от средне-век. лат. praebenda; так католики называют, во-первых, плату, получаемую духовными лицами за совершение богослужения, и, во-вторых, недвижимую собственность церкви). В 1693 г. опубликовал лекции, посвященные обоснованию [the evidence] христианства, в ходе подготовки которых и обратился к Ньютону.

более плотных и т. д.... Однако природа имеет в запасе еще и другие силы, которые проявляются главным образом тогда, когда материя разложена на мельчайшие частицы; благодаря им эти частицы отталкивают друг друга и своим сопротивлением силе притяжения порождают то движение, которое представляет собой как бы долговечную жизнь природы» [Кант, 1963. С. 156–157].

«Сущность мировоззренческого персворота, совершенного Кантом, сводилась к тому, что он вместо мертвой материи Ньютона¹⁹ ввел понятие о саморазвивающейся. Представление о материи, которая сама является источником своего движения, является основным исходным пунктом взглядов Канта на природу» [Галимов, 1981. С. 94].

П. Лаплас (1796 г.) развивает космологическую концепцию Декарта—Ньютона—Канта, сходным образом раскрывая механизм саморазвития Вселенной:

«С давних времен особое расположение некоторых звезд, видимых простым глазом, поражало мыслящих наблюдателей. Уже Митчелл²⁰ заметил, насколько маловероятно, чтобы, например, звезды Плеяд были сосредоточены в тесном пространстве только по воле случая; и он решил, что эта группа звезд и другие похожие группы, видимые на небе, являются результатом действия первоначальной причины или всеобщего закона природы. Эти группы являются необходимым результатом конденсации туманностей с несколькими ядрами, так как ясно, что поскольку туманная материя непрерывно притягивалась этими ядрами, с течением времени они должны были образовать группу звезд, похожую на группу Плеяд. Подобно этому конденсация туманностей, имеющих два ядра, образует очень близкие звезды, обращающиеся одна вокруг другой, такие как двойные звезды, у которых обнаружены их движения одной относительно другой» [Лаплас, 1982. С. 325–326].

Ни Декарт, ни Ньютон, ни Кант, ни Лаплас, естественно, не соотносили идсю эволюционного усложнения наблюдаемого мира под давлением взаимодействий с законом возрастания энтропии, который был сформулирован только во второй половине XIX в. Зато это вынуждены делать их последователи сегодня. Например, С. Г. Суворов:

«В наше время представление о „тепловой смерти“ подвергается справедливой критике... в силу того, что изменилось понимание

¹⁹ Судя по приведенному выше высказыванию Ньютона, его материю никак нельзя признать «мертвой».

²⁰ Дж. Митчелл [J. Mitchell], астроном XVIII века.

роли взаимодействия частиц для процесса развития мира в целом. Классическая физика исходила из того, что состояние с максимальной энтропией при данной энергии представляет собой газ постоянной плотности, равномерно распределенный в пространстве. Однако теперь стало ясно, что такое представление – абстракция, вытекающая из пренебрежения взаимодействием между частицами. Даже если бы такое распределение установилось, уже небольшие местные флуктуации от него благодаря силам тяготения привели бы к структурному изменению газа. *В космических масштабах благодаря тяготению происходит превращение более или менее однородного газа в обособленные галактики, звезды и т. п. Это возникновение структуры и отдельных тел является естественным процессом и наблюдается на любом этапе развития мира, в том числе и в наше время... оно сопровождается увеличением энтропии и находится в согласии с термодинамикой.*

Может быть, полезно вспомнить, что энтропия характеризует вероятность состояния, которую в свою очередь можно представить как произведение вероятности пространственного распределения частиц и вероятности распределения частиц по их скоростям. Вероятность того, что частицы сосредоточатся в галактике или звезде (вместо равномерного распределения в пространстве), невелика. Но когда они сосредоточиваются таким образом, энергия их гравитационного взаимодействия превращается в тепловую энергию. Возрастает температура вещества, увеличиваются скорости частиц. В целом вероятность состояния (зависящая и от расположения частиц, и от их скорости) возрастает. Это выражается в возрастании энтропии... *учет взаимодействия между частицами, в первую очередь гравитационного взаимодействия, снимает кажущееся противоречие между вторым началом термодинамики и наблюдаемой картиной мира...* Конечно, реальная картина развития мира еще более сложна... при определенных условиях возникают и другие структурные формы (атомы, молекулы, клетки и т. п.). Аморфное состояние мировой системы, флуктуация от которого якобы связана с убыванием энтропии, никогда не устанавливается. Жупел „тепловой смерти“ мира как неизбежного превращения всего сущего в аморфное, бесструктурное, серое образование является... ошибочным по вполне конкретным физическим причинам (выделено мной. — С. Х.)» [Суворов, 1967. С. 722].

Согласованием идеи об эволюционном усложнении под давлением взаимодействий с ростом энтропии успешно, хотя, на наш взгляд, и не всегда последовательно, занимается также И. Л. Генкин [Генкин, 1976, 1979, 1994, 1995; Генкин, Седов, 1988; Генкин, Цицин, 1988]:

«Обычно вероятности появления тех или иных конфигураций подсчитываются на основе модели идеального газа. Но ясно, что такая модель имеет весьма далекое отношение к мегамиру, одна из основных черт которого — наличие дальнедействующих сил тяготения» [Генкин, 1979. С. 181].

«В обычном понимании состоянию „тепловой смерти“ соответствует равномерное распределение частиц по всему пространству с учетом или без учета присутствующих всегда в равновесной среде флуктуаций. Допустим, что этому состоянию соответствует определенное значение энтропии S_{max} (если угодно, на единицу объема или массы). Известно, что равномерное распределение вещества в пространстве не может быть стационарным, а должно либо расширяться, либо сжиматься в соответствии с фридмановскими космологическими решениями²¹. Известно также, что эти решения неустойчивы, и состояние равномерного распределения должно смениться разбиснием среды на отдельные области... процесс разбиснения сопровождается необратимыми потерями, которые приводят к росту энтропии за пределы величины S_{max} ... Мы пришли к парадоксальному, на первый взгляд, выводу: состоянию „тепловой смерти“ соответствует отнюдь не максимальное значение энтропии. Наоборот, это состояние может быть начальным для последующей эволюции гравитирующего вещества, которая идет (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) от менее вероятных („малознтропийных“) к более вероятным („высокоэнтропийным“) состояниям. Только *вопреки распространенным представлениям более вероятно именно состояние вещества с развитой структурой, а отнюдь не первозданный хаос* (выделено мной. — С. Х.)» [Там же].

«Представление, согласно которому появление предпочтительных структур маловероятно, основано на недоразумении, на применении комбинаторики там, где она неприменима... Нет сомнения в том, что учет и других взаимодействий не изменит этого вывода... *роль гравитационных взаимодействий в образовании структурности не является каким-то исключением* (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 182].

«Усложнение можно проследить в средах или объектах любого типа... *наиболее вероятное состояние не обязательно походит на... однородное простое распределение, а может обладать развитой структурой*, определяемой конкретным видом взаимодействий между элементами системы (выделено мной. — С. Х.)» [Генкин, 1994. С. 8].

²¹ См. о них в разд. П. 3.1.1.

Выделим в рассуждениях Гейкинга три тезиса:

- 1) состояние с развитой структурой более вероятно (имеет большую энтропию), чем состояние, описываемое равномерным распределением вещества в пространстве (хаос);
- 2) это является следствием гравитационных и иных взаимодействий;
- 3) распространенное представление о большей вероятности равномерного распределения является следствием несправедливого распространения Больцмановской комбинаторики за пределы модели идеального газа.

Все эти тезисы встречаются и в других работах. Первые два из них присутствуют в приведенных выше в настоящем разделе высказываниях Суворова. Первый тезис содержится также в работе [Caves, 1993]. О том, что развитая структура характеризуется большей вероятностью макросостояния (энтропией), чем хаос, благодаря *взаимодействиям*, говорится, хотя и без должного обоснования, в публикациях некоторых других авторов. Такова, к примеру, точка зрения М. Н. Матвеева:

«...уменьшение упорядоченности с возрастанием энтропии не противоречит усложнению, потому что энтропия характеризует меру пространственной неупорядоченности структур, и при этом она совершенно не учитывает внутреннего взаимодействия в структурах. По сути дела, неупорядоченность, о которой говорит энтропия (возрастание упорядоченности при возрастании энтропии), есть лишь неупорядоченность теплового движения частиц» [Матвеев, 1973. С. 39].

Сходную позицию занимает Р. Пенроуз:

«...огромный выигрыш в энтропии может быть получен в процессе гравитационного сжатия рассеянного газа в звезды... Именно возможность собирания этого газа в гравитационные сгустки и дала нам вопрос начало термодинамики» [Пенроуз, 2003. С. 262–263].

Впрочем, такая «продвинутость» Пенроуза в понимании соотношения энтропии и беспорядка не мешает ему, как мы видели в разд. П. 3.1.4, вполне традиционно объяснять усложнение органического мира на Земле потоком неэнтропии извне.

Позицию, аналогичную позиции Матвеева и Пенроуза занимает Р. Дж. Акерсон [Ackerson, 1993].

Высказанный Суворовым тезис о том, что представления о большей вероятности равномерного распределения («хаоса») связаны с несправедливым распространением гипотезы о равновероятности микросостояний за пределы модели идеального газа, которая, добавлю я от себя, вообще сыграла в науке во многом негативную роль, затормозив развитие верных представлений о связи энтропии и беспорядка, встречается, на-

пример, в книгах И. Пригожина с соавторами: связь между энтропией и упорядоченностью

«довольно прозрачна в идеальных системах (в отсутствие взаимодействия между частицами), а также в случае равновесия в системах более общего характера, когда характерный пространственный масштаб возможных упорядоченных структур сравним с масштабом межмолекулярных сил. С другой стороны, та упорядоченность, которая обусловлена возникновением диссипативных структур в неравновесных условиях, совсем не обязательно должна быть напрямую связана с убылью энтропии» [Николис, Пригожин, 1990. С. 80].

«В сильно неравновесных условиях понятие вероятности, лежащее в основе больцмановского принципа порядка, становится неприменимым: наблюдаемые структуры не соответствуют максимуму комплексов» [Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 197].

Возвращаясь к Генкину, следует сказать, что, как это часто бывает с первопроходцами, его точка зрения несколько размыта. В статьях, написанных им совместно с Ф. А. Цициным и Е. А. Седовым, читаем:

«...бытующее представление о росте энтропии как об увеличении беспорядка является, вообще говоря, неверным. Оно относится, по существу, к идеальному газу... хотя реальный мир представляет... единую систему только благодаря существованию дальнедействующих сил, в первую очередь гравитации.... Все такие процессы идут в открытых системах и не находятся в противоречии с термодинамикой... Взятая в отдельности энтропия усложняющейся системы или ее подсистемы *уменьшается*, но при этом растет энтропия *окружения* и, следовательно, системы более высокого порядка (выделено авторами. — С. X.)» [Генкин, Цицин, 1988. С. 157].

«В целом дело обстоит так, что энтропия (возможно, удельная энтропия) развивающегося объекта *уменьшается*, хотя растет суммарная энтропия объекта и окружения» [Генкин, Седов, 1988. С. 58].

Здесь утверждается, во-первых, что рост сложности системы означает уменьшение ее энтропии и, во-вторых, что рост сложности эволюционирующей системы происходит за счет среды. Другими словами, в этих статьях Генкин возвращается к концепции Шрёдингера и др. (разд. П. 3.1.4). И поскольку в этой концепции, как мы видели, зависит без ответа вопрос о том, что же служит средой для всей эволюционирующей Вселенной, Генкин вполне логично и в духе приведенных в разд. 7.5.2.2 высказываний ученых, призванных объяснить ненаступление «тепловой смерти» Вселенной, настаивает на неприменимости к ней закона возрастания энтропии:

«Понятие энтропии и вероятности состояния для существенно неоднородной системы и, возможно, многосвязной Вселенной, не имеют смысла» [Генкин, 1994. С. 11].

«По нашему мнению, неприменимость второго закона термодинамики ко всей Вселенной имеет... глубокий смысл, связанный с ее бесконечным разнообразием» [Там же. С. 10].

Я уверен в том, что «бесконечное разнообразие» Вселенной не служит препятствием для применения к ней локальной формулировки закона возрастания энтропии, согласно которой производство (скорость возникновения) энтропии положительно в каждом достаточно большом (в статистическом смысле) фрагменте Вселенной (разд. 5.6 и 7.1). Автогенетическая идея Декарта—Ньютона—Канта—Лапласа, согласно которой эволюционное усложнение происходит под давлением взаимодействий, допускает гораздо более конструктивное решение проблемы применимости закона возрастания энтропии, не требующее возвращения к концепции Шрёдингера и др. и отказа от применимости этого закона ко Вселенной.

М. И. Штеренберг [2003], пришедший, как мы видели в разд. П. 3.1.8, к выводу о том, что рост энтропии может сопровождаться ростом упорядоченности как в открытых, так и в изолированных системах, говорит и о роли в том взаимодействий, отсутствующих в идеальном газе:

«...ошибочность прямого переноса результатов, полученных на идеальном газе, на реальные тела заключена в том, что в них происходят взаимодействия между частицами, влияющие не только на их распределения в фазовом пространстве, но и на численность, например в химических и ядерных взаимодействиях... Проблема заключается в том, что структура твердых, а в значительной степени и жидких, тел и даже газов... определяется отнюдь не только упругими соударениями, но и связями между частицами» [Штеренберг, 2003. С. 107].

Позицию этого автора, однако, ослабляет то отмеченное в разд. П. 3.1.8 обстоятельство, что, несправедливо отказывая энтропии в физическом смысле, он рекомендует не применять это понятие при обосновании эволюционной проблематики. Кроме того, как и многие из упомянутых в нашей книге авторов, он склонен упрощенно трактовать энтропию как *тепловую* величину, тогда как сфера применения этого понятия значительно шире области тепловых процессов (см. гл. 6-7).

П. 3.2. Авторское решение

При всей несомненной ценности работ, рассмотренных в разд. П. 3.1.8–10, авторы которых в той или иной степени подходят к пониманию того, что

рост сложности не противоречит росту энтропии, ни один из них не заявил об отказе от трактовки/интерпретации энтропии как меры беспорядка. Это сделали, насколько мне известно, только три автора, работавшие независимо друг от друга, — советский (российский) ученый Ю. П. Петров [1970], член Лондонского Королевского общества Кеннет Денбиг [Denbigh, Denbigh, 1985; Denbigh, 1989; Денбиг, 1995] и пишущий эти строки [Haitup, 1991; Хайтун, 1994; 1996. Гл. 9; 1998. Блок 1; 2000а-в; 2001а, б; 2003; 2005а. Гл. 3; 2006. Разд. 1.2]. Сначала я изложу свою аргументацию, а затем — для сравнения — Петрова и Денбига.

П. 3.2.1. Порядок из хаоса или хаос из порядка: две ветви на древе познания

В идее, о которой шла речь в разд. П. 3.1.10 и согласно которой под давлением гравитационных и иных взаимодействий происходит эволюционно усложнение, — нетрудно узнать старую добрую идею о том, что порядок возникает из хаоса. Еще Гесиод (VIII–VII вв. до н. э.) писал:

«В самом начале был Сотворен Хаос, а потом широкогрудая Земля».

Этой же линии придерживался Демокрит (V в. до н. э.). И т. д. Эта идея не взята с потолка, жизнь постоянно дает примеры, подтверждающие ее справедливость, причем усложнение происходит отнюдь не только в ходе эволюции.

Множество явлений демонстрируют нам, что более сложные структуры в «собранном» виде зачастую обладают большей вероятностью состояния (энтропией), чем в «разобранном» на части. Атом при нормальных условиях не распадется на составляющие его элементарные частицы, молекулы сами собой не рассыпаются на атомы. Следовательно, в обоих этих случаях более сложная структура имеет большую энтропию. Ионы при невысокой температуре сами собой объединяются в молекулы. Жидкость при достаточно низкой температуре, даже будучи изолированной, сама собой кристаллизуется с образованием более сложной структуры (разд. П. 3.2.6). В современной космологии наиболее распространенной является точка зрения, согласно которой после Большого взрыва однородная ранняя Вселенная (точнее, наша Местная галактика — см. начало разд. 7.5.3) под действием сил гравитации эволюционировала со временем к нынешнему состоянию с развитой галактической и звездной структурой (см. в конце разд. П. 3.1.1 о Бюраканской концепции и [Хайтун, 2005а. Разд. 6.10–11]). И т. д. и т. п.

Наряду с течением человеческой мысли под знаменем «Порядок из хаоса» существует и обратное ему мощное течение, на знамени которого написано «Хаос из порядка». Доминируя в физике, оно также подпирается

мощным пластом эмпирических фактов. Температура вследствие переноса тепла выравнивается, газ расширяется в пустоту до выравнивания давлений, компоненты смеси распределяются по объему всё более однородно вследствие диффузии, молекулы при высокой температуре распадаются на ионы, оборудование изнашивается, квартиры и дома приходится постоянно ремонтировать, все мы стареем. И т. д. и т. п. На основании этих и подобных фактов в физике закон возрастания энтропии и

«формулируется как эволюционный закон непрерывной дезорганизации, или разрушения изначально заданной структуры» [Гленсдорф, Пригожин, 1973. С. 259].

«По-видимому, человеческому уму очень трудно понять, что упорядоченное многообразие может появиться из беспорядка само по себе, хотя обратный процесс — возникновение беспорядка из порядка — кажется ему вполне естественным.

В XIX в. представление об асимметричной связи между порядком и беспорядком привело в физике к формулировке второго начала термодинамики» [Равен, 1964. С. 13–14].

Таким образом, в истории человеческой мысли изначально борются два течения, которые могут быть отождествлены с идеями «порядок из хаоса» и «хаос из порядка».

П. 3.2.2. Пересмотр ценностей: энтропия не является мерой беспорядка

Закон возрастания энтропии в локальной формулировке (разд. 5.6 и 7.1) говорит, что развитие реальных систем идет с положительным производством (положительной скоростью возникновения) энтропии в каждом достаточно большом элементе их объема. «Достаточно большим» здесь означает — в статистическом смысле, чтобы можно было исключить случайные флуктуации, вероятность которых, напомним, резко падает с их величиной. Локальное производство энтропии положительно как в системах, в которых хаос рождается из порядка, так и в системах, в которых, наоборот, порядок рождается из хаоса. Производство энтропии положительно всегда и везде, в любой рассматриваемой нами реальной системе и ее окружении (среде). Это может означать только то, что

применительно к реальным системам энтропия не является мерой беспорядка.

Итак, проблема, состоящая в противоречии между законом возрастания энтропии и эволюцией в сторону усложнения, с самого начала оказалась

замешенной на заблуждении, связанном с трактовкой энтропии реальных систем как меры беспорядка. Это заблуждение, как было показано, не случайно, оно отражает одну из двух полярных тенденций в развитии человеческой мысли, базирующихся на идеях «хаос из порядка» и «порядок из хаоса». Долгая жизнь этого заблуждения объясняется, на мой взгляд, расщепленностью, если угодно, шизофреничностью общественного сознания, на протяжении веков не сводящего эти две тенденции воедино.

Эта склонность к расщепленности, на мой взгляд, вообще присуща общественному сознанию, которое обнаруживает ее не только в данном, но и во многих других случаях. Это является одним из проявлений фрактальности универсальной эволюции (см. разд. 2.3, т. I и [Хайгун, 2005а. Разд. 4.6]), практически означающей, что эволюция происходит через каскад точек ветвления. Развитие общественного сознания и знания также происходит через точки ветвления, в которых рождаются и затем некоторое время существуют, как бы не замечая друг друга, альтернативные точки зрения, концепции, парадигмы и исследовательские программы (разд. 3.5.3, т. I).

Эволюция в сторону усложнения, оказывается, вообще не противоречит эволюции в сторону возрастания энтропии. Это разрушает миф о том, что мир ожидают деградация и дезорганизация, якобы вытекающие из закона возрастания энтропии.

Пока этот наш вывод основан, если так можно выразиться, на соображениях внешнего порядка по отношению к энтропии и беспорядку/сложности. Далее мы попытаемся обосновать его на основе «внутренних» соображений, постаравшись вскрыть смысл этих понятий.

П. 3.2.3. Индикаторы и латенты

Отметим загадочный факт: трактовка энтропии реальной системы как меры беспорядка с покоящимся на ней выводом о неизбежной гибели всего живого, эта, быть может, самая животрепещущая научная идея XIX–XX вв. и остающаяся таковой по сей день, *никогда не была доказана*. Насколько мне известно, никто даже не обсуждал сколько-нибудь серьезно связи энтропии с беспорядком. Во всяком случае, в XIX в., когда и были сделаны все эти апокалиптические выводы. Классики физики только *касались* этой связи, считая ее, по всей видимости, очевидной. Детально обсуждались (и обсуждаются по сию пору) лишь весьма масштабные последствия этой столь бесспорной для всех связи – неизбежное прекращение всех процессов во Вселенной во всеобщем хаосе и грядущая гибель всего живого. Другого случая такого легкомыслия в истории науки и не припомнить.

Ситуация, конечно, пикантная. Тем более, если учесть, что тождественность энтропии с беспорядком и не может быть доказана в принципе. Дело в том, что беспорядок/сложность – это, как говорят в теории изме-

рения [Хайтун, 1989; 2005а. Разд. П. 9.1], латентная переменная, или, как сократил автор этих строк, латента. То есть она непосредственно не наблюдаема, представляя собой не более чем представление субъекта измерения об измеряемом свойстве. Непосредственно наблюдаемы (измеряемы) *индикаторы*, значения которых связывают со значениями латент специальных конструкций — метрические модели, общепринятой теории которых пока не создано [Хайтун, 1989; Haitun, 1992]²².

Другими словами, сложность вводится «на глазок». Энтропия — тоже латента, существующие для нее количественные выражения не позволяют непосредственно определять (измерять) ее значения для реальных систем. Причем, в отличие от латентной переменной «беспорядок/сложность», у нас нет путей оценки значения латенты «энтропия» для реальной системы «на глазок», мы можем это делать только для *скорости роста* (производства) энтропии по интенсивности происходящих в ней метаболитов (разд. 5.5.3).

Таким образом, тождественность для реальных систем этих двух латент — энтропии и беспорядка/сложности — могла быть только постулирована. То, что энтропия реальной системы является мерой беспорядка, классиками физики и было постулировано. Только без артикуляции самого факта постулирования и без увязки физического смысла энтропии с общепотребительным смыслом понятия беспорядка/сложности.

П. 3.2.4. Сложность: «общечеловеческое» и физическое восприятие

Понятие беспорядка/сложности можно прилагать к реальным системам по крайней мере двумя способами. Можно, прежде всего, характеризовать всю систему в целом, имея в виду большую или меньшую сложность ее структуры. Фактически речь идет о форме описывающего систему распределения: системе с более сложной структурой отвечает распределение более сложной формы. И тогда, например, нагретый равновесный газ не отличается по сложности от холодного, поскольку форма максвелловского распределения по скоростям в обоих случаях одна и та же, меняется только его ширина.

Это определение сложности отталкивается от интуитивного восприятия человеком сложных структур как содержащих подструктуры, что отражено и в языке. Скажем, в русском языке *сложный* значит *сложЕНный*, составной. В словаре Владимира Даля слово «сложный» вообще находится в статье «слагать» [Даль, 1882. С. 216]. В английском языке слово *complex* также означает *составной*, собранный в одно целое. Так что общепотреб-

²² Термин *метрические модели* принадлежит автору этих строк, который разработал в указанных публикациях и свой вариант таких моделей.

бительна именно данная трактовка понятия сложности, именно ее мы неявно использовали в разд. П. 3.2.1, обсуждая распад/образование молекул и доказывая, что рост энтропии может идти как с ростом беспорядка, так и с его уменьшением. Именно с этим — общепотребительным — пониманием беспорядка/сложности связана трактовка эволюции как идущей в сторону усложнения.

Физики же обычно используют собственную трактовку беспорядка/сложности, характеризуя не всю систему в целом, но поведение отдельных составляющих ее частиц, и говоря о большей или меньшей беспорядочности их движения. Беспорядочное движение понимается при этом как трудно предсказуемое. Предсказать индивидуальное поведение частицы тем труднее, чем больше фазовый объем системы, т. е. чем больше «ширина» описывающего систему распределения, чем больше отведенный ей «оперативный простор», в котором она могла бы «затеряться». Чем больше, следовательно, энтропия системы. Именно это позволяет физикам говорить, что энтропия может служить мерой беспорядка. Беспорядка B в системе. С этой точки зрения, нагретый газ предстает как менее упорядоченная система, чем холодный.

Таким образом, физики при обсуждении связи энтропии системы с беспорядком/сложностью используют одну трактовку понятия сложности, а эволюционисты-естественники, обсуждающие эволюционный рост сложности, — другую, общепотребительную. В этом мы видим дополнительный источник противоречия между законом возрастания энтропии и наблюдаемой эволюцией в сторону усложнения. Физическое определение сложности пересекается с общепотребительным (поскольку с ростом «ширины» распределения его форма часто упрощается — см. разд. П. 3.2.5), но не тождественно ему («ширина» распределения может изменяться и без изменения его сложности, что характерно, например, для распределения Гаусса).

На соотношение энтропии и беспорядка/сложности можно взглянуть и с еще одной стороны. Нетрудно видеть, что сложность системы и ее энтропия относятся к разным структурам. Дело даже не в том, что сложность — это воспринимаемое на интуитивном уровне понятие, относящееся в основном к пространственной структуре реальной системы, тогда как статистическая (механическая) энтропия традиционно вычисляется в координатно-импульсном пространстве (разд. 5.5.1). Наиболее существенно здесь то, что энтропия «видит» взаимодействия, а сложность — нет.

Сложность, как говорилось в разд. П. 3.2.3, — это латента, она оценивается нами «на глазок». И поэтому, естественно, наши оценки сложности данной структуры касаются лишь того, что мы видим (или могли бы видеть, вооружившись, скажем, электронным микроскопом). А видим мы только вещественный срез структуры. Сильные, слабые, гравитационные, электромагнитные взаимодействия недоступны нашему восприятию при оценках сложности. Этот («вещественный») способ восприятия структуры

остается и тогда, когда структуры недоступны нашим органам чувств, даже вооруженным приборами: мы произвольно экстраполируем на эту ситуацию сложившиеся навыки. Мы говорим, например, что атом сложнее россыпи составляющих его элементарных частиц, оставляя без внимания полевую структуру.

Энтропия — другое понятие. Будучи также в определенном смысле латентой, она связана и со структурой взаимодействий. Сложность относится только к «вещественной», структуре, энтропия — к «вещественно-полевой». Вот еще одна причина, по которой энтропия и беспорядок/сложность — это разные понятия, которые могут совпадать только тогда, когда поля несущественны. Скажем, в случае идеального газа, когда взаимодействия (поля) исключены. Полагая энтропию мерой беспорядка, мы как бы переходим к модели идеального газа, которую так любили физики второй половины XIX в.

П. 3.2.5. Роль взаимодействий

Для отдельно взятого математического распределения трактовка энтропии как меры беспорядка имеет смысл. В самом деле, для плотности распределения вероятностей $f(x)$ со средним значением $f(x)_{CP}$, нормированной, как это принято, на единицу, так что единице равна площадь под кривой $f(x)$, ширина распределения Δx вводится как ширина прямоугольника с высотой $f(x)_{CP}$ и единичной же площадью: $f(x)_{CP} \Delta x = 1$. Величина Δx может быть названа «фазовым объемом» распределения. Энтропия S распределения определяется как взятый с некоторым коэффициентом пропорциональности K логарифм «фазового объема»:

$$S = K \log \Delta x . \quad (\text{П. 3.35})$$

Если учесть приближенное равенство

$$\log [f(x)_{CP}] \approx [\log f(x)]_{CP},$$

т. е.

$$\log \int f(x) f(x) dx \approx \int f(x) \log f(x) dx , \quad (\text{П. 3.36})$$

то получаем

$$\begin{aligned} S &= K \log \Delta x = K \log \frac{1}{f(x)_{CP}} = -K \log [f(x)_{CP}] \approx -K [\log f(x)]_{CP} = \\ &= -K \int f(x) \log f(x) dx, \end{aligned} \quad (\text{П. 3.37})$$

г. е. стандартное определение энтропии (см. также соотношения 6.5.4–10 и связанный с ними текст).

Таким образом, энтропия математического распределения (статистического или вероятностного) характеризует его ширину («размазанность»): чем распределение шире, тем энтропия больше. С другой стороны, чем распределение шире, тем оно менее изрезано, т. е. тем оно проще, или «беспорядочнее» (менее упорядочено), по форме.

Последнее утверждение, конечно, достаточно условно. Можно ли сказать, к примеру, что из двух распределений Максвелла (П. 3.41) сложнее более узкое из них? Тем не менее, приближенно можно считать, что

энтропия отдельно взятого математического распределения характеризует его «беспорядочность», так что более сложному распределению отвечает меньшая энтропия.

В информационных приложениях, поэтому, в которых сравниваются частотные распределения не связанных реальными взаимодействиями элементов текста (разд. 5.5.4), трактовка энтропии как меры беспорядка представляется достаточно оправданной. Однако это же утверждение, когда мы его переносим на *реальную систему*, становится ошибочным.

Рассмотрим физическую (точнее, механическую — см. разд. 2.4.2.2, т. I) систему, характеризуемую распределением $\rho(q, p)$ ее состояний в пространстве всех координат q и импульсов p системы. «Фазовый объем» $\Delta q \Delta p = 1 / \rho(q, p)$ этого распределения называется *фазовым объемом системы*, а энтропия этого распределения — энтропией системы:

$$S = k \ln \Delta q \Delta p . \quad (\text{П. 3.38})$$

[Ландау, Лифшиц, 1964. С. 39]. Чтобы увязать классический случай с квантовым, энтропию, как говорят, квазиклассической системы определяют выражением

$$S = k \ln \frac{\Delta q \Delta p}{(2\pi \hbar)^s} \quad (\text{П. 3.39})$$

(\hbar — постоянная Планка, s — число степеней свободы системы) [Там же. С. 40]. Добавление под знаком логарифма множителя $1/(2\pi \hbar)^s$, не сказываясь на форме распределения, ничего не изменяет в наших рассуждениях.

Рост энтропии данной физической (точнее, механической) системы, описываемой фазовым распределением $\rho(q, p)$, означает, таким образом, рост его фазового объема, т. е. «ширины» этого распределения и соответственно «беспорядочности» его формы. Отсюда следует, казалось бы, очевидное заключение, что энтропия *системы* тем больше, чем шире характеризующее ее статистическое распределение и чем, стало быть, оно проще по форме.

При всей своей «очевидности», однако, этот ход мысли ошибочен, присутствие в реальных системах гравитационных, электромагнитных и иных взаимодействий вносит в соотношение энтропии и беспорядка решающие коррективы, лишаящие смысла трактовку энтропии системы как меры ее беспорядочности.

Проиллюстрируем это обстоятельство на равновесном распределении Гиббса. Долгое время считалось, что к нему релаксирует всякая неравновесная система, тогда как реальные системы, далекие от равновесия, как стало уже достаточно хорошо известно (см. об этом применительно ко Вселенной в разд. 7.5.2.2), вовсе не стремятся перейти в равновесное состояние. Применительно же к эволюции понятие равновесности вообще лишено смысла.

Форма распределения Гиббса определяется гамильтонианом $H(q, p)$, фиксирующим те или другие (механические) взаимодействия:

$$\rho(q, p) = A \exp\left(-\frac{H(q, p)}{kT}\right) \quad (\text{П. 3.40})$$

(A — нормировочная постоянная). Если $H(q, p) = 0$, т. е. если система представляет собой газ невзаимодействующих нематериальных точек, то $\rho(q, p) \equiv \text{const}$, так что эти точки распределены случайно и в пространстве координат, и в пространстве импульсов. Это случай полного хаоса.

Если мы считаем точки материальными и обладающими лишь кинетической энергией $mv^2/2$ (m — масса точки, v — ее скорость), то равновесное распределение в пространстве координат остается хаотическим, однако в пространстве скоростей становится упорядоченным, приобретая вид распределения Максвелла

$$\rho_v = a \exp\left(-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}\right) \quad (\text{П. 3.41})$$

(x, y, z — координаты, v_x, v_y, v_z — компоненты вектора скорости, a — нормировочная постоянная). Ширина этого распределения, т. е. и его энтропия, тем больше, чем выше температура газа²³, т. е. чем более беспоря-

²³ Точнее, говорить в этой связи следует о *корне квадратном из температуры* газа, потому что дисперсия σ распределения Максвелла пропорциональна именно \sqrt{T} . Это видно из сравнения этого распределения с распределением Гаусса

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma^2}\right]. \quad (\text{С. П. 3.1})$$

дочно движение его молекул и чем, стало быть, система более хаотична (ср. разд. П. 3.2.4).

Когда мы помещаем газ материальных точек в поле тяжести Земли, т. е. сообщаем им потенциальную энергию mgz (g — ускорение земного тяготения), то равновесное распределение, оставаясь максвелловским в пространстве скоростей, приобретает упорядоченность и в пространстве координат, становясь больцмановским:

$$\rho_z = b \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right) \quad (\text{П. 3.42})$$

(b — нормировочная постоянная), причем температура T в этом соотношении является функцией высоты (разд. 7.5.2.1).

Так что, как и в случае отдельно взятого математического распределения, энтропия физической (точнее — механической) системы характеризует ширину (т. е. «беспорядочность») описывающего систему распределения $\rho(q, p)$, однако

с ростом энтропии система становится более однородной лишь в той мере, в какой это ей разрешено взаимодействиями

(собственно, поэтому реальные системы в своем большинстве и не релаксируют к распределению Гиббса). Другими словами, с ростом энтропии система выбирает распределение, самое широкое (самое однородное, самое хаотическое) из разрешенных взаимодействиями, что далеко не всегда совпадает с нашими оценками сложности/беспорядка реальных систем, которые мы всегда производим «на глазок» без учета взаимодействий, не поддающихся непосредственному визуальному наблюдению.

При фиксированных взаимодействиях рост энтропии происходит с упрощением системы, однако в ходе развития реальных систем взаимодействия в них также развиваются.

Собственно, усложнение/упрощение системы, т. е. образование/разрушение структур, и означает усложнение/упрощение паттерна действующих в ней взаимодействий, потому что, как о том говорилось в разд. 6.4.3, каждой структуре отвечает собственный паттерн взаимодействий, и наоборот. Когда взаимодействия, определяющие форму распределений, развиваются вместе с системой, настаивать на непременном упрощении последней с развитием системы, т. е. с ростом энтропии, невозможно. Характеризующее реальную систему распределение упрощается во времени только при фиксированных взаимодействиях в системе — при фиксированных их наборе, форме и степени выраженности (интенсивности). Реально же взаимодействия отнюдь не фиксированы, но развиваются вместе с системой, причем самым непредсказуемым образом.

Если бы набор (паттерн) форм действующих в реальной системе взаимодействий и отвечающих им форм энергии был жестко фиксирован, то, достигнув со временем некоторого «оптимального» для данного паттерна взаимодействий уровня сложности, система перестала бы после того развиваться, достигнув равновесного состояния. Практически, однако, имеет место иная ситуация.

В ходе эволюции реальных систем количество форм взаимодействий и отвечающих им форм энергий бесконечно растет, что делает баланс энтропия—беспорядок неустойчивым, эволюцию — бесконечной, равновесное состояние — недостижимым.

Всё это тем более верно, чем о большей системе идет речь, и бесспорно верно применительно ко всей бесконечной Вселенной, небольшие же реальные системы, если они достаточно изолированы от среды, приходят со временем в равновесное состояние, останавливаясь в своем развитии.

Представления о наибольшей вероятности равномерного распределения («хаоса») связаны с неправомерным распространением гипотезы о равновероятности микросостояний за пределы модели идеального газа. Только в рамках модели невзаимодействующих частиц равновесное распределение сводится к максвелловскому распределению по скоростям и равномерному — по координатам. Вне этой модели указанная гипотеза неверна, а доказательство наибольшей макровероятности отвечающего хаосу равномерного распределения несправедливо.

Итак, с ростом энтропии система становится более однородной (беспорядочной) лишь в той мере, в какой это позволено взаимодействиями. Если поначалу в системе господствует хаос, взаимодействия приведут ее (с ростом энтропии) в более упорядоченное состояние. Вот к какому выводу были в наличии все предпосылки уже с 1877 г., когда появился вариационный вывод равновесного распределения.

Напомним, что в этом выводе кроме условия максимальности энтропии

$$S = -k \int \rho(q, p) \ln \rho(q, p) dq dp = \max \quad (\text{П. 3.43})$$

и нормировки распределения

$$\int \rho(q, p) dq dp = 1, \quad (\text{П. 3.44})$$

фигурирует также условие

$$\overline{H(q, p)} = \int H(q, p) \rho(q, p) dq dp = \text{const}, \quad (\text{П. 3.45})$$

фиксирующее среднее значение гамильтониана $H(q, p)$ системы, который определяет форму равновесного распределения.

В таком общем виде этот вывод был приведен Дж. В. Гиббсом [Gibbs, 1902]. Первым, однако, вариационный вывод равновесного распределения Максвелла дал в 1877 г. О. Мейсер [Meuser, 1877], который, не упоминая об энтропии, приравнял нулю вариацию самой функции распределения. Следом за Мейсером и исправляя его ошибки, Л. Больцман в том же 1877 г. первым дал корректный вывод равновесного распределения из условия максимальности энтропии [Boltzmann, 1877b]. Сначала он, как и Мейсер, выводит равновесное распределение в форме распределения Максвелла и соответственно вместо общего условия для гамильтониана (П. 3.45) записывает частное условие для живой силы (кинетической энергии). Однако далее в этой же статье Больцман рассматривает также случаи, в которых

«наряду с условием сохранения живой силы заданы еще и другие условия» [Там же; Рус. пер. С. 214].

Более того, он вводит в этой же статье и внешние силы, приходя, в частности, к своему распределению газа в гравитационном поле Земли [Там же. С. 233–234].

Так что Больцман в 1877 г. имел все основания для заключения о том, что форма характеризующего систему распределения, отвечающего максимальной энтропии, может быть самой разной, определяясь действующими в системе и на систему силами, или, другими словами, что рост энтропии не обязательно означает нарастание беспорядка. Еще большие основания для этого вывода имел Гиббс. Оба они этого не сделали и не сделали, на мой взгляд, именно потому, что над ними довлела трактовка энтропии как меры беспорядка.

Очень близко к тезису о несправедливости трактовки энтропии как меры беспорядка подходит Ю. Л. Климонтович, формулируя свою *S-теорему* [Климонтович, 1983, 1994, 1995]. Обратив внимание на то, что при выводе равновесного распределения фиксируется среднее значение гамильтониана системы $\overline{H(q, p)}$ (см. соотношение (П. 3.45)), он справедливо заключает, что равновесное состояние является наиболее хаотичным лишь *при условии постоянства* $\overline{H(q, p)}$. Вместо того, однако, чтобы решительно порвать с указанной трактовкой энтропии, Климонтович прибегает для ее сохранения к перенормировке распределения системы и ее энтропии относительно заданного среднего значения гамильтониана. Соответственно он вполне стандартно оставляет способность усложняться в процессе самоорганизации только за открытыми системами:

«...ни в физических, ни даже в биологических системах не заложено „внутреннее стремление“ к самоорганизации» [Климонтович, 1998. С. 3].

Реально в ходе эволюционного усложнения реальной системы, как говорилось, усложняется и паттерн действующих в ней взаимодействий,

появляются всё новые и новые их формы. Соответственно усложняется и набор (паттерн) описывающих ее распределений. В статистической физике (механике) с развитием системы изменяется (усложняется) набор описывающих ее координат q и импульсов p , а вместе с ним изменяет свою «конституцию» и фазовая плотность $\rho(q, p)$ системы. Приобретая всё новые и новые качества, эволюционирующая реальная система становится, по сути дела, всё новой и новой системой, снова и снова выходя за пределы своей идентичности. В ходе же распада (упрощения) возникающих эволюционным путем «смертных» структур упрощаются и паттерны описывающих эти структуры взаимодействия. При этом

и эволюционное усложнение реальных систем, и их распад между эволюционными «всплесками» происходит с ростом энтропии, который может сопровождаться, таким образом, как упрощением реальных систем, так и их усложнением. Всё это и означает, что энтропия реальной системы не является мерой беспорядка.

Если говорить о механических системах с описывающим их фазовым пространством координат и импульсов (скоростей), то роль взаимодействий сводится к ограничению ими реально допустимых микросостояний системы и уменьшению тем самым ее фазового объема. Собственно, в этом и состоит в данном случае сущность взаимодействий — они отводят траекториям механической системы определенные участки фазового пространства. Скажем, тело, движущееся в гравитационном поле неподвижного центра, может находиться только в определенных точках фазового пространства, фиксируемых соответствующим кеплеровским эллипсоидом. И это исключает из фазового объема системы все остальные точки фазового пространства.

Нас не следует понимать таким образом, что взаимодействия делают некоторые точки или области фазового пространства абсолютно невероятными, запрещая их. В общем случае деление микросостояний на разрешенные и неразрешенные следует признать некорректным и происходящим от несправедливой вне модели идеального газа гипотезы о равновероятности микросостояний.

При включенных взаимодействиях уже нельзя говорить, что все разрешенные точки фазового пространства равновероятны. Включение взаимодействий сообщает разным фазовым точкам разные вероятности.

Даже для очень простых механических систем производимос взаимодействиями уменьшение реального фазового объема в общем случае не поддается расчету. Развитие теории динамического хаоса и синергетики показало, что уже механическая система с малым числом степеней свободы совершает, вообще говоря, стохастическое (в необратимом случае — фрактальное) движение [Хайтун, 2005а. Разд. П. 5.2.2], которое по своей

природе непредсказуемо [Там же. Разд. 4.6.4]. Здесь возможно, как правило, лишь качественное рассмотрение. Несложно представить себе ситуацию, например, когда образование структуры, т. е. усложнение, увеличивает разрешенный взаимодействиями фазовый объем, т. е. энтропию.

Поместим в сосуд положительно и отрицательно электрически заряженные частицы. Эти взаимодействия ограничивают движение частиц, не позволяя им иметь скорости, «какие им хочется». Объединение частиц в нейтральные молекулы изменяет ситуацию. Такие молекулы уже не взаимодействуют друг с другом на расстоянии, не ограничивают взаимные перемещения, и за счет этого фазовый объем (энтропия) системы возрастает. Конечно, частицы стеснены теперь тем, что движутся только попарно, и за счет этого фазовый объем (энтропия) уменьшается. Важно, что объединение частиц может быть выгодным системе при определенных условиях — температуре, давлении и т. д. Так, высокая температура делает их слабоспособными к электрическому взаимодействию, тормозя образование молекул, и наоборот.

Молекулы — это материальные структуры, образование которых, как видим, может отвечать возрастанию энтропии, а может — ее убыванию. Эта ситуация имеет общий характер. Равномерное распределение («хаос») характеризуется максимальной энтропией только в отсутствие взаимодействий между частицами, т. е. в модели идеального газа, для которой полная энтропия системы сводится к тепловой энтропии, являющейся, как отмечалось в разд. 7.2.1, мерой беспорядка.

В разд. 6.6 тепловая энтропия была определена как энтропия распределения плотности потока тепловой энергии

$$S_Q = -k \int q(r, v) \ln q(r, v) dr dv, \quad (\text{П. 3.46})$$

(см. выражения (6.6.3–6) и связанный с ними текст). Тепловая энтропия является мерой неупорядоченности формы этого распределения.

Если в происходящих в системе процессах участвует только тепловая энергия, то тепловая энтропия растет, а с ней растет и количество беспорядка в системе.

То есть распределение тепла становится всё более однородным — тепло переходит от более горячих тел к более холодным.

Наличие других форм энергии в распределении

$$S = -k \int u(r, v) \ln u(r, v) dr dv, \quad (\text{П. 3.47})$$

определяющем полную энтропию (см. соотношения (6.5.1–4) и связанный с ними текст), изменяет ситуацию. Растаи обязана только полная энтропия, отдельно же взятая тепловая энтропия растаи не должна (гл. 7). В такой системе тепловая энтропия может уменьшаться, т. е. распределение тепла

в системе может становиться со временем менее однородным (менее простым) — под влиянием нетепловых взаимодействий тепло может переходить от более теплых тел к менее теплым. Количество (теплого) беспорядка в системе может убывать. Компенсируется это в таких системах другими — нетепловыми — формами взаимодействий, обеспечивающими в совокупности рост полной энтропии.

Система, в которой действуют нетепловые взаимодействия, не обязательно со временем усложняется; если начальное состояние было «пересуложенным», то со временем оно упростится до некоторого оптимального — для данных взаимодействий — уровня. Скажем, если мы стянем «руками» вплотную одноименные электрические заряды, предоставив их затем самим себе, то из-за взаимного отталкивания они разлетятся в стороны, так что система станет более однородной. И произойдет это, как и всё в этом мире, с увеличением (точнее, с положительным производством) энтропии.

Другими словами, наличие гравитационных или, скажем, электромагнитных взаимодействий сказывается в том, что рост энтропии, который должен происходить (и происходит) в системе, далеко не всегда сопровождается убыванием сложности системы. Упрощение системы происходит в пределах возможностей, отпущенных ей реальными взаимодействиями. Развиваясь в сторону роста энтропии, являющейся мерой «простоты» распределения плотности потока данной формы энергии, система выжимает из конкретных условий максимум возможного, однако реально — в условиях, предлагаемых взаимодействиями обстоятельств, — рост энтропии может сопровождаться как ростом беспорядка, так и ростом сложности.

Энтропия системы является мерой беспорядка не только в отсутствие взаимодействий, но и при включенных взаимодействиях, если они не изменяются во времени (фиксированы).

Скажем, на стадии релаксации околоравновесной системы, приходящей в равновесное состояние. Если же — как это чаще всего и бывает — в ходе развития реальных систем их взаимодействия развиваются вместе с ними, то энтропия таких систем не является мерой беспорядка.

Когда П. Т. Ландсберг или Дж. С. Уикен показывают, что рост сложности с ростом энтропии может осуществляться за счет увеличения числа возможных микросостояний (разд. П. 3.1.8), то это согласуется с тем, что говорится в настоящем разделе, поскольку связано с изменением (развитием) паттерна взаимодействий.

П. 3.2.6. Переохлажденная жидкость

Возьмем переохлажденную жидкость и бросим в нее соринку. Жидкость кристаллизуется. При этом выделится теплота плавления, которая

немного нагреет всю изолированную систему. Здесь всё понятно, усложнение структуры, происходящее с уменьшением энтропии, сопровождается некоторым «деструктурированием» (в физическом понимании — см. разд. П. 3.2.4) за счет усиления теплового движения молекул. Вопрос: всегда ли усложнение структуры сопровождается выделением тепла?

Ответ отрицательный. Выделение тепла при кристаллизации переохлажденной жидкости имеет место только для достаточно высоких температур (остающихся, естественно, меньшими температуры замерзания). Установлено [Lele et al., 1988], что для переохлажденной жидкости существует критическая температура T_{CR} , при которой энтропия кристаллической структуры равна энтропии жидкости. При $T > T_{CR}$ энтропия кристаллической структуры меньше энтропии жидкости, при $T < T_{CR}$ — больше.

Принято считать, что кристаллическая структура сложнее жидкости [Пригожин, 1985. С. 95]. Так что здесь мы видим пример, прямо иллюстрирующий тезис о том, что большей сложности может отвечать как бóльшая, так и меньшая энтропия.

Можно выдвинуть следующее возражение (В. Г. Новиков, частная беседа). Жидкость (например, вода) также может иметь достаточно сложную структуру. Поэтому несправедливо утверждение, будто кристалл всегда сложнее жидкости. Вполне может статься что при $T > T_{CR}$ сложность жидкости меньше сложности кристалла, а при $T < T_{CR}$ — больше. Тогда мы получаем, что в нашем примере в обоих случаях большей энтропии соответствует меньшая сложность, в полном соответствии с традиционными представлениями.

Отвечая на это возражение, договоримся, прежде всего, о какой сложности идет речь (разд. П. 3.2.4). Одно дело, если мы говорим о сложности в общеупотребительном понимании (сложный значит составной). При переходе через указанную критическую температуру ни переохлажденная жидкость, ни кристалл не претерпевают, по всей видимости, структурных изменений. Это значит, что если при $T < T_{CR}$ жидкость была проще (в фиксированном здесь понимании сложности) кристалла, то она будет проще его и при $T > T_{CR}$. Во всяком случае, в окрестности критической температуры. Тогда мы снова получаем, что большей энтропии может отвечать как бóльшая, так и меньшая сложность, независимо от конкретного соотношения сложности жидкости и кристалла.

Другое дело, если мы говорим о сложности в физическом смысле (менее упорядоченная система это та, которая характеризуется более беспорядочным движением частиц). Тогда действительно при остывании переохлажденной жидкости (движение частиц становится менее беспорядочным) ее сложность возрастает. Но с остыванием возрастает — в том же физическом смысле — и сложность (упорядоченность) кристалла. Чтобы

обсуждаемое возражение было верно, достаточно, чтобы тепловые движения молекул в переохлажденной жидкости гасли с понижением температуры быстрее, чем тепловые колебания молекул в кристаллах. По-видимому, так оно и есть, раз существует критическая температура, однако в данном случае некорректно, как разъяснялось, само физическое определение сложности (становясь уже или шире с изменением температуры, максвелловское распределение не усложняется и не упрощается).

Таким образом, тот факт, что в примере с переохлажденной жидкостью при одной температуре с ростом энтропии сложность растет, а при другой убывает, остается в силе независимо от того, большей или меньшей сложности переохлажденной жидкости мы полагаем сложность кристалла.

Утвердимся для определенности в традиционном толковании сложности, т. е. будем полагать, что кристалл сложнее жидкости. Наш пример говорит еще об одной важной вещи.

Снова переохладим жидкость до температуры, меньшей T_{CR} и, как у нас повелось, бросим в нее соринку, изолировав после того систему. Жидкость кристаллизуется. Поскольку энтропия кристалла при этой температуре больше энтропии жидкости, то никакого тепла выделено не будет. Напротив, некоторое количество тепла будет *поглощено*, температура системы за счет кристаллизации понизится. То есть усложнение структуры сопровождается в данном случае поглощением тепла.

На Земле действует тенденция к рассеянию нетепловых форм энергии в виде тепла (разд. 5.3.1–2 и 7.5.5). Данный пример подтверждает, что это именно тенденция, а не закон, и что, следовательно, нескомпенсированное поглощение (без тепловой компенсации) тепла, вопреки господствующей трактовке закона возрастания энтропии, этим законом не запрещается (разд. 7.5.3).

П. 3.2.7. Петров и Денбиг

Ю. П. Петров [1970] и К. Денбиг [Denbigh, Denbigh, 1985; Denbigh, 1989; Денбиг, 1995] независимо пришли к выводу об ошибочности трактовки энтропии как меры беспорядка. Как это часто бывает в науке, автор этих строк также ознакомился с их публикациями уже после выхода своих работ на эту тему [Найтун, 1991; Хайтун, 1994, 1996а, 1998а]. Кратко изложим аргументацию наших предшественников. Начнем с изложения позиции Петрова:

«Если бы энтропия была мерой неупорядоченности, мы наблюдали бы во всех необратимых процессах в изолированных системах рост неупорядоченности, и любая изолированная система всегда стремилась бы с течением времени к состоянию наибольшего бес-

порядка (неупорядоченности). Так ли это на самом деле?» [Петров. 1970. С. 71].

Петров приводит примеры противного:

«Если теперь рассмотреть реально протекающие в различных изолированных системах процессы, мы без труда обнаружим многочисленные примеры, когда в зависимости от свойств конкретной системы наиболее вероятным оказывается состояние как с большой, так и с малой упорядоченностью. Необратимые процессы, увеличивая энтропию, будут в одних случаях увеличивать, а в других — уменьшать упорядоченность.

Для идеального газа, к молекулам которого не приложены никакие другие силы, кроме короткодействующих сил отталкивания между молекулами (рассматриваемыми как идеально упругие шары), действительно, самым вероятным будет наиболее неупорядоченное состояние с равномерным распределением по объему. Если искусственно (перегородкой) создано в сосуде упорядоченное распределение (например, в левой половине — газ, а в правой — пустота), то после разрушения перегородки произойдет необратимый процесс расширения газа и газ заполнит весь сосуд. В этом случае увеличение энтропии в необратимом процессе расширения газа сопровождается и ростом неупорядоченности.

Однако в тех случаях, когда помимо короткодействующих сил отталкивания между молекулами существенную роль играют и дальнедействующие силы, результат окажется совсем другим. Как показывает астрофизика, под действием сил тяготения между молекулами (а эти силы начинают сказываться при очень больших, астрономических объемах газа), наиболее вероятным, т. е. соответствующим максимуму энтропии, будет весьма упорядоченное состояние газа, собранного в компактные скопления (протозвезды), между которыми лежит разреженное пространство, где газа очень мало.

Аналогично, под действием сил химического сродства между атомами, наиболее вероятным, соответствующим максимуму энтропии, состоянием оказывается не беспорядочная смесь атомов, а молекулярное состояние, т. е. атомы группируются в молекулы, в которых каждый атом занимает упорядоченное положение. Если искусственно, внешними силами, разрушить молекулярное строение, то изолированная система атомов, предоставленная самой себе, снова необратимо вернется к более упорядоченной молекулярной структуре (соответствующей данному давлению и температуре). Рост энтропии при этом необратимом переходе будет сопровождаться уже не увеличением, а уменьшением неупорядоченности.

Случайны ли такие события? Нет, многочисленность примеров, когда наиболее вероятным будет упорядоченное состояние, вытекает из основных положений теоретической физики» [Там же. С. 72].

Эти рассуждения Петрова очень похожи на наши. Как и автор этих строк, только существенно раньше, он для объяснения отсутствия однозначной зависимости между энтропией и беспорядком привлекает *взаимодействия*, от игры которых зависит, будет ли изолированная система с ростом энтропии системы усложняться или упрощаться, иллюстрируя этот тезис в частном случае механической системы:

«Действительно, при существовании в изолированной системе внутренних сил, имеющих потенциал, плотность частиц на единицу объема будет пропорциональна выражению

$$e^{-\frac{W_3}{kT}} \quad (\text{П. 3.48})$$

где k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, W_3 — выражение потенциальной энергии частиц в функции от координат, зависящее от рода частиц и сил между ними... Будет ли наиболее вероятное состояние упорядоченным или неупорядоченным — это зависит от вида функции $W_3(r)$, где r — расстояние между молекулами. Если она постоянна при $r > r_M$, где r_M — радиус молекулы, рассматриваемой как идеально упругий шар (что как раз и наблюдается для идеального газа в малом объеме), то вероятность найти частицу в какой-либо точке пространства не зависит от ее расстояния до других частиц. В результате наиболее вероятным, соответствующим максимуму энтропии, будет состояние наибольшей неупорядоченности. Если же потенциальная энергия имеет ясно выраженный минимум при некотором определенном расстоянии между частицами $r = r_1$ (а это как раз характерно для многих реальных систем с учетом электрических, химических и т. п. сил между частицами), то соответствующим максимуму энтропии будет весьма упорядоченное состояние, когда большинство расстояний между частицами группируется вокруг $r = r_1$ » [Петров, 1970. С. 71].

Таким образом, заключает Петров,

«из основных положений теоретической физики может следовать только один, совершенно недвусмысленный вывод: *энтропия не может служить мерой неупорядоченности*. Необратимые процессы в изолированной системе, идущие всегда с возрастанием энтропии, могут в то же время и уменьшать, и увеличивать неупорядоченность системы. Всё

зависит от свойств конкретной системы, от природы сил, действующих на ее элементы (выделено мной. — С. Х.)» [Там же. С. 72].

К сожалению, Петров не очень четко разводит энтропию реальной системы, которая не является мерой беспорядка, и энтропию отдельно взятого математического распределения, которая такой мерой является:

«...говоря об энтропии, будем понимать под этим словом энтропию в физике, а не „энтропию распределения вероятностей“ в теории информации» [Там же. С. 71].

Энтропия описывающего физическую (механическую) систему статистического (фазового) распределения, характеризующая его «размазанность», а следовательно и сложность формы (чем распределение сложнее, тем его энтропия меньше), — это ведь тоже «энтропия в физике».

Возможно, из-за непроработанности этого пункта работа Петрова и была отвергнута, а затем забыта. Во всяком случае, именно этот пункт стал главным в отрицательном отзыве Д. А. Франк-Каменецкого [1970], опубликованном в том же номере журнала «Природа», что и статья Петрова. Франк-Каменецкий сделал упор именно на то, что энтропия описывающего систему распределения характеризует его ширину («размазанность»):

«В классическом курсе теоретической физики энтропия определяется как логарифм статистического веса, а последний — как „степень размазанности макроскопического состояния подсистемы по ее микроскопическим состояниям“... Но ведь размазанность и беспорядок — одно и то же» [Там же. 1970. С. 77].

Возражение Франк-Каменецкого потеряло бы свою силу, если бы Петров противопоставил не «энтропию в физике» и информационную энтропию, а энтропию реальной системы и энтропию отдельно взятого математического распределения, каким является в рассуждениях Франк-Каменецкого и др. фазовое распределение статистической механической системы. Проводя такое противопоставление, мы делаем упор на учет (в первом случае) и неучет (во втором) реальных взаимодействий, что и решает дело.

О точке зрения К. Денбига мы судим по статье [Денбиг, 1995], которая основана на докладе, сделанном им в сентябре 1983 г. Как Петров и как автор этих строк, Денбиг решительно отказывается от трактовки энтропии как меры беспорядка:

«...перейдем к „интерпретациям“ понятий, которым посвящен этот раздел, то есть к энтропии, рассматриваемой как беспорядок или как мера неупорядоченности. На мой взгляд, такая интерпретация ошибочна или, по крайней мере, неоднозначна» [Там же. С. 47].

Как и мы с Петровым, он приводит примеры, иллюстрирующие правомерность такого отказа. Как и автор этих строк, Денбиг апеллирует к примеру

«спонтанной кристаллизации переохлажденной жидкости. При адиабатических условиях энтропия такой системы возрастает, но очень трудно найти основания для заявления, что возрастает и беспорядок в системе!» [Там же. С. 49]²⁴.

В этом можно увидеть проявление феномена социальных параллелизмов, который аналогичен хорошо известному феномену органических параллелизмов [Хайтун, 2005а. Разд. 4.4.2, 4.6.3; 2006. Гл. 6] и которому наука обязана тем, что одни и те же теоретические (и не только) конструкции зачастую возникают независимо у разных ученых.

А вот второй пример Денбига:

«Представим... оплодотворенное птичье яйцо внутри инкубатора. Этот инкубатор содержит достаточное количество воздуха и предварительно нагрет до температуры, достаточно высокой для проклеывания яйца. Теперь инкубатор полностью изолируется термически, так что его полная энтропия может только возрасти или остаться неизменной. Тем не менее существуют две возможности дальнейшего развития системы: яйцо погибает; яйцо живет и затем превращается в живого птенца. Справедливо, что в первом случае будет возрастание энтропии, сопровождающееся процессами дезорганизации, локализованными в яйце. Но ситуация во втором случае противоположна: несмотря на то, что яйцо, безусловно, высокоорганизованная система, живой птенец, конечно, более организованная система. Энтропия возрастает и в этом случае, но теперь растет и уровень организации. Таким образом, этот пример доказывает, что предположение об эквивалентности возрастания энтропии и процесса дезорганизации несправедливо» [Там же. С. 50].

Пока всё хорошо. Однако с подведением базы под отказ от трактовки энтропии как меры беспорядка у Денбига не всё ладно. В отличие от автора этих строк, он не разводит понятия энтропии реальной системы и энтропии математического распределения. В отличие от нас с Петровым, Денбиг не подключает к обоснованию и взаимодействия, в зависимости от игры которых в реальной системе сложность системы с ростом ее энтропии может возрастать или уменьшаться.

Денбиг ограничивается указанием на размытость понятий беспорядка/сложности и организованности/дезорганизованности, подобно тому как это делают П. Райт, С. Бир и другие авторы, названные в разд. П. 3.1.8:

²⁴ На этот же пример опирается и М. И. Штернберг [2003] (разд. П. 3.1.8).

«...,интерпретации», о которых идет речь (т. е. рассмотрение энтропии как меры беспорядка или неупорядоченности. — С. Х.), сомнительны с самого начала, поскольку „энтропия“ — это термин, использующийся только в науке в отличие от понятий „порядок“ и „организация“, а также противоположных им. Их смысл очень широк и различен в разных контекстах, например политике, праве и других» [Там же. С. 47].

«...значение слова „организованный“... очень трудно определить, что неоднократно подчеркивалось в работах по философии биологии» [Там же. С. 49].

Когда речь шла о Райте и др., мы сочли такую аргументацию недостаточной, однако, в отличие от них, Денбиг четко говорит, что интерпретация энтропии как меры беспорядка в общем случае ошибочна.

Опираясь на Денбига и автора этих строк, В. В. Василькова [1999] также излагает ту точку зрения, что энтропия не является мерой беспорядка. К аналогичному выводу недавно, возможно, независимо пришел и В. П. Попов:

«Энтропия не является мерой беспорядка в сложных системах. При некоторых условиях процесс самоорганизации в изолированной системе может быть направлен не к хаосу, а к порядку» [Попов, 2006].

П. 3.2.8. Резюме

Завершаем приложение. Как говорилось в разд. 7.2.1, убежденность физиков в том, что закон возрастания энтропии означает эволюцию в сторону непрерывной деградации, деструктурирования материи, покоится на трактовке энтропии реальных систем как меры беспорядка. Поскольку, как было показано, энтропия реальных систем не является мерой беспорядка, постольку этот аргумент несостоятелен. Таким образом, конфликт между законом возрастания энтропии и наблюдаемой эволюцией в сторону усложнения оказался искусственным.

Ключевым во всей этой истории оказывается то обстоятельство, что с усложнением реальной системы усложняется и характеризующий ее паттерн взаимодействий. Это не только делает несостоятельной трактовку энтропии системы как меры беспорядка, справедливую лишь при выключенных (в модели идеального газа) или фиксированных взаимодействиях, но и приводит применительно к наблюдаемому миру к отмене классической концепции конечного равновесного состояния как отвечающего максимальному значению энтропии.

Текущие взаимодействия порождают всё новые и новые структуры, а, следовательно, и всё новые и новые взаимодействия, которые всё далее отодвигают равновесное состояние, являющееся, таким образом, для наблюдаемого мира фикцией.

«Смерть» Вселенной в равновесном тепловом хаосе оказалась мифом, ее эволюция бесконечна во времени (разд. 7.5.2.2).

Поскольку трактовка энтропии реальных систем как меры беспорядка/сложности оказалась ошибочной и поскольку, таким образом, мы не можем теперь по сложности данной системы судить о величине ее энтропии, постольку исчезают какие-либо основания у концепции Шрёдингера и др., выводы которой строятся исключительно на сравнительных оценках сложности разных систем и сложности систем в их разных состояниях, поскольку значения энтропии реальных систем, и не только из-за их сложности, наука вычислять не умеет. У нас вообще нет оснований для каких-либо утверждений об энтропийных и/или неэнтропийных потоках. Исходя из локальной формулировки закона возрастания энтропии, мы можем утверждать только то, что всегда и везде скорость порождения (производство) энтропии положительна (положительно) и что, чем выше наблюдаемая интенсивность метаболизмов (процессов превращения друг в друга разных форм взаимодействий), тем скорость порождения энтропии больше.

Несомненная заслуга Шрёдингера и др. состоит в том, что они вышли при анализе эволюционирующих (усложняющихся) систем на дихотомию система/среда, почувствовав, что она играет здесь некую существенную роль. Однако, как это часто бывает с первопроходцами, определили они эту роль неточно (размыто). Утверждение о том, что только открытость системы позволяет ей усложняться, оказалось ошибочным, т. к. усложняться могут и изолированные системы. Дело в другом --- в том, что, как о том говорилось в конце разд. П. 3.1.4, взаимодействие открытых систем друг с другом обеспечивает им более быстрое эволюционное развитие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В. П.* Становление человечества. М.: Политиздат, 1984. 462 с.
2. *Алексеев Г. Н.* Общая теплотехника. М.: Высш. школа, 1980. 552 с.
3. *Алексеев Г. Н.* Энергоэнтропика. М.: Знание, 1983. 192 с.
4. *Алексеев Г. Н.* Развитие энергетики и прогресс человечества. М.: ИИЕТ РАН, 1997. 200 с.
5. *Аллен Дж., Нельсон М.* Космические биосферы. М.: Прогресс, 1991. 127 с.
6. *Амбарцумян В. А., Казютинский В. В.* Научные революции и прогресс астрофизики // *Астрономия, методология, мировоззрение.* М.: Наука, 1979. С. 11–51.
7. *Андрюшин И. А., Чернышев А. К., Юдин Ю. А.* Укрощение ядра: Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. Саров: Тип. «Красный Октябрь», 2003. 481 с. <<http://www.poligon.kz/doc/coretaming.pdf>>.
8. *Андрющенко А. И.* Основы технической термодинамики реальных процессов. М.: Высш. школа, 1975. 264 с.
9. *Андрющенко А. И.* Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок. М.: Высш. школа, 1977. 280 с.
10. *Апри В.* Энергетика жизни // *Природа.* 1917. № 4. Столб. 443–456.
11. *Ансельм А. И.* Основы статистической физики и термодинамики. М.: Наука, 1973. 423 с.
12. *Арманд А. Д.* Резюме // *Анатомия кризисов.* М.: Наука, 1999. 238 с.
13. *Аршавский И. А.* Физиологические механизмы и закономерности индивидуального развития. М.: Наука, 1982. 270 с.
14. *Аршавский И. А.* Термодинамические загадки возрастной физиологии // *Химия и жизнь.* 1996. № 3. С. 23–26.
15. *Аршинов В. И.* «Самоорганизующаяся Вселенная» Э. Янча и глобальный эволюционизм // *О современном статусе идеи глобального эволюционизма.* М.: ИФАН, 1986. С. 91–104.
16. *Атмосфера.* Справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометсоиздат, 1991. 509 с.
17. *Ауэрбах Ф.* Экстронизм или физическая теория жизни. СПб.: Образование, 1911. 114 с.
18. *Ауэрбах Ф.* Царица мира и ее тень. Одесса: Mathesis, 1913. 50 + XIII с.
19. *Афанасьев В. Г.* Мир живого: Системность, эволюция и управление. М.: Политиздат, 1986. 334 с.
20. *Базаров И. П.* Термодинамика. М.: Высш. школа, 1991. 376 с.

21. *Базаров И. П.* Заблуждения и ошибки в термодинамике. М.: Изд-во МГУ, 1993. 54 с.; 2-е изд. М.: URSS, 2003. 120 с.
22. *Балацкий Е., Гусев А.* Железная логика — I. Ключевые технологические индикаторы экономики России // Независимая газета. НГ, Наука. 23.01.2008.
23. *Барский В. Г.* Прогулка по «фабрике холода» // Биосфера. 2002. № 2. <http://www.ihst.ru/~biosphere/Mag_2/Na_fabrike%20.htm>.
24. *Бауэр Э. С.* Теоретическая биология. М.; Л.: ВИЭМ, 1935. 206 с.
25. *Баишмаков И.* Глобальная экономика — на других рельсах. Подход мировых лидеров к экономическому росту ориентирован на энергоэффективность // Независимая газета. 22.05.2007. <http://www.ng.ru/energy/2007-05-22/12_economic.html>.
26. *Берг Л. С.* Теория эволюции. Пг.: Academia, 1922. 120 с. / Тр. по теории эволюции. Л.: Наука, 1977. С. 43–93.
27. *Бергсон А.* Творческая эволюция. М.: Согрудничество, 1909. 320 с.
28. *Бердяев Н. А.* Предсмертные мысли Фауста // *Бердяев Н. А., Букинин Я. М., Степун Ф. А., Франк С. Л.* Освальд Шпенглер и Закат Европы. М.: Берг, 1922. С. 55–72.
29. *Бернштейн Н. А.* Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. 349 с. / *Бернштейн Н. А.* Физиология движений и активность. М.: Наука. 1990. С. 243–462.
30. *Берч Ф.* Будущее энергообеспечения в Германии. Потенциал возобновляемых видов энергии // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2006. № 6. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal54.htm>>.
31. Биология. Большой энциклопедический словарь. М.: БРЭ, 1999. 864 с.
32. *Бир Ст.* Кибернетика и управление производством. М.: Наука, 1965. 391 с.
33. *Блюменфельд Л. А.* Проблемы биологической физики. М.: Наука, 1977. 336 с.
34. *Богданов А. А.* Всеобщая организационная наука (Техтология). М.; Л.: Книга. Ч. 1. 1925. 300 с.; Ч. 2. 1927. 267 с.
35. *Боголюбов Н. Н.* Проблемы динамической теории в статистической физике. М.; Л.: Гостехиздат, 1946. 119 с. / *Боголюбов Н. Н.* Избр. тр. по статистической физике. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 5–114.
36. *Большаков Л.* Избранные труды. М.: Наука, 1984. 589 с.
37. *Бриллиэн Л.* Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960. 392 с.
38. *Брода Э.* Эволюция биоэнергетических процессов. М.: Мир, 1978. 304 с.
39. *Брюн Б.* Деграляция энергии и гибель мира. СПб.: Мысль, 1915. 124 с.
40. *Будыко М. И.* Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 488 с.
41. *Булюбаи Б. В.* Горячие страсти вокруг холодного синтеза. Открытие, дезавуированное еще 20 лет назад, возможно, скоро будет сделано снова // Вокруг света. 2007. № 8. <<http://www.vokrugsveta.ru/telegraph/theory/410/>>.
42. *Василькова В. В.* Порядок и хаос в развитии социальных систем: Синергетика и история социальной самоорганизации. СПб.: Лань, 1999. 480 с.
43. *Велихов Е. П.* Углеродные кризисы XXI века // Независимая газета. 12.07.2006. <http://www.ng.ru/energy/2006-07-12/9_crisises.html>.

44. Вернадский В. И. Биосфера. Л.: Научн. хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.
45. Вернадский В. И. Живое вещество. М.: Наука, 1978. 358 с.
46. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 672 с.
47. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. 318 с.; 2-е изд. М.: URSS, 2002.
48. Винер Н. Кибернетика как управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 340 с.
49. Виноградов Ю. Е. Другая энергетика // ЭКО. Новосибирск. 2006. № 3. С. 21–42.
50. Виньковецкий Я. А. Геология и общая теория эволюции природы. Л.: Недра, 1971. 94 с.
51. Володько Ю. И. Ламинарное истечение сжатого воздуха в атмосфере и бес-топливный монотермический двигатель. М.: Обществ. польза, 1998. 65 с.
52. Волькенштейн М. В. Молекулы и жизнь. Введение в молекулярную биофизику. М.: Наука, 1965. 504 с.
53. Волькенштейн М. В. Четвертое начало термодинамики. О книге К. С. Тринчера «Биология и информация. Элементы биологической термодинамики» // Цитология. 1966. Т. 8. С. 449–451.
54. Волькенштейн М. В. Сущность биологической эволюции // УФН. 1984. Т. 143. С. 429–466.
55. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. М.: Наука, 1986. 190 с.
56. Волькенштейн М. В. Биофизика. М.: Наука, 1988. 591 с.
57. Волькенштейн М. В., Сырников Ю. П. Еще раз об «Элементах биологической термодинамики» К. С. Тринчера // Биофизика. 1966. Т. 11. С. 379–380.
58. ВП СССР. Энергетика и экология: пути преодоления кризиса. О роли второго начала термодинамики в мировоззрении и жизни цивилизации (Аналитическая записка) // Сайт материалов ВП СССР. 18.12.1997. <http://dotu.ru/files/19971218_Energetika_i_ekologiya_puti_preodoleniya_krizisa.pdf>.
59. Второва О. Люди не влияют на глобальное потепление климата, считают ученые // РИА–Новости. 08.01.2007. <<http://www.rian.ru/science/20070108/58645571.html>>.
60. Вукалович М. П., Новиков И. И. Термодинамика. М.: Машиностроение, 1972. 672 с.
61. Галиахметов Р. А., Фокин И. С., Христенко Е. В. Трудовая деятельность: Информационно-энергетическая концепция. М.: Экономика, 1996. 208 с.
62. Галимов Э. М. Принцип развития в основаниях научной картины природы. Саратов: Изд-во СГУ, 1981. 246 с.
63. Галимов Э. М. Феномен жизни: Между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции. М.: URSS, 2001. 254 с.
64. Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высш. школа. Т. 1. 1969. 476 с.; Т. 2. 1973. 280 с.
65. Гельхар Ф. К истории эволюционной идеи в физике // Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. М.: Наука, 1994. С. 146–153.
66. Генкин И. Л. Энтропия и эволюция Вселенной // Динамика Галактики и внегалактических систем. 1976. С. 43–47 (Тр. АФИАН КазССР. 1976. Т. 28).

67. Генкин И. Л. Энтропия и эволюция Вселенной // *Астрономия, методология, мировоззрение*. М.: Наука, 1979. С. 180–186.
68. Генкин И. Л. Будущее Вселенной // *Вселенная и мы (Альманах)*. 1994. № 2. С. 5–13.
69. Генкин И. Л. Термодинамика Вселенной // *Химия и жизнь*. 1995. № 8. С. 15–17.
70. Генкин И. Л., Седов Е. А. Об особенностях развития космических систем // *Тр. АФИАН АН Каз. ССР*. 1988. Т. 49. С. 52–64.
71. Генкин И. Л., Цицин Ф. А. Развитие космических систем и термодинамика // *Вселенная, астрономия, философия*. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 156–157.
72. Георгиевский А. Б. О взаимодействии движущих сил химической и биологической эволюции материи // *Диалектика в науках о природе и человеке: Эволюция материи и ее структурные уровни*. М.: Наука, 1983. С. 283–287.
73. Герасимов А. Академик Кирилл Кондратьев: глобальное потепление климата — это миф. В научном мире в вопросах климата сформировалась мощная мафия // *Известия науки*. 19.07.2002. <<http://www.inauka.ru/false/article32643.html>>.
74. Гиндлиц Л. М. SETI: Поиск внеземного разума. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2004. 648 с.
75. Гинзбург В. Л. Замечания о методологии и развитии физики и астрофизики // *Вопросы философии*. 1980. № 12. С. 24–46.
76. Гладышев Г. П. Термодинамическая теория эволюции живых существ. М.: Луч, 1996. 86 с.
77. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973. 280 с.; 2-е изд. М.: URSS, 2003.
78. Глинер Э. Б. Раздувающаяся вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды // *УФН*. 2002. Т. 172. С. 222–228.
79. Глобальное потепление обходится в \$350 млрд // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2006. № 11. <<http://escococosys.narod.ru/journal/journal59.htm>>.
80. Голды А. Оксаны энергии: Источники энергии будущего. М.: Знание, 1983. 144 с.
81. Голицын Б. Б. Исследования по математической физике // *Ученые записки Московского ун-та*. 1893. № 10, 1 / *Голицын Б. Б. Избр. тр.* Т. 1. Физика. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 71–214.
82. Голубев В. С. Эволюция: От геохимических систем до ноосферы. М.: Наука, 1992. 106 с.
83. Гориков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // *Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии*. М.: ВИНТИ, 1990. 238 с.
84. Грант В. М. Эволюционный процесс: Критический обзор эволюционной теории. М.: Мир, 1991. 488 с.
85. Гришин А. Не нефтью единой. Мир ищет альтернативу нашим энергоресурсам // *Московский комсомолец*. 30. 08. 2006. <<http://www.mk.ru/blogs/idmk/2006/08/30/mk-daily/81771/>>.

86. Грэй Р. В глобальном потеплении винят космические лучи // Inopressa. 14.02.2007. <<http://inopressa.ru/telegraph/2007/02/12/15:54:36/kosmos>>.
87. Губин В. Б. О физике, математике и методологии. М.: ПАИМС, 2003. 321 с.
88. Гурвич А. Г., Гурвич Л. Д. Митогенетическое излучение. Л.: Ин-т эксперим. медицины, 1934. 355 с.
89. Гухман А. А. Об основаниях термодинамики. М.: Энергоатомиздат, 1986. 384 с.
90. Дайсон Ф. Биотехнологии, климат, дарвинизм и панофабрики // Что нового в науке и технике. 2005. Январь–февраль. С. 114–140.
91. Даль В. Толковый словарь живого великорусского языка. Т. 4. СПб.; М.: Вольф, 1882. 683 с.
92. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С., Рейф И. Е. Перед главным вызовом цивилизации: Взгляд из России. М.: Инфра-М, 2005. 224 с.
93. Девис П. Суперсила: Поиски единой теории природы. М.: Мир, 1989. 272 с.
94. Декарт Р. Космогония. Два трактата. М.; Л.: ГТТИ, 1934. 326 с.
95. Деменева В. С. Отопление без топлива. Тепловые насосы // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2007. № 1. <http://esco-ecosys.narod.ru/2007_1/art58.htm>.
96. Денбиг К. Термодинамика стационарных необратимых процессов. М.: ИЛ, 1954. 120 с.
97. Денбиг К. К вопросу об энтропии, беспорядке и дезорганизации // Знание сила. 1995. № 9. С. 43–51.
98. Добронравова И. С., Ситько С. П. Физика живого как феномен постклассической науки // Самоорганизация и наука: Опыт философского осмысления. М.: ИФАН, 1994. С. 98–126.
99. Дольник В. Р. Энергетический обмен и эволюция животных // Усп. соврем. биологии. 1968. Т. 66, № 5. С. 276–293.
100. Дольник В. Р. Энергетический метаболизм и размеры животных: физические основы соответствия между ними // Журн. общ. биологии. 1978. Т. 39, № 6. С. 805–815.
101. Дрюк М. А. Супергетика: позитивное знание и философский импрессионизм // Вопросы философии. 2004. № 10. С. 102–113.
102. Дунаевский С. Н. Возможность полного преобразования тепловой энергии в механическую // Актуальные проблемы соврем. науки. 2004а. № 2 (17). С. 211–219.
103. Дунаевский С. Н. Термодинамический цикл, реализация которого обеспечит преобразование в механическую работу всего тепла, получаемого рабочим телом тепловой машины от ее нагревателя // Естеств. и техн. науки. 2004б. № 5 (14). С. 54–73.
104. Егоров М. Нисчерпаемый источник энергии // Идеи и решения. 2000. № 9.
105. Елисеев Э. Н. Структура развития сложных систем. Л.: Наука, 1983. 264 с.
106. Емельянов В. М. Стандартная модель и ее расширения. М.: Физматлит, 2007. 584 с.
107. Еремин Е. Н. Основы химической термодинамики. М.: Высш. школа, 1978. 391 с.

108. *Еськов К. Ю.* История Земли и жизни на ней. М.: МИРОС–МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. 352 с.
109. *Завадский К. М.* Проблема прогресса живой природы // Вопросы философии. 1967. № 9. С. 124–136.
110. *Завадский К. М.* Вид и видообразование. Л.: Наука, 1968. 404 с.
111. *Заев Н. Е.* Концентраторы энергии окружающей среды — кэссоры // Русская Мысль. № 2. М.: Обществ. польза, 1992. С. 7–28.
112. *Заев Н. Е., Жуков С. М.* // Электронная техника. Сер. Радиодетали. 1987. Вып. 4 (69). С. 19–22.
113. *Заев Н. Е., Спиридонов Ю. С.* Емкость — конвертор тепла среды в электро-энергию // Электротехника. 1998. № 12. С. 53–55. Заличев Н. Н.
114. *Зарафяц М. Т.* Что такое энтропия. Харьков: Гостехиздат Украины, 1935. 84 с.
115. *Зарипов Р. Г.* Информация различия и переходы беспорядок–порядок. Казань: Изд-во КГТУ, 1999. 155 с.
116. *Зарич Э.* Энергетические ресурсы мира // Курьер ЮНЕСКО. 1981. Август. С. 17–31.
117. *Зельдович Я. Б.* Теория вакуума, быть может, решает проблему космологии // УФН. 1981. Т. 133, № 3.
118. *Зельдович Я. Б.* Возможно ли образование Вселенной «из ничего»? // Природа. 1988. № 4. С. 16–24.
119. *Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.* Релятивистская астрофизика. М.: Наука, 1967. 654 с.
120. Земле осталось 10 лет // Взгляд. 17.09.2006. <<http://vz.ru/society/2006/9/17/48970.html>>.
121. *Земцов А. Н.* Энергосбережение в строительстве и стоимость теплового минимума // Окна и двери. 2003а. № 5. С. 24–26.
122. *Земцов А. Н.* Тепловой прожиточный минимум // Строительство и бизнес. 2003б. № 8 (36). С. 16.
123. *Зотин А. А., Лампрехт И., Зотин А. И.* Прогрессивная эволюция животных, возникновение цивилизации, техническая эволюция человечества // Теория эволюции: Наука или идеология? Тр XXV Люблинских чтений. Вып. 7. «Цепологические исследования». М.; Абакан: МОИП, Центр систем. исслед., 1998. С. 243–244.
124. *Зотин А. И.* Термодинамический подход к проблемам развития, роста и старения. М.: Наука, 1974. 184 с.
125. *Зотин А. И.* Термодинамическая основа реакций организмов на внешние и внутренние факторы. М.: Наука, 1988. 272 с.
126. *Зотин А. И., Зотин А. А.* Направление, скорость и механизмы прогрессивной эволюции. Термодинамические и экспериментальные основы. М.: Наука, 1999. 320.
127. *Зубарев Д. Н.* Неравновесная статистическая термодинамика. М.: Наука, 1971. 415 с.
128. *Иванов В.* Энергию начали добывать из льда // Правда.Ру. 08.07.2006. <<http://www.pravda.ru/science/planet/environment/190143-methan-0>> .

129. *Ивлев В. С.* Опыт оценки эволюционного значения уровней энергетического обмена // Журн. общ. биологии. 1959. Т. 20, № 2. С. 94–103.
130. *Иорданский Н. Н.* Эволюционный прогресс // Совр. проблемы эволюционной морфологии. М.: Наука, 1988. С. 47–64.
131. *Кальвин М.* Химическая эволюция. Молекулярная эволюция, ведущая к возникновению живых систем на Земле и на других планетах. М.: Мир, 1971. 240 с.
132. *Камишилов М. М.* Факторы эволюции биосферы Земли // Вопросы философии. 1979. № 3. С. 128–137.
133. *Кант И.* Всеобщая естественная история и теория неба // Соч.: В 6 т. М.: Мысль, 1963. Т. 1. С. 115–262.
134. *Каторгина Е.* Новый манхэттенский проект // Эксперт. 2002. № 39. <<http://www.expert.ru/printissues/expert/2002/39/39ex-nauka/print>>.
135. *Катыс М.* Альтернативная энергетика может спасти мир — считают экологи // Радио «Свобода». 21.06.2004. <<http://www.svoboda.org/programs/eco/2004/eco.062104.asp>>.
136. *Квасников И. А.* Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем: Термодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1991. 800 с.
137. *Кейлоу П.* Принципы эволюции. М.: Мир, 1986. 128 с.
138. *Кикоин А. К., Кикоин И. К.* Молекулярная физика. М.: Наука, 1976. 480 с.
139. *Ким Сен Гук, Мамбетерзина Г. К.* Формула сохранения // GAZETA.KZ. 08.12.2006. <<http://www.gazeta.kz/art.asp?aid=84358>>.
140. *Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е.* Техническая термодинамика. М.: Наука, 1979. 512 с.
141. *Кликс Ф.* Пробуждающееся мышление. История развития человеческого интеллекта. Киев: Вища школа, 1985. 295 с.
142. *Климонтович Ю. Л.* Уменьшение энтропии в процессе самоорганизации. S-теорема (на примере перехода через порог генерации) // Письма в ЖЭТФ. 1983. Т. 9. С. 1412–1416.
143. *Климонтович Ю. Л.* Динамический и статистический хаос. Критерии степени упорядоченности в процессах самоорганизации // Самоорганизация и наука: Опыт философского осмысления. М.: ИФАН, 1994. С. 98–126.
144. *Климонтович Ю. Л.* Статистическая теория открытых систем. М.: Янус-К. Т. 1. 1995. 624 с.; Т. 2. 1999. 440 с.; Т. 3. 2001. 508 с.
145. *Климонтович Ю. Л.* Физика открытых систем — научное направление XXI века // НТР. Наука и технология в России. 1998. № 7 (30). С. 2–4.
146. *Князева Е. Н.* В эволюционных лабиринтах знания: синергетическое видение научного прогресса // Самоорганизация и наука: Опыт философского осмысления. М.: ИФАН, 1994. С. 66–77.
147. *Князева Е. Н.* Нелинейность времени в эволюции сложных систем // Пространство и время: Физическое, психологическое, мифологическое. М.: Культурный центр «Новый Акрополь», 2004. С. 56–67.
148. *Князева Е. Н., Курдюмов С. П.* Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука, 1994. 236 с.

149. *Ковалев И. Ф.* Второй закон термодинамики в индивидуальной и общей эволюции живых систем // Вопросы философии. 1964. № 5. С. 113–119.
150. *Кокурина Е.* Кто сломал «климатический насос». Причина аномальной погоды не в промышленных выбросах, а в уничтожении лесов // Московские новости. 19.01.2007. <<http://www.mn.ru/print.php?2007-1-33>>.
151. *Колчинский Э. И.* Эволюция биосферы. Историко-критические очерки исследований в СССР. Л.: Наука, 1990. 236 с.
152. *Комаров В. Л.* Смысл эволюции // Тр. 1 Всерос. Съезда рус. богаликов. Пг., 1921. № 5. С. 45.
153. *Константинов А. В.* Основы эволюционной теории. Минск: Вышэйшая школа, 1979. 383 с.
154. *Копылов И. П.* Электромеханика всемирного потопы // Независимая газета. 15.12.1999.
155. *Коротаев А. В.* Факторы социальной эволюции. М.: Ин-т востоковедения РАН, 1997. 48 с.
156. *Коротаев А. В.* Тенденции социальной эволюции // Социально-исторический прогресс: Мифы и реалии (Материалы дискуссии). М.: Папирус Про, 1999. С. 27–48.
157. *Косинов Н. В., Гарбарук В. И.* Энергетический феномен вакуума // SciTeclLibrary.ru. 18.03.2003. <<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2646.html>>.
158. *Косинов Н. В., Гарбарук В. И., Поляков Д. В.* Энергетический феномен вакуума-2 // SciTeclLibrary.ru. 18.03.2003. <<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4804.html>>.
159. Космические лучи могут быть ответственны за глобальное потепление... // SciTeclLibrary.ru. 06.08.2002. <<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3433.html>>.
160. *Красилов В. А.* Нерешенные проблемы теории эволюции. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 140 с.
161. *Краснов А. А.* Термодинамика соединений включения. I. Монотермическая тепловая машина // Журн. физич. химии. 1978а. Т. 52. С. 2137. (Статья полностью депонирована в ВИНТИ за № 626–78 деп. от 20 февраля 1978 г.)
162. *Краснов А. А.* Термодинамика соединений включения. II. К вопросу о влиянии природы рабочего тела на КПД цикла Карно // Журн. физич. химии. 1978б. Т. 52. С. 2138. (Статья полностью депонирована в ВИНТИ за № 627–78 г. 14 с.)
163. *Краснов А. А.* Термодинамика гидратов природного газа. Влияние природы рабочего тела на КПД цикла Карно // Разработка газовых месторождений Крайнего Севера. М.: ВНИИГАЗ, 1978в. С. 149–156.
164. *Краснов А. А.* Применение кристаллогидратов природного газа в качестве рабочего тела термодинамического цикла // Проблемы добычи газа (на примере разработки Орсибургского газоконденсатного месторождения). М.: ВНИИГАЗ, 1979. С. 207–208.
165. *Кричевский И. Р.* Понятия и основы термодинамики. М.: Госхимиздат, 1962. 443 с.

166. *Крылов И. Н.* На заре жизни: Органический мир докембрия. М.: Наука, 1972. 105 с.
167. *Кудинов В. А., Карташов Э. М.* Техническая термодинамика. М.: Высш. школа, 2000. 261 с.
168. *Кудрин Б. И.* Отбор: энергетический, естественный, информационный, документальный. Общность и специфика // Техноценоз как наличное бытие и наука о технической реальности. Абакан: Центр систем. исслед., 1998. С. 32–97.
169. *Кудрявцев И. К.* Химические нестабильности. М.: Изд-во МГУ, 1987. 252 с.
170. *Кудрявцев П. С.* История физики. М.: Учпедгиз. Т. 1. 1948. 536 с.; Т. 2. 1956. 487 с.; Т. 3. 1971. 422 с.
171. *Кудрявцева Д.* Ученые бьют тревогу: климат меняется — необходимо принимать меры // Vsesmi.ru. 09.04.2007. <<http://www.vsesmi.ru/news/659207/>>.
172. *Кульпин Э. С.* Социоестественная история: Предмет, метод, концепция. М.: Изд-во Российского открытого ун-та, 1992. 48 с.
173. *Кун Т.* Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977. 300 с.
174. *Күни Ф. М.* Статистическая физика и термодинамика. М.: Наука, 1981. 352 с.
175. *Кутырев В. А.* Универсальный эволюционизм или коэволюция? // Природа. 1988. № 8. С. 4–10.
176. *Лавенда Б.* Статистическая физика. Вероятностный подход. М.: Мир, 1999. 432 с.
177. *Лазарев М. Ф., Кочерова В. С.* Явление циркуляционного движения жидкости, индуцированное пористой керамикой // Технология и применение огнеупорных бетонов и огнеупорные изделия для электропечей. Тезисы докладов. Свердловск: Восточный научн.-исслед. и проектный ин-т огнеупорной промышленности, 1979. С. 31–33.
178. *Лазарев П. П.* Проблемы биофизики. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945. 152 с.
179. *Лакатос И.* История пауки и ее реконструкция // Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978. С. 203–269.
180. *Ландау Л. Д.* Курс лекций по общей физике. Ч. 1. М.: Изд-во МГУ, 1949. 276 с.
181. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Статистическая физика. М.: Наука, 1964. 567 с.
182. *Лаплас П. С.* Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 376 с.
183. *Левич А. П.* Энтропийная параметризация времени в общей теории систем // Вестн. Российского гуманитарного научн. фонда, 2002. № 1. С. 110–115.
184. *Левич А. П.* Почему выполняются экстремальные принципы для времени и энтропии // Пространство и время: Физическое, психологическое, мифологическое. II Международная конференция. Москва, 30–31 мая 2003 (тезисы докладов). М.: Культурный центр «Новый Акрополь», 2003. С. 29–30.
185. *Левич А. П.* Почему выполняются экстремальные принципы для времени и энтропии // Пространство и время: Физическое, психологическое, мифологическое. Сб. тр. II Международной конференции. Москва, 30–31 мая 2003. М.: Культурный центр «Новый Акрополь», 2004. С. 87–94.
186. *Левич В. Г.* Курс теоретической физики. Т. 1: Теория электромагнитного поля. Теория относительности. Статистическая физика. М.: Физматгиз, 1962. 695 с.

187. *Лефевр В. А.* Космический субъект. М.: Ин-т психологии РАН, Ин-квартио, 1996. 184 с.
188. *Лима-де-Фариа А.* Эволюция без отбора: Автоэволюция формы и функции. М.: Мир, 1991. 455 с.
189. *Линде А. Д.* Раздувающаяся Вселенная // УФН. 1984. Т. 144, № 2. С. 177–214.
190. *Льюис Г. Н.* Апатомия науки. М.; Л.: Госиздат, 1929. VIII + 144 с.
191. *Мак-Фарленд Д.* Поведение животных: Психобиология, этология и эволюция. М.: Мир, 1988. 519 с.
192. *Маракушев А. А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999. 253 с.
193. *Мартин Н., Ингленд Дж.* Математическая теория энтронии. М.: Мир, 1988. 350 с.
194. *Мартынов А. В., Бродянский В. М.* Что такое вихревая труба? М.: Энергия, 1976. 152 с.
195. *Матвеев М. Н.* Второе начало термодинамики и проблема предбиологической эволюции // Вестн. МГУ. Философия. 1973. № 4. С. 36–46.
196. Математический энциклопедический словарь. М.: СЭ, 1988. 847 с.
197. *Мах Э.* Механика. Историко-критический очерк ее развития. СПб.: Обществ. польза, 1909а. 448 с.
198. *Мезенцева Л. В.* Энтропия, эволюция, прогресс. М.: НОУ Луч, 1997. 79 с.
199. *Мелетико В. П.* Потепление климата: причины и последствия // Химия и жизнь. 2007. № 4. / Элементы. 29.04.2007. <<http://elementy.ru/lib/430455?context=286336&discuss=430455&return=1>>.
200. *Миклиш А. М.* Критерии прогрессивной эволюции // Развитие эволюционной теории в СССР (1917–1970-е годы). Л.: Наука, 1983. С. 358–364.
201. *Моисеев Н. Н.* Универсальный эволюционизм // Вопросы философии. 1991. № 3. С. 3–28.
202. *Моисеев Н. Н.* Быть или не быть человечеству? М.: ГУП ИПК «Ульяновский Дом печати», 1999. 288 с.
203. *Мозелов А. П.* Философские проблемы теории естественного отбора. Л.: Наука, 1983. 198 с.
204. *Молчанов А. М.* Термодинамика и эволюция // Колебательные процессы в биологических и химических процессах. Т. 1. Пушчино-на-Оке: Наука, 1967. С. 292–308.
205. *Мюнстер А.* Химическая термодинамика. М.: Мир, 1971. 296 с.
206. *Назаретян А. П.* Интеллект во Вселенной: Истоки, становление, перспективы. Очерки междисциплинарной теории прогресса. М.: Недра, 1991. 222 с.
207. *Назаретян А. П.* Агрессия, мораль и кризисы в развитии мировой культуры. Синергетика социального прогресса. М.: Объединение «Книжник», 1995. 163 с.
208. *Назаретян А. П.* Векторы исторической эволюции // Обществ. науки и современность. 1999а. № 2. С. 112–126.
209. *Назаретян А. П.* Синергетика, когнитивная психология и гипотеза техногуманитарного баланса // Социально-исторический прогресс: Мифы и реалии (Материалы дискуссии). М.: Папирус Про, 1999б. С. 72–87.

210. *Назаретян А. П.* Цивилизационные кризисы в контексте универсальной истории. Синергетика — психология — прогнозирование. М.: Мир, 2004. 367 с.
211. *Назаров В. И.* Учение о макроэволюции. На путях к повому синтезу. М.: Наука, 1991. 287 с.
212. *Назаров В. И.* Эволюция не по Дарвину: Смена эволюционной модели. М.: КомКнига/URSS, 2005. 520 с.
213. Наземные солнечные фотоэлектрические установки с концентраторами излучения // <<http://www.technoexan.ru/index.php?page=41>>. 2006.
214. Наше общее будущее. М.: Прогресс, 1988. 374 с.
215. *Немцев З. Ф., Черняховский В. В., Быков Б. И.* Само- или пессамоорганизация? // Химия и жизнь. 1997. № 11. С. 30–31.
216. *Николаев Б.* Второе рождение угля // Независимая газета. 09.08.2006. <http://www.ng.ru/energy/2006-08-09/14_coal.html>.
217. *Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990. 342 с.; 3-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
218. *Новиков И. Д.* Черные дыры и Вселенная. М.: Мол. гвардия, 1985. 190 с.
219. *Новиков И. Д.* Инфляционная модель ранней Вселенной // Вестн. РАН. 2001. Т. 71, № 10. С. 886–914.
220. *Новиков И. И.* Термодинамика. М.: Машиностроение, 1984. 592 с.
221. Новый энциклопедический словарь. М.: БРЭ, Рипол Классик, 2000. 1455 с.
222. *Ноздрев В. Ф.* Курс термодинамики. М.: Просвещение, 1967. 247 с.
223. *Ньютон И.* Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах снега. М.: Гостехиздат, 1954. 368 с.
224. *Овчаренко Н.* Вихревые теплогенераторы // Новая энергетика. 2004. № 2. <<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0023/001a/00230025.htm>>.
225. *Одум Г., Одум Э.* Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1978. 379 с.
226. *Одум Ю.* Экология. Т. 2. М.: Мир, 1986. 376 с.
227. *Озернюк Н. Д.* Механизмы адаптации. М.: Наука, 1992. 272 с.
228. *Окатов М.* Термостатика. СПб.: Императорская Академия наук, 1871. VIII + 176 с.
229. *Ожунь Л. Б.* Слабое взаимодействие элементарных частиц. М.: Физматгиз, 1963. 248 с.
230. *Опарин А. И.* Происхождение жизни. М.: Московский рабочий, 1924 / М.: Воениздат, 1959. 127 с.
231. *Опарин А. И.* Возникновение и начальное развитие жизни на Земле. М.: Медицина, 1966. 203 с.
232. *Опарин А. И., Гладиллин К. А.* Эволюция самосборки пробионтов // Сборка предбиологических и биологических структур. М.: Наука, 1982. С. 5–20.
233. *Опарин Е. Г.* Физические основы бестопливной энергетики. Ограниченность второго начала термодинамики. М.: URSS, 2004. 136 с.
234. *Орлов И.* Верхней границы нет // Техника молодежи. 2000. № 9.

235. О современном статусе идеи глобального эволюционизма. М.: ИФАН, 1986. 175 с.
236. *Оствальд В.* Naturphilosophie. Лекции, читанные в Лейпцигском университете. М.: Изд-во книжного склада Д. П. Ефимова, 1901. 316 + IV с.
237. *Оствальд В.* Основы физической химии. СПб.: Естествоиспытатель, 1911. VIII + 805 с.
238. *Оствальд В.* Энергетический императив. СПб.: Екатеринбургское Печатное Дело, 1913. 160 с.
239. *Оствальд В.* Энергетика общих законов прогресса // Новые идеи в социологии. Сб. № 3. Что такое прогресс? СПб.: Образование, 1914. С. 20, 21.
240. *Щепков П. К.* Жизнь и мечта. Записки инженера-изобретателя, конструктора, ученого. М.: Московский рабочий, 1984. 320 с.
241. *Панов А. Д.* Опыт междисциплинарного мышления // Обществ. науки и современность. 2005. № 1. С. 123–138.
242. *Паптин В. И., Лапкин В. В.* Эволюционное усложнение политических систем: проблемы методологии и исследования // Политические исслед. 2002. № 2. С. 6–19.
243. *Панченков А. Н.* Энтропия. Н. Новгород: Изд-во общества «Интелсервис», 1999. 592 с.
244. Парк буйков обеспечит энергией 240 городов // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2006. № 8. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal56.htm>>.
245. *Певзнер Л. А., Шумейкин С. А.* Геотермальные источники энергетических ресурсов, проблемы и перспективы их освоения // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2007. № 3. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal63.htm>>.
246. *Пенроуз Р.* Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики. М.: URSS, 2003. 384 с.
247. *Петров Ю. П.* Энтропия и неупорядоченность // Природа. 1970. № 2. С. 71–74.
248. *Пирогов Н. Н.* Основания термодинамики. СПб.: Физ.-хим. общество при Императорском С.-Петербургском ун-те, 1888. 48 с.
249. *Планк М.* Термодинамика. М.: Госиздат, 1925а. 311 с.
250. *Планк М.* Единство физической картины мира // *Планк М.* Физические очерки. М.: Госиздат, 1925б. С. 5–33.
251. *Планк М.* Об основании второго закона термодинамики // *Ваальс И. Д., Констамм Ф.* Курс термостатики. Ч. I. Общая термостатика. М.: ОНТИ, 1936. С. 438–452.
252. *Планк М.* О принципе возрастания энтропии // *Планк М.* Избр. тр. М.: Наука, 1975. С. 9–101.
253. *Подолинский С. А.* Труд человека и его отношение к распределению энергии. М.: Ноосфера, 1991. 83 с.
254. *Полежаев Ю. В.* Россия во мгле? Перспективы развития нашей энергетики в первой четверти XXI века // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2003. № 7. <http://www.esco-ecosys.narod.ru/2003_7/art07.htm>.

255. *Полторак О. М.* Термодинамика в физической химии. М.: Высш. школа, 1991. 319 с.
256. *Понятовский С. А.* Как заставить работать тепловую энергию океана? // Энергетика и промышленность России. 25.12.2004. <<http://www.eprussia.ru/tech/articles/12.htm>>.
257. *Попель О. С., Туманов В. Л.* Возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы развития // Альтернативная энергетика и экология. 2007. № 2. С. 135–148. <http://isjaec.hydrogen.ru/pdf/02_07_Popel.pdf>.
258. *Поплавский Р. П.* Термодинамика информационных процессов. М.: Наука, 1981. 255 с.
259. *Попов В. П.* Инварианты нелинейного мира. 2006. <<http://holism.narod.ru/Invariants/0.htm>>.
260. *Поршнев Б. Ф.* О начале человеческой истории (проблемы палеопсихологии). М.: Мысль, 1974. 487 с.
261. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: ИЛ., 1960. 127 с.
262. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 328 с.; 3-е изд. М.: КомКнига/URSS, 2006.
263. *Пригожин И.* Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск: Ижевская респуб. тип., 1999. 216 с.
264. *Пригожин И., Дефэй Р.* Химическая термодинамика. Новосибирск: Наука, 1966. 509 с.
265. *Пригожин И., Стенджерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986. 432 с.; 6-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008. 296 с.
266. Прогноз мировой энергетики 2004. Краткий обзор и выводы. Русский перевод // Международное энергетическое агентство. 2004. [www/iea.org. <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2004/russian_sum_04.pdf>](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2004/russian_sum_04.pdf).
267. Прогноз мировой энергетики 2006. Краткий обзор и выводы. Русский перевод // Международное энергетическое агентство. 2006. [www/iea.org. <http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/russian_sum_06.pdf>](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2006/russian_sum_06.pdf).
268. *Путилов К. А.* Лекции по термодинамике. Второе начало. Вып. 2. Лекции 4–6. М.: Всесоюзное хим. общество им. Д. И. Менделеева, 1939. 66 с.
269. *Путилов К. А.* Курс физики. Т. I. М.: Физматгиз, 1962. 560 с.
270. *Равен Х.* Оогенез. Накопление морфологической информации. М.: Мир, 1964. 306 с.
271. *Радуликевич Л. В.* Курс термодинамики. М.: Просвещение, 1971. 288 с.
272. *Ребане К. К.* Энергия, энтропия, среда обитания. Таллин: Валгус, 1984. 160 с.
273. *Резанов И. А.* Физические и химические условия возникновения жизни // Международный конгресс-2000 «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». Т. I, № 1. СПб., 2000. С. 197–201.
274. *Резанов И. А.* Условия возникновения жизни в Солнечной системе // Вестн. РАН. 2001. Т. 71, № 4. С. 356–363.
275. *Резанов И. А.* Жизнь и космические катастрофы. М.: Агар, 2003. 240 с.
276. *Рейф Ф.* Статистическая физика. М.: Наука, 1986. 336 с.

277. *Ровинский Р. Е.* Самоорганизация как фактор направленного развития // Вопросы философии. 2002. № 5. С. 67–77.
278. *Родин С. Н.* Идея коэволюции. Новосибирск: Наука, 1991. 271 с.
279. *Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Чернавский Д. С.* Математическая биофизика. М.: Наука, 1984. 304 с.
280. *Руденко А. П.* Теория саморазвития открытых каталитических систем. М.: Изд-во МГУ, 1969. 276 с.
281. *Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш.* Термодинамика, статистическая физика и кинетика. М.: Наука, 1972. 400 с.
282. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1986. 432 с.
283. *Савин А., Чеченов Х., Кузнецов В., Назаров А.* «Зеленая» ядерная технология. Тяжелоядерная релятивистская энергетика может в перспективе решить энергетические проблемы человечества // Независимая газета. 12.12.2006. <http://www.ng.ru/energy/2006-12-12/12_greentech.html>.
284. *Салаха Х.* Тепловой насос помогает сэкономить // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2006. № 2. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal50.htm>>.
285. Самоорганизация в природе и обществе. Философско-методологические очерки. СПб.: Наука, 1994. 129 с.
286. *Северцов А. Н.* Главные направления эволюционного процесса. Морфобиологическая теория эволюции. М.: Думнов, 1925. 84 с. / М.; Л.: Биомедгиз, 1934. 150 с. / М.; Л.: Изд-во МГУ, 1967. 202 с.
287. *Седов А. Е.* Концепции Любищева и некоторые современные проблемы систематики и эволюции // Любищевские чтения. Ульяновск: Ульяновский гос. пед. ун-т, 1999. С. 98–102.
288. *Седов Е. А.* Эволюция и информация. М.: Наука, 1976. 232 с.
289. *Седов Е. А.* Вселенная как самоорганизующаяся кибернетическая система // ЖВХО. 1980. Т. 25, № 4. С. 440–443.
290. *Седов Е. А.* Одна формула на весь мир. Книга об энтропии. М.: Знание, 1982. 175 с.
291. *Седов Е. А.* Информационные критерии упорядоченности и сложности организации // Системная концепция информационных процессов. Вып. 3. М.: ВНИИ систем. исслед., 1988. 82 с.
292. *Седов Е. А.* Информационно-энтропийные свойства социальных систем // Обществ. науки и современность. 1993. № 5. С. 92–100.
293. *Седов Л. И.* Механика сплошной среды. М.: Наука, 1994. Т. 2. 560 с.
294. *Селезнев А.* Вторая водородная бомба // ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы». 2006. № 6. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal54.htm>>.
295. *Серов М. К.* Разнообразие и сложность (Информация и энтропия в системных исследованиях). 1972. 217 с.
296. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1979. 551 с.

297. *Сидоров М. А.* Спасительный круговорот энергии // *Земля и Вселенная*. 2000. № 5. С. 84–90.
298. *Сидоров М. А.* О механизме генерации электротока живой клеткой. Теоретическое обоснование и практическое использование. М.: Компания Спутник⁺, 2002. 28 с.
299. *Силк Дж.* Большой взрыв. Рождение и эволюция Вселенной. М.: Мир, 1982. 391 с.
300. *Скорняков Г. В.* Новый принцип преобразования тепла в работу // *Письма в ЖТФ*. 1989. Т. 15, № 22. С. 12–14.
301. *Скорняков Г. В.* Преобразование тепла в работу с помощью термически неоднородных систем // *Письма в ЖТФ*. 1995а. Т. 21, № 23. С. 1–4.
302. *Скорняков Г. В.* Самоорганизация и преобразование тепла в работу // *ЖТФ*. 1995б. Т. 65, № 1. С. 35–45.
303. *Скорняков Г. В.* О неинтегрируемых термодинамических системах // *ЖТФ*. 1996. Т. 66, № 1. С. 3–14.
304. *Соболь Э.* Наш агрегат в потоке воздуха // *Независимая газета*. 17.11.1999.
305. *Соколов Е. Я., Бродянский В. М.* Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергоиздат, 1981. 320 с.
306. Солнечные тепловые электростанции // 2007. <<http://www.1kz.biz/battery/artiklsste.htm>>.
307. Солнечный зонг остановит глобальное потепление // *CNews.ru*. 11.07.06. <<http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2006/07/11/205676>>.
308. *Сорохтин О. Г.* Эволюция и прогноз изменений глобального климата Земли. М.: ИКИ, 2006. 88 с.
309. *Спасский Б. И.* История физики. М.: Изд-во МГУ. Ч. 1. 1963. 330 с.; Ч. 2. 1964. 300 с.
310. *Спенсер Г.* Основные начала // *Спенсер Г.* Собр. соч. СПб.: Тиблен, 1867. Т. 5. XVI + 309 с. / *Спенсер Г.* Основные начала. СПб.: Пантелеев, 1897. IV + 467 с. / Пг.: Миньков (год не указан). 337 с.
311. *Штишов С. М.* Энтропия, беспорядок, плавление // *УФН*. 1988. Т. 154. С. 93–122.
312. *Суворов С. Г.* К 50-летию со дня смерти Мариана Смолуховского // *УФН*. 1967. Т. 93, № 4. С. 719–723.
313. *Сухонос С. И.* Россия в XXI веке. М.: Агар, 1997. 187 с.
314. *Сырников Ю. П.* О применимости второго закона термодинамики к живой материи // *Биофизика*. 1965. Т. 10. С. 1102–1103.
315. *Тарнижевский Б. В.* Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в электроэнергетике // *ЭСКО. Электронный журн. энергосервисной компании «Экологические системы»*. 2007. № 7. <<http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal167.htm>>.
316. *Тейяр де Шарден П.* Феномен человека. М.: Наука, 1987. 240 с.
317. О возможности применения термодинамики ко Вселенной // *Вселенная, астрономия, философия*. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 141–142.
318. *Техническая термодинамика*. Под ред. В. И. Крутова. М.: Высш. школа, 1991. 276 с.

319. Техническая термодинамика. Под ред. А. С. Телегина. М.: Металлургия, 1992. 238 с.
320. *Тоффлер А.* Футурошок. СПб.: Лань, 1997. 461 с.
321. *Тринчер К. С.* Биология и информация. Элементы биологической термодинамики. М.: Наука, 1965. 119 с.
322. *Трифонов Е. В.* Психофизиология человека. Толковый русско-английский словарь. Изд. 12-е. СПб., 1997–2000. <<http://www.tryphonov.ru/tryphonov2/terms/pefnst.htm>>].
323. *Уленбек Дж., Форд Дж.* Лекции по статистической механике. М.: Мир, 1965. 307 с.
324. *Умов Н. А.* Физико-химическая модель живой материи // *Умов Н. А.* Собр. соч. М.: Кушпарев, 1916. Т. 3. С. 184–200.
325. Универсальная история: Междисциплинарные подходы. Сыктывкар: АГПК, СГУ, 2001. 211 с.
326. *Урманцев Ю. А.* Эволюционика или общая теория развития систем природы, общества и мышления. Пушпико-на-Оке: НЦБИ АН СССР, 1988. 78 с.
327. Ученые обвинили человека в глобальном потеплении. Процесс уже необратим // NEWSru.com. 02.02.2007. <<http://newsru.com/world/02feb2007/warming.html>>.
328. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. 1, 2. М.: Мир, 1977а. 439 с.; 5-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
329. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. 3, 4. М.: Мир, 1977б. 496 с.; 5-е изд. М.: Издательство ЛКИ/URSS, 2008.
330. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. 7. М.: Мир, 1977в. 288 с.; 3-е изд. М.: URSS, 2004.
331. *Фен Дж.* Машины, энергия и энтропия. М.: Мир, 1986. 336 с.
332. *Ферми Э.* Термодинамика. Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1973. 136.
333. Физика. Большой энциклопедический словарь. М.: БРЭ, 1999. 944 с.
334. *Фокс Р.* Энергия и эволюция жизни на Земле. М.: Мир, 1992. 216 с.
335. *Фокс Х.* Холодный ядерный синтез. Последние достижения и перспективы развития. М.: Изд-во ВЕНТ, 1993. 270 с.
336. *Франк-Каменецкий Д. А.* Что такое беспорядок и какова его связь с энтропией // Природа. 1970. № 2. С. 75–78.
337. *Фролов А. В.* Свободная энергия // SIAC — альтернативная физика и энергетика. 16.09.2007. <http://siac.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=694&Itemid=44>.
338. *Фукуяма Ф.* Конец истории? // Вопросы философии. 1990. № 3. С. 134–155 / Философия истории. Антология. М.: Аспект Пресс, 1994. С. 290–310.
339. *Хазен А. М.* Происхождение и эволюция жизни и разума с точки зрения синтеза информации // Биофизика. 1992. Т. 37, № 1. С. 105–122.
340. *Хазен А. М.* Принцип максимума производства энтропии и движущая сила прогрессивной биологической эволюции // Там же. 1993. Т. 38, № 3. С. 531–551.
341. *Хазен А. М.* Законы природы и «справедливое общество». М.: URSS, 1998а. 112 с.

342. *Хазен А. М.* Введение меры информации в аксиоматическую базу механики. М.: РАУБ, 1998б. 168 с.
343. *Хазен А. М.* Разум природы и разум человека. М., 2000. 606 с.
344. *Хайтун С. Д.* К вопросу о понятии энтропии // Проблемы истории и методологии научного познания. М.: Наука, 1974. С. 282–294.
345. *Хайтун С. Д.* Наукометрия: Состояние и перспективы. М.: Наука, 1983. 344 с.
346. *Хайтун С. Д.* История парадокса Гиббса. М.: Наука, 1986. 168 с.; 2-е изд. М.: КомКнига/URSS, 2005.
347. *Хайтун С. Д.* Проблемы количественного анализа науки. М.: Наука, 1989. 280 с. / 2-е изд. Количественный анализ социальных явлений: Проблемы и перспективы. М.: КомКнига/URSS, 2005. 280 с.
348. *Хайтун С. Д.* Развитие естественнонаучных взглядов о соотношении закона возрастания энтропии и эволюции // Концепция самоорганизации в исторической регрессивности. М.: Наука, 1994. С. 158–189.
349. *Хайтун С. Д.* Механика и необратимость. М.: Янус, 1996. 448 с.
350. *Хайтун С. Д.* Мои идеи. М.: Агар, 1998. 240 с.
351. *Хайтун С. Д.* Место синергетики в структуре физического знания // Исследования по истории физики и механики. 1995–1997. М.: Наука, 1999. С. 236–267.
352. *Хайтун С. Д.* Эволюция и энтропия: фундаментальная сущность эволюции // Технико-экономическая динамика России: Техника, экономика, промышленная политика. М.: ГЕО-Планета, 2000а. С. 30–48.
353. *Хайтун С. Д.* Социальная эволюция, энтропия и рынок // Обществ. науки и современность. 2000б. № 6. С. 94–109.
354. *Хайтун С. Д.* От Дарвина до Пригожина и Черносвитова: эволюция за счет среды // Ист-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годич. научн. конф., 2000. М.: ИИЕТ РАН, 2000в. С. 122–124.
355. *Хайтун С. Д.* Фундаментальная сущность эволюции // Вопросы философии. 2001а. № 2. С. 152–166.
356. *Хайтун С. Д.* Дихотомия система/среда в феномене эволюции // Системные исследования: Ежегодник 1999. М.: URSS, 2001б. С. 358–381.
357. *Хайтун С. Д.* О возможности системного решения проблемы тепловой смерти // Системные исследования: Ежегодник 2001. М.: URSS, 2003. С. 143–167.
358. *Хайтун С. Д.* Феномен человека на фоне универсальной эволюции. М.: КомКнига/URSS, 2005а. 533 с.
359. *Хайтун С. Д.* Человечество на фоне универсальной эволюции: сценарии энергетического будущего // Вопросы философии. 2005б. № 11. С. 90–105.
360. *Хайтун С. Д.* Социум против человека: Законы социальной эволюции. М.: КомКнига/URSS, 2006. 336 с.
361. *Хайтун С. Д.* От эргодической гипотезы к фрактальной картине мира: Рождение и осмысление новой парадигмы. М.: КомКнига/URSS, 2007а. 256 с.
362. *Хайтун С. Д.* Эволюционизм vs. дарвинизм // Независимая газета. НГ-Наука. 28.03.2007б.

363. Харитонов А. С. Гармония хаоса в кругопороге энергии. Холистическая парадигма триединства природы, человека и общества. М.: Российское философское общество, РАН, 2004. 147 с.
364. Хартли Р. В. Л. Передача информации // Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959. С. 5–35.
365. Хвольсон О. Д. Курс физики. Т. 3. Учение о теплоте. Берлин: Гос. изд-во РСФСР, 1923. 752 с.
366. Хвостиков В. П., Хвостикова О. А. и др. Термофотоэлектрические преобразователи теплового и концентрированного солнечного излучения // Физика и техника полупроводников. 2004. Т. 38, № 8. С. 988–993. <<http://www.ioffe.rssi.ru/journals/ftp/2004/08/p988-993.pdf>>.
367. Царев Е. П. Влияние эндогенной энергии на возникновение и развитие биосферы // Совр. проблемы изучения и сохранения биосферы. Т. I. Свойства биосферы и ее внешние связи. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. С. 102–111.
368. Цветков А. В. О Живом веществе. Екатеринбург: Изд-во УГУ, 2002. 88 с.
369. Циолковский К. Э. Продолжительность лучеиспускания Солнца // Научн. обозрение. 1897. № 7. С. 46–61.
370. Циолковский К. Э. Второе начало термодинамики. Калуга: Тип. С. А. Семёнова, 1914. 24 с.
371. Цицин Ф. А. К физическим основам динамики звездных систем // Тр. астрофизического ин-га АН Каз. ССР. 1969. Т. 12. С. 3–16.
372. Цицин Ф. А. Термодинамика, Вселенная и флуктуации // Вселенная, астрономия, философия. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 142–156.
373. Чайковский Ю. В. Элементы эволюционной диатропики. М.: Наука, 1990. 271 с.
374. Чайковский Ю. В. Эволюция. М.: Центр систем. исслед., ИИЕТ РАН, 2003. 472 с.
375. Чайковский Ю. В. Наука о развитии жизни. Опыт теории эволюции. М.: КМК, 2006. 712 с.
376. Черникова И. В. Глобальный эволюционизм (Философско-методологический анализ). Томск: Изд-во ТГУ, 1987. 182 с.
377. Черникова И. В. Всеохватывающий феномен эволюции и человечество. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 103 с.
378. Чернин А. Д. Космический вакуум // УФН. 2001. Т. 171. С. 1153–1175.
379. Чернов Ю. И. Проблема эволюции на биоэкологическом уровне // Развитие эволюционной теории в СССР (1917–1970-е годы). Л.: Наука, 1983. С. 464–479.
380. Черносветов П. Ю. Куда движется мир? // Химия и жизнь. 1998. № 5.
381. Чо С., Уленбек Дж. Кинетическая теория явлений в плотных газах // Уленбек Дж., Форд Дж. Лекции по статистической механике. М.: Мир, 1965. С. 189–280.
382. Шабельников В. К. Роль самоорганизации биосферы в возникновении и развитии жизни // Совр. проблемы изучения и сохранения биосферы. Т. I. Свойства биосферы и ее внешние связи. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. С. 111–121.
383. Шамбадаль П. Развитие и приложения понятия энтропии. М.: Наука, 1967. 278 с.

384. *Шановалов В. И.* Энтропийный мир. Волгоград: Перемена, 1994. 90 с.
385. *Шановалов В. И.* Структура и энтропия // Химия и жизнь. 1996. № 3. С. 19–22.
386. *Шварц С. С.* Принципы оптимального феногипа (к теории стабилизирующего отбора) // Журн. общ. биологии. 1968. Т. 29, № 1. С. 12–24.
387. *Шварц С. С.* Эволюция и биосфера // Проблемы биогеоценологии. М.: Наука, 1973. С. 213–228.
388. *Шварц С. С.* Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
389. *Шелепин Л. А.* Вдали от равновесия. М.: Знание, 1987. 64 с.
390. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987. 320 с.
391. *Шмальгаузен И. И.* Факторы прогрессивной (ароморфной) эволюции = снижения энтропии // Закономерности прогрессивной эволюции. Л.: ИИЕТ АН СССР, 1972. С. 5–24.
392. *Шмидт-Ниельсен К.* Размеры живогных: Почему они так важны? М.: Мир, 1987. 159 с.
393. *Шильрайн Э. Э., Семенов А. М.* Паранергетика, или как не надо искать энергию // Энергия. Экономика. Техника. Экология. 1984. № 4. С. 38–47.
394. *Штеренберг М. И.* Энтропия в теории и в реальности // Вопросы философии. 2003. № 3. С. 103–113.
395. *Щеголев И. Ф.* Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. М.: Янус, 1996. 248 с.
396. *Эйген М., Винклер Р.* Игра жизни. М.: Наука, 1979. 93 с.
397. *Эйген М., Шустер П.* Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: Мир, 1982. 270 с.
398. *Эйнштейн А.* Замечания к статьям // *Эйнштейн А.* Собр. научн. тр. Т. 4. М.: Наука, 1967. С. 295–315.
399. Энтропия информации и сущность жизни. М.: Радиоэлектроника, 1995. 192 с.
400. *Эрлих П., Холм Р.* Процесс эволюции. М. Мир, 1966. 330 с.
401. *Югай Г. А.* Общая теория жизни (Диалектика формирования). М.: Мысль, 1985. 256 с.
402. *Яковлев В. Ф.* О стационарных градиентах температур в газах, распределенных в потенциальных полях // Применение ультразвуки к исслед. вещества. Вып. 25. М., 1971. С. 60–69.
403. *Яковлев В. Ф.* Теплоота и молекулярная физика. М.: Просвещение, 1976. 320 с.
404. *Яковлев В. Ф.* Экспериментальное обнаружение стационарных градиентов температур во вращающихся газах // Журн. русской физич. мысли (ЖРФМ). 1993. № 1–6. С. 42–45.
405. *Ackerson R. J.* When order is disordered // Nature. 1993. Vol. 365. P. 11–12.
406. *Atkins P. W.* The Second Law. Scientific American Library. New York: Freeman, 1984. 230 p.
407. *Barrow J. D., Tipler F.J.* Eternity is unstable // Nature. 1978. Vol. 276. P. 453–459.
408. *Beier W.* Biophysik. Leipzig: VEB Georg Thieme, 1962. XIV + 521 S.
409. *Black S.* On the thermodynamics of evolution // Perspect. Biol. Med. 1978. Vol. 21. P. 348–356.

410. *Blatt J. M.* An alternative approach to the ergodic problem // *Progr. Theor. Phys.* 1959. Vol. 22. P. 745–756.
411. *Blum H. F.* *Time's Arrow and Evolution.* Princeton (N. J.): Princeton Univ. Press, 1951. IX + 222 p.
412. *Boltzmann L.* Über die mechanische Bedeutung der zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie // *Sitzber. Akad. Wiss. Wien.* 1866. Bd. 53. S. 195–220 / *Рус. пер.:* Больцман Л. Избр. тр. М.: Наука, 1984. С. 9–29.
413. *Boltzmann L.* Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen // *Ibid.* 1872. Bd. 66. S. 275–376 / *Рус. пер.:* Там же. С. 125–189.
414. *Boltzmann L.* Bemerkungen über einige Proberme der mechanischen Wärmetheorie // *Ibid.* 1877a. Bd. 75. S. 62–100.
415. *Boltzmann L.* Über die Beziehung zwischen des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respcktive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht // *Ibid.* 1877b. Bd. 76. S. 373–435 / *Рус. пер.:* Больцман Л. Избр. тр. М.: Наука, 1984. С. 190–235.
416. *Boltzmann L.* Weitere Bemerkungen ber einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie // *Ibid.* 1879. Bd. 78. S. 7–46 / *Рус. пер.:* Там же. С. 241–268.
417. *Boltzmann L.* Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie // *Wien. Almanach.* 1886. Bd. 36. S. 225–259 / *Boltzmann L.* *Populäre Schriften.* Leipzig: Barth, 1905. S. 25–50 / *Рус. пер.:* Больцман Л. Статьи и речи. М.: Наука, 1970. С. 3–28.
418. *Boltzmann L.* Vorlesungen über Gastheorie. Leipzig: Barth, 1895–1898. Bd. 1–2 / *Рус пер.:* Больцман Л. Лекции по теории газов. М.: Гостехтеориздат, 1956. 555 с.
419. *Boltzmann L.* Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. Zermelo // *Ann Phys.* Folge 3. 1896. Bd. 57. S. 773–784 / *Рус. пер.:* Больцман Л. Избр. тр. М.: Наука, 1984. С. 444–452.
420. *Boltzmann L.* Zu Hrn. Zermelo's Abhandlung «Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge» // *Ibid.* 1897. Bd. 60. S. 392–398 / *Рус. пер.:* Там же. С. 458–463.
421. *Bookstein F.* Comment on a «nonequilibrium» approach to evolution // *Syst. Zool.* 1983. Vol. 32. P. 291–300.
422. *Bronn H. G.* *Morphologische Studien über Gestaltungsgesetze der Naturkörper überhaupt und organischen indersondere.* Leipzig, Heidelberg: Winter, 1858. IX + 481 S.
423. *Brooks D. R.* What's going on in evolution? A brief guide to some new ideas of evolutionary theory // *Canad. J. Zool.* 1983. Vol. 61, № 12. P. 2637–2645.
424. *Brooks D. R., Wiley E. O.* *Evolution as Entropy. Toward a United Theory of Biology.* Chicago, London: Univ. of Chicago Press, 1986. XIII + 335 p.
425. *Brush S. G.* *Kinetic Theory.* Oxford etc.: Pergamon. Vol. 1. 1965. XI + 181 p.; Vol. 2. 1966. XII + 243 p.; Vol. 3. 1972. X + 283 p.
426. *Brush S. G.* Foundations of statistical mechanics 1845–1915 // *Arch. Hist. Exact. Sci.* 1967. Vol. 4. P. 145–183.
427. *Brush S. G.* *The Kind of Motion We Call Heat. A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century.* Amsterdam etc.: North-Holland, 1976. Vol. 1. XXXIX + 299 p.; Vol. 2. XXXIX + 466 p.

428. *Brush S. G.* Statistical Physics and the Atomic Theory of Matter from Boyle and Newton to Landau and Onsager. Princeton (N. J.): Princeton Univ. Press, 1983. IX + 356 p.
429. *Brush S. G.* The History of Science: A Guide to the Second Scientific Revolution, 1800–1950. Ames (Iowa): Iowa State Univ. Press, 1988. XV + 544 p.
430. *Büchel W.* Entropy and information in the Universe // *Nature*. 1967. Vol. 213. P. 319–320.
431. *Campbell B.* Biological entropy pump // *Ibid.* 1967. Vol. 215. P. 1308.
432. *Caratheodory C.* Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik // *Mathematische Annalen*. 1909. Bd. 67. S. 355–386 / Рус. пер.: *Каратеодори К.* Об основах термодинамики // Развитие соврем. физики. М.: Наука, 1964. С. 188–222.
433. *Carnot N. L. S.* Reflection sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance. P.: Bachelier, 1824 / Рус. пер.: *Карно С.* Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу // Второе начало термодинамики. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1934. С. 15–81.
434. *Caves C. M.* Information and entropy // *Phys. Rev.* 1993. Vol. E47. P. 4010–4017.
435. *Chaisson E.* Cosmic Dawn. The Origins of Matter and Life. New York, London: Norton, 1989. XV + 302 p.
436. *Chaisson E.* Cosmic Evolution. The Rise of Complexity in Nature. Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press, 2001. XII + 274 p.
437. *Chaitin G. J.* Randomness and mathematical proof // *Sci. Amer.* 1975. Vol. 232, № 5. P. 47–52.
438. *Chaitin G. J.* Randomness in arithmetic // *Ibid.* 1988. Vol. 259, № 1. P. 80–85.
439. [*Chambers R.*] Vestiges of the Natural History of Creation. London, 1844. 390 p. / Рус. пер.: [*Чемберс Р.*] Естественная история мироздания. М.: Черпин, Ушаков, 1863. XIV + 366 с. (Анонимное издание).
440. *Chaos*. Princeton (N. J.): Princeton Univ. Press, 1986. VI + 324 p.
441. *Clark P.* Atomism versus thermodynamics // *Method and Appraisal in the Physical Sciences. The Critical Background to Modern Science, 1800–1905*. New York etc.: Cambridge Univ. Press, 1976. P. 41–105.
442. *Clausius R.* Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze welche daraus für die Wärmelchre selbst ableiten lassen // *Ann. Phys. Folge 2*. 1850. Bd. 79. S. 368–397; 500–524 / *Clausius R.* Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie. Abt. 1. Braunschweig: Vieweg, 1864. S. 16–78.
443. *Clausius R.* Über eine veränderte form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie // *Ibid.* 1854. Bd. 93. S. 481–506 / *Ibid.* S. 127–154.
444. *Clausius R.* Über die Anwendung des Satzes von der Äquivalenz der Verwandlungen auf die innere Arbeit // *Ibid.* 1862. Bd. 116. S. 78 / *Ibid.* S. 242–279.
445. *Clausius R.* Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie // *Ibid.* 1865. Bd. 125. S. 353–400 / *Ibid.* Abt. 2. 1867. S. 1–44.

446. *Clausius R.* Über die Zurückführung des zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie auf allgemeine mechanische Principien // *Pogg. Ann.* 1871. Bd. 142. S. 458.
447. *Clausius R.* Die mechanische Wärmetheorie. Bd. 1. Braunschweig: Vieweg, 1876. 388 S. / Рус. пер. гл. I–IV: Второе начало термодинамики. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1934. С. 71–158.
448. Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) // 2007. <http://en.wikipedia.org/wiki/IPCC_Fourth_Assessment_Report>.
449. *Cook A. E., Roberts P. H.* The Rikitake two-disk dynamo system // *Proc. Camb. Phil. Soc.* 1970. Vol. 68. P. 547–569 / Рус. пер.: Странные аттракторы. М.: Мир, 1981. С. 164–192.
450. The Correspondence of Isaac Newton. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1961. Vol. 3. 445 p.
451. *Coveney P. V.* The Second Law of thermodynamics: Entropy, irreversibility and dynamics // *Nature.* 1988. Vol. 333. P. 409–415.
452. *Darwin E.* The Temple of Nature; or, the Origin of Society. London, 1803 / Рус. пер.: *Дарвин Э.* Храм природы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 239 с.
453. *Davies P. G. W.* The Runaway Universe. London: Dent, 1978. 205 p.
454. *Denbigh K. G.* Note of entropy. Disorder and disorganization // *Brit. J. Phil. Sci.* 1989. Vol. 40. P. 323.
455. *Denbigh K. G., Denbigh J. S.* Entropy in Relation to Incomplete Knowledge. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985.
456. *Dunning-Davis J.* Caratheodory's principle and the Kelvin statement of the Second Law // *Nature.* 1965. Vol. 208. P. 576–577.
457. *Dutta M.* A hundred years of entropy // *Phys. Today.* 1968. Vol. 21. P. 71–79.
458. *Ehrenfest P.* Ein alter Trugschluss betrifft des Wärmegleichgewichtes eines Gases im Schwerfeld // *Zs. f. Phys.* 1923. D. 17. S. 421–444 // Рус. пер.: *Эренфест П.* Относительность. Кванты. Статистика. М.: Наука, 1972. С. 116–118.
459. *Ehrenfest P., Ehrenfest T.* Begriffliche der statistischen Auffassung in der Mechanik // *Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften.* Leipzig: Teubner, 1911. Bd. 4. Teil 2. H. 6. S. 32–131 / Англ. пер.: *Ehrenfest P., Ehrenfest T.* The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics. Ithaca: Cornell Univ. Press, 1959. XVI + 114 p.
460. *Eigen M.* Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. Berlin: Springer, 1971a. VIII + 346 p. / Рус. пер.: *Эйген М.* Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973. 216 с.
461. *Eigen M.* Molecular self-organization and the early stages of evolution // *Q. Rev. Biophys.* 1971b. Vol. 4. P. 149–212.
462. *Einstein A.* Über die von der molecular-kinetischen Theorie Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen // *Ann. Phys.* Folge 4. 1905. Bd. 17. S. 549–560 / Рус. пер.: *Эйнштейн А.* Собр. научн. тр. М.: Наука, 1966. Т. 3. С. 108–117.

463. *Einstein A.* Theoretische Atomistik // Die Physik. Die Kultur der Gegenwart. T. 3. Abt. 3. Bd. 1. Leipzig: Teubner, 1915. S. 251–263 / Рус. пер.: Там же. С. 336–351.
464. *Elsasser W. M.* The Physical Foundation of Biology. London: Pergamon, 1958. X + 219 p.
465. Entropy, Information and Evolution. Cambridge (Mass.), London: MIT Press 1988. X + 376 p.
466. Europe's '2020 vision' to lead climate change battle // New Scientist Environment and Reuters. 09.03.2007. <<http://environment.newscientist.com/article/dn11343-europes-2020-vision-to-lead-climate-change-battle.html>>.
467. *Fast J. D.* Entropy. London, Basingstoke: Macmillan, 1970. XII + 339 p.
468. *Forrester J. W.* World Dynamics. Cambridge (Mass.): Wright-Allen Press, 1971. XIII + 142 p. / Рус. пер.: *Форрестер Дж.* Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 167 с.
469. *Franklin W. S.* Entropy and time // Phys. Rev. 1910. Vol. 30. P. 776.
470. *Frautschi S.* Entropy in an expanding Universe // Science. 1982. Vol. 217. P. 593–599.
471. *Frautschi S.* Entropy in an expanding Universe // Entropy, Information, and Evolution. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1988. P. 11–22.
472. *Georgescu-Roegen N.* The Entropy Law and the Economic Process. Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press, 1971. XV + 457 p.
473. *Gibbs J. W.* On the equilibrium of heterogeneous substances // Trans. Connect. Acad. 1876. Vol. 3. P. 108–248; 1878. Vol. 3. P. 343–524 / Рус. пер.: *Гиббс Дж. В.* Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982. С. 61–344.
474. *Gibbs J. W.* On the fundamental formula of statistical mechanics with application to astronomy and thermodynamics // Proc. Amer. Assoc. Adv. Sci. 1884. Vol. 33. P. 57–58.
475. *Gibbs J. W.* Elementary Principles in Statistical Mechanics, Developed with Especial Reference to the Rational Foundations of Thermodynamics. New York: Scribner, 1902. 159 p. / Рус. пер.: *Гиббс Дж. В.* Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982. С. 350–508.
476. *Giles J.* Methane quashes green credentials of hydropower // Nature. 2006. Vol. 444. 29 Nov. P. 524–525.
477. *Grant V.* Organismic Evolution. San Francisco: Freeman, 1977. XVI + 418 p. / Рус. пер.: *Грант В. М.* Эволюция организмов. М.: Мир, 1980. 407 с.
478. *Grünbaum A.* Time and entropy // Amer. Sci. 1955. Vol. 43. P. 550–572.
479. *Haitun S. D.* Problems of quantitative analysis of scientific activities: Non-additivity of data // Scientometrics. 1986. Vol. 10. P. 3–16; 133–155.
480. *Haitun S. D.* Entropy and disorder: The evolution of views concerning their connection // Thermodynamics: History and Philosophy. Singapore etc., 1991. P. 220–227.
481. *Haitun S. D.* The problem of indicator–latent relationship in metric models // Scientometrics. 1992. Vol. 23. P. 335–351; Vol. 24. P. 221–235.
482. *Haken H.* Synergetics: An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1977. XII + 325 p. / Рус. пер.: *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.

483. *Heinrich B.* Bumbles Economics. Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press, 1979. VIII + 245 p.
484. *Helmholtz H.* Über die Wechselwirkung der Naturkräfte. Ein populäre Wissenschaftlichen Vertrag gehalten an 7, Februar 1854 in Königsberg in Preussen // *Helmholtz H.* Populäre Wissenschaften Verträge. H. 2. Braunschweig: Vieweg, 1876. S. 101–136 / Рус. пер.: *Гельмгольц Г.* Соч. № 5. Взаимодействие сил природы. СПб.: Прилож. к журн. «Научн. обозрение», 1897. 25 с.
485. *Helmholtz H.* Die Thermodynamik chemischer Vorgänge // *Helmholtz H.* Wissenschaftliche Abhandlungen. Bd. 2. Leipzig: Barth, 1883. S. 958–978.
486. *Helmholtz H.* Studien zur Statik monozyklischer Systeme // *Sitzber. Akad. Wiss. Berlin. Phys. Math. Kl.* 1884a. S. 311–318; 755–759 / *Helmholtz H.* Wissenschaftliche Abhandlungen. Bd. 3. Leipzig: Barth. 1895. S. 119–141.
487. *Helmholtz H.* Prinzipien der Statik monozyklischer Systeme // *Borchardt — Crelle J.* reine u. angew. Math. 1884b. Bd. 97. S. 111–140; 317–336 / *Ibid.* S. 163–173.
488. *Helmholtz H.* Über die physikalische Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung // *Ibid.* 1887. Bd. 100. S. 137–166; 213–222 / Рус. пер.: Вариационные принципы механики. М.: Физматгиз, 1959. С. 430–459.
489. *Hemmingsen A. R.* Energy metabolism as related to body size and respiratory surface and its evolution // *Rep. Steno Mem. Hosp. Insulinlab.* 1960. Vol. 9, № 2. P. 7–110.
490. *Huxley J. S.* Evolution the Modern Synthesis. London: Allen, Unwin, 1942. 646 p.
491. *Jantsch E.* The Self-organizing Universe: Scientific and Human Implications of Emerging Paradigm of Evolution. New York etc.: Pergamon, 1980. XVII + 343 p.
492. *Jauho P.* A central theorem of statistical mechanics // *Suomalaisen Tiedekatemia Toimituksia (Ann. Acad. Sci. Fennicae). Ser. A1.* 1954a. № 172. P. 1–11.
493. *Jauho P.* A remark on the definition of entropy in Bose-Einstein and Fermi-Dirac statistics // *Ibid.* 1954b. № 180. P. 3–6.
494. *Jeans H.* The New Background of Science. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1953. VIII + 312 p.
495. *Johnson L.* The thermodynamic origin of ecosystems: A tale of broken symmetry // *Entropy, Information, and Evolution.* Cambridge (Mass.): MIT Press, 1988. P. 75–105.
496. *Joyce G. F.* RNA evolution and the origin of life // *Nature.* 1989. Vol. 338. P. 217–224.
497. *Kawamura S.* The process sub-culture propagation among Japanese macaques // *Primate Social Behaviour.* New York: Van Nostrand, 1963. P. 82–90.
498. *Klein M. J.* Maxwell, his demon, and the Second Law of thermodynamics // *Amer. Sci.* 1970. Vol. 58. P. 84–97.
499. *Koenig F. O.* On the history of science and the Second Law of thermodynamics // *Men and Moments in the History of Science.* Seattle: Univ. of Washington Press, 1959. P. 57–111.
500. *Kölliker A.* Über die Darwin'sche Schöpfungstheorie // *Zeitschr. wiss. Zool.* 1864. Bd. A14. S. 114–186 / Рус. пер.: Отечественные записки. 1864. № 10–11. С. 932–948.

501. *Köllicker A.* Morphologie und Entwicklungsgeschichte des Pennatulidenstammes, nebst allgemeinn Betrachtungen zur Deszendenlehre. Frankfurt: Winter, 1872. 86 S.
502. *Landauer R.* A simple measure of complexity // *Nature*. 1988. Vol. 336. P. 306–307.
503. *Landsberg P. T.* Can entropy and “order” increase together // *Phys. Lett.* 1984a. Vol. A102. P. 171–173.
504. *Landsberg P. T.* Is equilibrium always as entropy maximum // *J. Stat. Phys.* 1984b. Vol. 35. P. 159–169.
505. *Layzer D.* The arrow of time // *Sci. Amer.* 1975. Vol. 233, № 6. P. 56–69.
506. *Layzer D.* Growth of order in the Universe // *Entropy, Information, and Evolution*. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1988. P. 23–39.
507. *Lehninger A. L.* Biochemistry. New York: Worth, 1975. 1104 p.
508. *Lele S., Ranachandra Rao P., Dubay K. S.* Entropy catastrophe and superheating of crystals // *Nature*. 1988. Vol. 336. P. 567–568.
509. *Lillie R. S.* Randomness and directiveness in the evolution and activity of organisms // *Amer. Natur.* 1948. Vol. 82. P. 5–25.
510. *Lloyd S., Pagels H.* Complexity as thermodynamic depth // *Ann. Phys.* 1988. Vol. 188. P. 188–213.
511. *Lorenz E. N.* Deterministic nonperiodical flow // *J. Atmosph. Sci.* 1963. Vol. 20. P. 130–141 / *Рус пер.:* Странные аттракторы. М.: Мир, 1981. С. 88–116.
512. *Loschmidt J.* Über den Zustand des Wärmegleichgewichtes eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf Schwerkraft // *Sitzber. Akad. Wiss. Wien*. 1876. Bd. 73. S. 128–142 / *Рус. пер.:* *Больцман Л.* Избр. тр. М.: Наука, 1984. С. 426–429.
513. *Lotka A.* Elements of Physical Biology. Baltimore: Willaims, Wilkins, 1925. 460 p. / New York: Dover, 1956. 465 p.
514. *Lovell J.* Branson Offers US\$25 Mln Global Wanning Prize // *Planet Ark*. 12.02.2007. <<http://www.planetark.com/dailynewsstory.cfm/newsid/40298/story.htm>>.
515. *Lovtrup S.* Victims of ambition: Comments on the Wiley and Brooks approach to evolution // *Syst. Zool.* 1983. Vol. 32. P. 90–96.
516. *Lwoff A.* Biological Order. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1965. XII + 101 p.
517. *Mach E.* Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von Erhaltung der Arbeit. Prag: Mercy, 1872. 58 S. / *Рус. пер.:* *Маш Э.* Принцип сохранения работы. История и корень его. СПб.: Обществ. польза. 1909б. 68 с.
518. *Margulis L., Sagan D.* Origins of Sex: Three Billion Years of Genetic Recombination. New Haven (Conn.): Yale Univ. Press, 1986. XIII + 258 p.
519. *Maxwell J. C.* Theory of Heat. London: Longmans, 1871. XII + 312 p. / *Рус. пер.:* *Максвелл К.* Теория теплоты. Киев: Кутшпарев, 1888. 292 с.
520. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., and Behrens W. W.* The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Univ. Books, 1972. 205 p. / *Рус. пер.:* *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й., Беренс III В. Б.* Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.
521. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J.* Beyond The Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future. Post Mills (VT): Chelsea Green, 1992. 300 p. // *Рус. пер.:* *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рендерс Й.* За пределами роста. М.: Прогресс, 1994. 304 с.

522. *Mesarovic M., Pestel E.* Mankind at the Turning Point. The Second Report to the Club of Rome. New York: Dutton, 1974. XIII + 210 p.
523. *Meyer O. E.* Die kinetische Theorie der Gase. Breslau: Maruschke, Berendt, 1877. XV + 338 S.
524. *Miller G. T. jr.* Energetics, Kinetics and Life. Belmont (Calif.): Wadsworth, 1971. P. 291.
525. *Miller G. T. jr.* Energy and Environment: The Four Energy Crises. Belmont (Calif.): Wadsworth, 1975. 122 p.
526. *Nottale L., Chaline J., Grou P.* Les arbres de l'évolution. Paris: Hachette, 2000. 379 p.
527. *Nyquist H.* Certain factors affecting telegraph speed // *Bell Syst. Techn. J.* 1924. Vol. 3. P. 324.
528. *Osborn H. F.* The Origin and Evolution of Life in the Theory of Action, Reaction and Interaction of Energy. London: Bell, 1918. XXXI + 322 p.
529. *Ostwald W.* Vorlesungen über Naturphilosophie. Leipzig: Veit, 1902. XIV + 457 S. / Рус. пер.: *Остальд В.* Философия природы. СПб.: Брокгауз, Ефрон, 1903. VI + IV + 326 с.
530. *Page D. N., McKee M. R.* Eternity matters // *Nature.* 1981. Vol. 291. P. 44–45.
531. *Papentin F.* On order and complexity. I. General consideration // *J. Theor. Biol.* 1980. Vol. 87. P. 421–456.
532. *Peccei A.* The Human Quality. Oxford, New York: Pergamon Press, 1977. XII + 214 p. / Рус. пер.: *Печчеи А.* Человеческие качества. М.: Прогресс, 1985. 312 с.
533. *Pestel E.* Beyond the Limits to Growth: A Report to the Club of Rome. New York: Universe Books, 1989. 191 p. / Рус. пер.: *Пестель Э.* За пределами роста. М.: Прогресс, 1992. 272 с. <<http://rels.obninsk.com/Club/KRUG/rome3.htm>>.
534. *Poincaré H.* La valeur de la science. P.: Flammarion, 1905. 278 p. / Рус. пер.: *Пуанкаре А.* О науке. М.: Наука, 1983. С. 153–282.
535. *Poincaré H.* Reflection sur la théorie cinétique des gaz // *J. Phys. Théoret. Et Appl.* 4 ser. 1906. Vol. 5. P. 369–403 / Рус. пер.: *Пуанкаре А.* Избр. тр. М.: Наука, 1974. С. 385–412.
536. *Popper K. R.* Time's arrow and feeding on negentropy // *Nature.* 1967a. Vol. 213. P. 320.
537. *Popper K. R.* Structural information and the arrow of time // *Ibid.* 1967b. Vol. 214. P. 322.
538. *Popper K.* Unended Quest: An Intellectual Autobiography. Glasgow: Fontana Books of Collins, Sons and Co., 1976. 260 p.
539. *Ravillious K.* Giant ocean tubes proposed as global warming fix // *National Geographic News.* 26.09.2007. <<http://news.nationalgeographic.com/news/2007/09/070926-warming-solution.html>>.
540. Renewable Energy Scenario to 2040. Half of the global energy supply from renewables in 2040. 2004. <http://www.erec-renewables.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/EREC_Scenario_2040.pdf>.
541. *Rensch B.* Neuere Probleme der Abstammungslehre. Die transspezifische Evolution. Stuttgart: Enke, 1947. 407 S. / Stuttgart: Enke, 1954. 436 S. / Англ. пер.: *Evolution above the Species Level.* New York: Columbia Univ. Press, 1960. 419 p.

542. *Riedl R.* Order in Living Organisms: A System of Evolution. New York: Wiley, 1978. XX + 213 p.
543. *Rifkin J. with Howard T.* Entropy. A New World View. New York: Viking Press, 1980. XIII + 305 p.
544. *Roller D.* The Early Development of the Concepts of Temperature and Heat. Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press, 1950. IV + 106 p.
545. *Schindewolf O. H.* Erdgeschichte und Weltgeschichte // Abhandl. Akad. Wiss. u. Lit. Math.-naturwiss. Kl. Mainz. 1964. № 2. S. 53–104.
546. *Schrödinger E.* What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell. London: Cambridge Univ. Press, 1944. 91 S. / Рус. пер.: Шрёдингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: ИЛ, 1947. 147 с.
547. *Shannon C. E.* A mathematical theory of communication // Bell. Syst. Techn. J. 1948. Vol. 27. P. 379–424; Vol. 27. P. 623–657.
548. *Sheynin O. B.* On the history of the statistical method in physics // Arch. Hist. Exact. Sci. 1985. Vol. 33. P. 351–382.
549. *Shinbrot M.* Things fall apart. No one doubts the second law, but no one's proved it – yet // Sciences. 1987. May/June. P. 32–38.
550. *Simpson G. G.* The Meaning of Evolution. A Study of the History of Life and of its Significance for Man. New Haven (Conn.): Yale Univ. Press, 1949. 364 p.
551. *Smoluchowski M.* Sur le chemin moyen parcouru par les molécules d'un gaz et sur son rapport avec la théorie de la diffusion // Bull. Intern. Acad. Sci. Cracovic. 1906. P. 202–213 / Рус. пер.: Броуновское движение. М.: ОНТИ, 1936. С. 117–132.
552. *Smoluchowski M.* Experimentell nachweisbare, der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene // Phys. Ztschr. 1912. Bd. 13. S. 1069–1080 / Рус. пер.: Там же. С. 166–198.
553. *Smoluchowski M.* Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie // Göttinger Vorträge über kinetische Theorie der Materie und Elektrizität. Leipzig: Teubner, 1914. S. 89–121 / Рус. пер.: Там же. С. 199–204.
554. *Ter Haar D.* Foundations of statistical mechanics // Rev. Mod. Phys. 1955. Vol. 27. P. 289–338 / Рус. пер.: УФН. 1956. Т. 59. С. 619–671; Т. 60. С. 3–67.
555. *Thomson W. (Lord Kelvin).* On the dynamical theory of heat, with numerical results deduced from Mr. Joule's equivalent of a thermal unit, and M. Regnault's observations on steam // Trans. Roy. Soc. Edinburgh. 1851, March / *Thomson W.* Mathematical and Physical Papers. Vol. 1. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1882. P. 174–316 / Рус. пер.: Второе начало термодинамики. М.; Л.: Госгехтеориздат, 1934. С. 161–174.
556. *Thomson W. (Lord Kelvin)* // Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. 1852a. Febr. / Рус. пер.: О механическом действии лучистой теплоты или света // Там же. С. 175–179.
557. *Thomson W. (Lord Kelvin).* On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy // Proc. Roy. Soc. Edinburgh. 1852b. Vol. 3. P. 139–142 / *Thomson W.* Mathematical and Physical Papers. Vol. 1. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1882. P. 511–514 / Рус. пер.: Там же. С. 180–182.
558. *Vandel A.* La genèse du vivant. Paris: Masson, 1968. 279 p.

559. *Wehrl A.* General properties of entropy // *Rev. Mod. Phys.* 1978. Vol. 50. P. 221–260.
560. *Wicken J. S.* Information transformation in molecular evolution // *J. Theor. Biol.* 1978. Vol. 72. P. 191–204.
561. *Wicken J. S.* Thermodynamics, and Information: Extending the Darwin Program. Oxford etc.: Oxford Univ. Press, 1987. X + 243 p.
562. *Wicken J. S.* Thermodynamics, evolution, and emergence: Ingredients for a new synthesis // *Entropy, Information, and Evolution*. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1988. P. 139–169.
563. *Wigley T. M. L.* A combined mitigation/geoengineering approach to climate stabilization // *Science*. 2006. Vol. 314, № 5798. 20 October. P. 452–454.
564. *Wiley E. O., Brooks D. R.* Victims of history — A nonequilibrium approach to evolution // *Syst. Zool.* 1982. Vol. 31. P. 1–24.
565. *Wilson J. A.* Increasing entropy of biological systems // *Nature*. 1968. Vol. 219. P. 534–535.
566. *Woolhouse H. W.* Negentropy, information and feeding of organisms // *Ibid.* 1967. Vol. 213. P. 952.
567. The World Energy Outlook 2006. Maps Out a Cleaner, Cleverer and More Competitive Energy Future // International Energetic Agency. 2006. <http://www.ica.org/textbase/press/pressdetail.asp?PRESS_REL_ID=187>.
568. *Wright P. G.* Entropy and disorder // *Contemp. Phys.* 1970. Vol. 11, № 6. P. 581–588.
569. *Yockey H. P.* A calculation of the probability of spontaneous biogenetics by information theory // *J. Theor. Biol.* 1977. Vol. 67. P. 377–398.
570. *Zermelo E.* Über einen Satz der Dynamik und die mechanische Wärmetheorie // *Ann. Phys. Folge 3*. 1896a. Bd. 57. S. 485–494 / Рус. пер.: *Больцман Л.* Избр. тр. М.: Наука, 1984. С. 437–444.
571. *Zermelo E.* Über die mechanische Erklärungen irreversibler Vorgänge // *Ibid.* 1896b. Bd. 59. S. 793–801 / Рус. пер.: Там же. С. 452–458.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**керсон Б. Дж. [Ackerson R. J.]
П. 3.1.10
Алексеев В. П. П. 3.1.7
Алексеев Г. Н. 1.2, гл. 5, 6.4.2, 9.1,
П. 3.1.5
Аллен Дж. [Allen J.] П. 3.1.7
Амбарцумян В. А. П. 3.1.1
Андрюшин И. А. 1.4.2.4
Андрющенко А. И. 5.2, 5.3.1, 8.1, 8.4,
9.1–9.2
Апри В. [Henri V.] П. 3.1.7
Апсельм А. И. 5.2, 5.4, 7.2.2, 8.1
Аристотель 6.4.2
Арманд А. Д. 2.4.1
Аршавский И. А. 5.5.5, 6.4.3, П. 3.1.3
Аршинов В. И. 2.3
Аткинс П. У. [Atkins P. W.] гл. 5
Ауэрбах Ф. [Auerbach F.] 7.2.3, П. 3.1.3,
П. 3.1.7
Афанасьев В. Г. П. 3.1.3
- Б**азаров И. П. введ. 5.4, 7.5.2.2, 9.1
Байер У. [Beier W.] П. 3.1.3
Балацкий Е. 1.4.1
Барроу Дж. Д. [Barrow J. D.] П. 3.1.1
Барский В. Г. 1.4.2.4
Бауэр Э. С. [Bauer E.] 2.4.2.3, 5.5.5,
6.4.3, П. 3.1.3–4
Баумаков И. 1.4.1, 1.4.2.2
Бентли Р. [Bentley R.] П. 3.1.10
Берг Л. С. П. 3.1.7
Бергсон А. [Bergson H.] П. 3.1.3
Бердяев Н. А. П. 3.1.1
Бернштейн Н. А. П. 3.1.7
Берч Ф. 1.4.2.4
Бессо М. [Besso M.] П. 3.1.2
Бир С. [Beer St.] П. 3.1.8, П. 3.2.7
Блат Дж. М. [Blatt J. M.] 7.2.2
Блум Г. Ф. [Blum H. F.]
Блэк С. [Black S.] П. 3.1.7
Блюменфельд Л. А. П. 3.1.7
Богданов А. А. 2.4.2.2
Боголюбов Н. Н. 3.5.3, 7.2.2
Больцман Л. [Boltzmann L.] 3.5.3, 5.2,
5.5.1–2, 5.5.4, 5.5.6, 5.6, 7.2.1–2,
7.5.2.1–2, 8.5, П. 3.1.1–2, П. 3.1.4,
П. 3.2.5
Бонди Ф. [Bondi H.] 7.5.2.2
Борн М. [Born M.] 3.5.3
Братья Райт, Райт У. [Wright W.] и
Райт О. [Wright O.] 3.5.3, 10.2
Браш С. [Brush S. G.] гл. 5, П. 3.1.2
Бриан Дж. Г. [Bryan G. H.] 7.2.2
Бриллюэн Л. [Brillouin L.] 5.5.4
Брода Э. [Broda E.] 2.4.2.3, П. 3.1.3
Бродянский В. М. 5.3.1, 8.4–5
Бронн Г. [Bronn H. G.] 2.3
Брукс Д. Р. [Brooks D. R.] П. 3.1.8
Брундтланд Г. Х. [Brundtland G. X.] 2.2
Брэнсон Р. [Branson R.] 1.4.2.1
Брюн Б. 2.4.2.1, 5.3.1
Будыко М. И. 2.4.3.2
Букштайн Ф. [Bookstein F.] П. 3.1.8
Булобанн Б. В. 1.4.2.3
Бурбери С. Г. [Burbury S. H.] 7.2.2
Бюхель У. [Büchel W.] 5.5.5
- В**андель А. [Vandel A.] 2.3
Ван-Хов Л. [Van Hove L.] 3.5.3
Василькова В. В. П. 3.2.7

Велихов Е. П. 1.4.1, 1.4.2.3
 Велькип В. 1.4.2.4
 Вернадский В. И. 2.3, 2.4.2.3, 2.4.2.5,
 2.4.4.1 -2, П. 3.1.3
 Вигнер Е. [Wigner E.] П. 3.1.3
 Вишер Н. [Wiener N.] П. 3.1.3
 Винклер Р. [Winkler R.] П. 3.1.6
 Виноградов А. П. 2.4.2.3, 8.6
 Виньковецкий Я. А. П. 3.1.8
 Володько Ю. И. 6.2, 7.5.3, 10.2
 Волькенштейн М. В. П. 3.1.3–7
 Второва О. 1.4.3
 Вукалович М. П. 5.2, 9.1
 Вулхауз Г. У. [Woolhouse H. W.] П. 3.1.6

Галиахметов Р. А. 2.4.2.2
 Галилей 6.4.2
 Галимов Э. М. П. 3.1.3, П. 3.1.5–7,
 П. 3.1.9–10
 Гарбарук В. И. 1.4.2.3
 Гельмгольц Г. [Helmholtz H.] 3.5.3,
 5.3.1, 5.4, 7.2.1–2, П. 3.1.3
 Гельфер Я. М. гл. 5
 Гельхар Ф. [Gehlhar F.] 7.2.3
 Генкин И. Л. 7.5.2.2, П. 3.1.10
 Георгеску-Роеген Н.
 [Georgescu-Roegen N.] П. 3.1.8
 Георгиевский А. Б. П. 3.1.6
 Герасимов А. 1.4.3
 Гесиод П. 3.2.1
 Гиббс Дж. В. [Gibbs J. W.] введ., 5.5.1–2,
 7.2.2, П. 3.1.2, П. 3.2.5
 Гилес Дж. [Giles J.] 1.4.2.1
 Гиндилис Л. М. 1.2–3, 1.4.2.3, 2.1, гл. 4
 Гинзбург В. Л. П. 3.1.1
 Гладилин К. А. П. 3.1.7
 Гладышев Г. П. П. 3.1.4
 Гленсдорф П. [Glansdorf P.] П. 2.3,
 П. 3.1.3, П. 3.1.5, П. 3.2.1
 Глинер Э. Б. 3.5.3
 Голд Т. [Gold Th.] 7.5.2.2
 Голдин А. [Goldin A.] 1.4.2.4, 5.3.1, 10.2
 Голицын Б. Б. 7.5.3

Голубев В. С. 2.3
 Гор А. [Gore A.] 1.4.2.1
 Горшков В. Г. 1.2–3, 1.4.2.4, 2.1
 Грамматик 6.4.2
 Грант В. М. [Grant V.] 2.4.2.3, П. 3.1.6
 Гришин А. 1.4.2.2
 Грэй Р. [Gray R.] 1.4.3
 Грюнбаум А. [Grünbaum A.] П. 3.1.1
 Губип В. Б. П. 3.1.2
 Гурвич А. Г. 6.4.5
 Гурвич Л. Д. 6.4.5
 Гусев А. 1.4.1
 Гуссерль Э. [Husserl E.] 2.4.3.1
 Гухман А. А. 5.2, 5.3.1

Дайсон Ф. [Dyson F.] 1.4.2.1
 Далвиц-Вернер П. В. [Dallwitz-
 Wegner P. V.] — 7.5.2.1
 Даль В. П. 3.2.4
 Данилов-Давильян В. И. 1.4.3, 2.1–2
 Даннинг-Дэвис Дж. [Dunning-Davis J.]
 8.1
 Дарвин Ч. [Darwin Ch.] 3.5.3
 Дарвин Э. [Darwin E.] 2.3
 Девис П. [Davies P.] 6.4.5, П. 3.1.1
 Декарт Р. [Descartes R.] П. 3.1.10
 Деменева В. С. 1.4.2.4
 Демокрит П. 3.2.1
 Денбиг Дж. [Denbigh J. S.] 7.2.1, П. 3.2,
 П. 3.2.7
 Денбиг К. [Denbigh K. G.] 7.2.1, П. 2.2,
 П. 3.2, П. 3.2.7
 Дефэй Р. [Defay R.] П. 2.3
 Джинс Дж. [Jeans H.] П. 3.1.3
 Джойс Дж. [Joyce G. F.] П. 3.1.6
 Джонсон Л. [Johnson L.] П. 3.1.7
 Джоуль Дж. П. [Joule J.] 3.5.3, 6.2
 Добронравова И. С. П. 3.1.3
 Дольник В. Р. 2.4.2.3
 Дрюк М. А. П. 3.1.1, П. 3.1.3
 Дунаевский С. Н. 7.6, 8.6, 10.2
 Дутта М. [Dutta M.] гл. 5
 Дюгем П. [Duhem P.] 7.2.2

- Е**
 Егоров М. 10.2
 Елиссев Э. Н. П. 3.1.6
 Еремш Е. Н. 3.3–4, 8.1
 Еськов К. Ю. 2.4.2.3, 2.4.3.1, 2.4.4.1
- Ж**
 Жуков С. М. 7.5.3
- З**
 Завалский К. М. 2.4.2.3
 Засв Н. Е. 7.5.3, 10.2
 Заличев Н. Н. 5.5.4, П. 3.1.8
 Зарафянц М. Т. 5.3.1, 8.3
 Зарипов Р. Г. 5.5.4
 Зарич З. 1.4.2.4
 Зельдович Я. Б. 1.4.2.3, 3.5.3, П. 3.1.8
 Земцов А. Н. 1.2
 Зотин А. А. 1.2–3, 2.4.1, 2.4.2.3–5, 2.4.3.2, гл. 4, 5.5.3, П. 3.1.7
 Зотин А. И. 1.2–3, 2.4.1, 2.4.2.3–5, 2.4.3.2, гл. 4, 5.5.3, П. 3.1.3, П. 3.1.7
 Зубарев Д. Н. 7.2.2
- И**
 Ивапов В. 1.4.2.3
 Ивлев В. С. 2.4.2.3
 Иорданский Н. Н. 2.4.2.3, 2.4.3.1
- Й**
 Йоксей Г. П. [Yockey H. P.] П. 3.1.3
- К**
 Кавамура К. [Kawamura K.] 2.5
 Кавеней П. В. [Coveney P. V.] гл. 5, 7.2.2
 Кавес К. М. [Caves C. M.] П. 3.1.10
 Казютипский В. В. П. 3.1.1
 Калатухов Н. И. 2.4.2.3
 Калвервелл Э. П. [Culverwell E. P.] 7.2.2
 Кальвин М. [Calvin M.] П. 3.1.6
 Кампилов М. М. 2.4.2.5, 2.4.4.1
 Кант И. [Kant I.] П. 3.1.10
 Каратеодори К. [Caratheodory. C.] гл. 5
 Карно С. [Carnot S.] 3.3–4, 3.5.3, 5.1, 5.3.1, 5.4, 7.2.2, 8.1, 8.6, закл.
 Карташов Э. М. 6.4.2, 7.2.1, 8.4
 Катус М. 1.4.2.4
 Квасников И. А. 5.2, 5.3.1, 7.5.2.2, 8.1
 Кейлоу П. [Calow P.] 2.4.2.3
 Кемпбелл Б. [Campbell B.] П. 3.1.6
 Кёлликер А. [Kölliker A.] 2.3
 Кёниг Ф. О. [Koenig F. O.] гл. 5
 Кикоин А. К. 5.4
 Кикоин И. К. 5.4
 Ким Сен Гук 1.4.3
 Кириллин В. А. 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.6, 8.1, 9.1
 Киркгоф Г. [Kirchhoff G.] 7.2.2
 Клайн М. Дж. [Klein M. J.] гл. 5
 Клапейрон Б. П. Э. [Clapeyron B. P. E.] 8.6
 Кларк П. [Clark P.] гл. 5
 Клаузиус Р. [Clausius R.] 3.3, 5.1–2, 5.4, 5.5.3, 5.4, 5.6, 6.6, 7.2.1–2, 7.5.2.1–2, 8.2, закл.
 Кликс Ф. [Klix F.] 2.4.2.5
 Климонтович Ю. Л.
 Князева Е. Н. 2.4.3.1, 3.5.3
 Ковалев И. Ф. П. 3.1.3
 Кокурила Е. 1.4.2.1
 Колчинский Э. И. 2.4.2.3, 2.4.2.5, 2.4.4.1–2
 Комаров В. Л. П. 3.1.7
 Константинов А. В. 2.4.2.5, 2.4.4.2
 Копылов И. П. 1.4.3
 Коротаев А. В. 2.4.2.5, 2.4.4.2
 Косинов Н. В. 1.4.2.3
 Кочерова В. С. 7.5.3
 Красилов В. А. 2.4.2.3, 2.4.3.1
 Краснов А. А. 8.6
 Кричевский И. Р. 3.3, 5.4, 5.5.6, 7.5.2.2, 8.6, 9.1
 Крылов И. Н. 2.4.4.2
 Кубо Р. [Kubo R.] 3.5.3
 Кудинов В. А. 6.4.2, 7.2.1, 8.4
 Кудрин Б. И. П. 3.1.6
 Кудрявцев И. К. П. 3.1.5
 Кудрявцев П. С. гл. 5
 Кудряшева Д. 1.1
 Кульпин Э. С. 2.1
 Кун Т. [Kuhn T.] 3.5.3

- Куви Ф. М. 9.1
 Курдюмов С. П. 3.5.3
 Кутырев В. А. 2.3
- Лавелл Дж.** [Lovell J.] 1.4.2.1
 Лавенда Б. [Lavenda B. H.] 5.5.2
 Лавтруп С. [Lovtrup S.] П. 3.1.8
 Лазарев М. Ф. 7.5.2.2, 7.5.3, 10.2
 Лазарев П. П. 5.5.5, П. 3.1.3
 Лакатос И. [Lakatos I.] 3.5.3
 Ландау Л. Д. 5.3.1, 5.5.2, 5.7, 6.1–2, 7.4.1, 7.5.2, 7.5.2.1–2, 9.1, П. 3.1.2, П. 3.2.5
 Ландауэр Р. [Landauer R.] 7.2.1, П. 3.1.8
 Ландсберг П. Т. [Landsberg P. T.] П. 3.1.8, П. 3.2.5
 Лашкин В. В. 2.4.2.5
 Лаплас П. [Laplace P.] П. 3.1.10
 Левич А. П. 7.5.2.1, П. 3.1.1, П. 3.1.8
 Леле С. [Lele S.] П. 3.2.6
 Ленинджер А. Л. [Lehninger A. L.] П. 3.1.7
 Лефевр В. А. 7.5.2.2
 Лилли Р. С. [Lillie R. S.] П. 3.1.3
 Лима-де-Фариа А. [Lima-de-Faria A.] 2.3, П. 3.1.3
 Линде А. Д. 7.5.3
 Лифшиц Е. М. 5.5.2, 5.7, 6.1–2, 6.5, 7.4.1, 7.5.2.1–2, П. 3.1.2, П. 3.2.5
 Ллойд С. [Lloyd S.] 7.2.1
 Лоренц Э. [Lorenz E.] П. 3.1.5
 Логка А. [Lotka A.] П. 3.1.1
 Лошмидт Й. [Loschmidt J.] 7.2.2, 7.5.2.1
 Львов А. [Lwoff A.] 7.2.1
 Льюис Г. Н. [Lewis G. N.] П. 3.1.2–3
 Лэйзер Д. [Layzer D.] П. 3.1.8
- Майер Ю. Р.** [Mayer J. R.] 3.5.3
 Максвелл Дж. К. [Maxwell J. C.] 3.5.3, 7.2.1, 7.5.2.1
 Мак-Фарленд Д. [McFarland D. J.] 2.4.4.2, 2.5
 Мальтус Т. [Malthus Th. R.] 2.2
- Мамберггерзина Г. К. 1.4.3
 Маракушев А. А. 7.5.3
 Маргулис Л. [Margulis L.] П. 3.1.4
 Маргъшов А. В. 8.5
 Матвеев М. Н. П. 3.1.10
 Мах Э. [Mach E.] 2.4.2.2
 Медоуз Д. Л. [Meadows D. L.] 2.2
 Медоуз Д. Х. [Meadows D. H.] 2.2
 Мезенцева Л. В. гл. 5, П. 3.1.8
 Мейер О. [Meyer O. E.] 5.5.2, П. 3.2.5
 Меленко В. П. 1.1, 1.4.2.1, 1.4.3
 Месарович М. [Mesarovic M.] 2.2
 Миклиш А. М. 2.4.1
 Миллер Г. Т. мл. [Miller G. T. jr.] 2.1, П. 3.1.7
 Митчелл Дж. [Mitchell J.] П. 3.1.10
 Мозелов А. П. П. 3.1.6
 Моисеев Н. Н. 2.1, 2.3
 Молчапов А. М. П. 3.1.6
 Мюнстер А. [Münster A.] 1.4.2.4, 5.2, 9.1
- Назаретян А.** П. 2.1, 2.3, 2.4.1, 2.5, 3.1, П. 3.1.3, П. 3.1.8
 Назаров В. И. 2.4.2.3, 2.4.3.1, 3.5.3
 Найквист Г. [Nyquist H.] 5.5.4
 Натансон Л. [Natanson L.] 3.3
 Нейман Дж. фон [Neumann J. von] 5.5.1, П. 3.1.8
 Нельсон М. [Nelson M.] П. 3.1.7
 Немцев З. Ф. П. 3.1.7
 Николаев Б. 1.4.2.3
 Новиков В. Г. П. 3.2.6
 Новиков И. Д. 3.5.3, 7.5.3, П. 3.1.8
 Новиков И. И. 5.2, 8.4, 9.1
 Ноздрев В. Ф. 3.4, 5.2, 5.3.1, 6.4, 7.5.2.2, 9.1
 Нотейл Л. [Nottale L.] 2.3
 Ньюком С. [Newcomb S.] 3.5.3
 Ньютон И. [Newton I.] П. 3.1.10
- Одум Г.** [Odum H.] 2.1
 Одум Ю. (Одум Э.) [Odum Eugene] 2.1, 2.4.2.3

- Озернюк Н. Д. 2.4.2.3
 Окатов М. 5.4
 Окуль Л. Б. 6.4.5
 Онсагер Л. [Onsager L.] 3.5.3, П. 2.2
 Опарин А. И. П. 3.1.6–7
 Опарин Е. Г. 3.3, 5.1, 5.3.1, 7.5.2.1–2, 7.5.3, 7.6, 8.1, 8.6, 9.1
 Орлов И. 7.5.3, 10.2
 Осборн Г. Ф. [Osborn H. F.] 2.4.2.2, П. 3.1.7
 Оствальд В. [Ostwald W.] 2.4.2.2, 3.4, 3.5.2, 5.2, 5.3.1, 6.4, 9.1, 10.2
 Острцов И. 1.4.2.3
 Ошепков П. К. 3.3
- П**
 Пагелс Г. [Pagels H.] 7.2.1
 Панов А. Д. 2.3, 2.4.2.3
 Пантин В. И. 2.4.2.5
 Панченков А. Н. П. 3.1.8
 Папентин Ф. [Parentin F.] П. 3.1.8
 Певзнер Л. А. 1.4.2.4
 Пенроуз О. [Penrose O.] 7.5.2.2, П. 3.1.4, П. 3.1.10
 Пестель Э. [Pestel E.] 2.2
 Петров Ю. П. 7.2.1, П. 3.2, П. 3.2.7
 Печчи А. [Peccei A.] 2.2
 Пирогов Н. Н. 5.2, 5.3.1
 Планк М. [Planck M.] введ., 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.4, 5.5.2, 5.5.6, 5.7, 6.1–2, 7.2.2, 7.5.2.2, 8.1, 8.3, 9.1
 Подолинский С. А. П. 3.1.3
 Полежаев Ю. В. 1.4.1
 Полторак О. М. введ., 9.1
 Полятовский С. А. 1.4.2.4, 3.3
 Попель О. С. 1.2, 1.4.2.3–4, 3.3
 Пошлавский Р. П. 5.5.4
 Попов В. П. П. 3.2.7
 Поппер К. [Popper K.] 3.5.3, П. 3.1.1–2
 Поршнева Б. Ф. 2.4.2.3
 Пригожин И. [Prigogine I.] 2.4.2.2, 3.5.3, 5.5.2, 5.6, 7.2.2, 7.5.3, П. 2.2–3, П. 3.1.2–6, П. 3.1.9–10, П. 3.2.1, П. 3.2.6
 Пуанкаре А. [Poincaré H.] 7.2.2
- Путилов К. А. 3.4, гл. 5, 5.1–2, 5.3.1, 5.4, 5.7, 7.5.2.1–2, 8.1, 8.4, 9.1
 Пфаундлер Л. [Pfaundler L.] 5.3.1
- Р**
 Равен Х. [Raven C. P.] П. 3.2.1
 Равилаус К. [Ravilious K.] 1.4.2.1
 Радужкевич Л. В. 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.7, 6.2, 7.5.2.2
 Райт П. [Wright P. G.] П. 3.1.8, П. 3.2.7
 Ранк (Ранке) Ж. [Ranque G.] 7.5.3
 Ребане К. К. гл. 5
 Резанов И. А. 2.4.2.1, 3.3
 Рейф Ф. [Reif F.] 5.5.6, 6.6, 7.5.2.2, 8.2, 8.6
 Ренш Б. [Rensch B.] 2.4.3.1
 Ридл Р. [Riedl R.] 7.2.1
 Рифкин Дж. [Rifkin J.] 2.1, П. 3.1.7, 7.5.2.2
 Ровинский Р. Е. 1.4.2.3
 Родин С. Н. 2.4.2.3
 Роллер Д. [Roller D.] гл. 5
 Романовский Ю. М. П. 3.1.8
 Рубнер М. [Rubner M.] 2.4.2.3
 Руденко А. П. П. 3.1.6
 Румер Ю. Б. 5.2, 5.3.1
 Рыбкин М. Ш. 5.2, 5.3.1
 Рюэль Д. [Ruelle D.] П. 3.1.5
- С**
 Савельев И. В. 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.7, 9.1
 Савин А. 1.4.2.3
 Саган Д. [Sagan D.] П. 3.1.4
 Салака Х. 1.4.2.4
 Северцов А. Н. 2.4.2.3, 2.4.3.1
 Седов А. Е. П. 3.1.6
 Седов Е. А. П. 3.1.8, П. 3.1.10
 Седов Л. И. 6.2
 Селзплев А. 1.4.2.3
 Семенов А. М. 7.5.3, 9.1
 Сивухин Д. В. введ., гл. 5, 5.1–2, 7.5.2.1–2, 8.1, 9.1
 Сидоров М. А. 3.3
 Силк Дж. [Silk J.] П. 3.1.1
 Симпсон Дж. [Simpson G. G.] 2.4.3.1
 Сипай Я. Г. 3.5.3

Ситько С. П. П. 3.1.3
 Скорняков Г. В. 7.5.3, 7.6, 8.5–6, 9.1, 10.2
 Смолуховский М. [Smoluchowski M.]
 3.5.3, 7.2.1–2, П. 3.1.2
 Соболев Э. 10.2
 Соколов Е. Я. 5.3.1, 8.4–5
 Сорохтин О. Г. 1.4.3
 Спасский Б. И. гл. 5
 Спенсер Г. [Spencer H.] 2.3, П. 3.1.6
 Спиридонов Ю. С. 7.5.3
 Стенгерс И. [Stengers I.] 2.4.2.2, 3.5.3,
 5.5.2, 7.5.3, П. 3.1.2, П. 3.1.5, П. 3.1.10
 Стишов С. М. П. 3.1.8
 Страт Дж. (Рэлей) [Strutt J. (Rayleigh)]
 7.2.2
 Суворов С. Г. П. 3.1.10
 Сухонос С. И. 2.5
 Сырников Ю. П. П. 3.1.3

Такенс Ф. [Takens F.] П. 3.1.5
 Тарнижевский Б. В. 1.4.2.4
 Тейяр де Шарден П. [Teilhard de Char-
 din P.] 2.4.3.1, П. 3.1.3
 Терлецкий Я. П. П. 3.1.2
 Тер Хаар Д. [Ter Haar D.] гл. 5
 Типлер Ф. Дж. [Tipler F. J.] П. 3.1.1
 Томсон В. [Thomson W.] 3.4, 5.2, 5.3.1–2,
 5.5.3, 5.7, 6.4.2, 6.4.4, 7.2.1–2,
 7.5.2.1, 7.5.5, 8.1, 8.6, 9.1, закл.
 Тоффлер О. [Toffler Al.] 3.5.3, 10.2
 Тришчер К. С. П. 3.1.3, П. 3.1.7
 Трифонов Е. В. 6.2
 Тумапов В. Л. 1.2, 1.4.2.3–4, 3.3

Уиглей Т. М. Л. [Wigley T. M. L.]
 1.4.2.1
 Уикен Дж. [Wicken J. S.] П. 3.1.8, П. 3.2.5
 Уилей Е. О. [Wiley E. O.] П. 3.1.8
 Уилсон Дж. А. [Wilson J. A.] П. 3.1.6,
 П. 3.1.8
 Уленбек Дж. [Uhlenbeck G. E.] 7.2.2
 Умов Н. А. П. 3.1.3
 Урманцев Ю. А. П. 3.1.6

Фейнман Р. [Feynman R. P.] 5.2, 5.3.1,
 6.2, 6.4.2, 7.5.2.1, П. 3.1.1
 Фенн Дж. [Fenn J. B.] 5.3.1, 5.4, 8.1
 Ферми Э. [Fermi E.] 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.7,
 6.2, 7.5.3, 8.3, 9.1, П. 3.1.8
 Фернсайд Ф. [Fearnside Ph.] 1.4.2.1
 Фокс Р. [Fox R.] П. 3.1.7
 Фокс Х. [Fox H. L.] 1.4.2.3
 Форд Дж. [Ford J.] 7.2.2
 Форрестер Дж. [Forrester J. W.] 2.2
 Франк-Каменецкий Д. А. 7.5.2.2, П. 3.2.7
 Франклин У. С. [Franklin W. S.] П. 3.1.1
 Фраучи С. [Frautschi S.] П. 3.1.8
 Фролов А. В. 1.4.2.3
 Фукуяма Ф. [Fukuyama F.] 2.1

Хазен А. М. П. 3.1.8
 Хакен Г. [Haken H.] 7.2.2
 Хаксли Дж. [Huxley J. S.] 2.4.2.3, 2.4.3.1
 Харитонов А. С. П. 3.1.8
 Хартли Р. В. Л. [Hartley R. V. L.] 5.5.4
 Хвольсон О. Д. 3.4, 5.2, 5.3.1, 5.6, 9.1
 Хейнрих Б. [Heinrich B.] 2.4.3.1
 Хеммингсен А. Р. [Hemmingsen A. R.]
 2.4.2.3
 Хойл Г. [Hoyle F.] 7.5.2.2
 Холм Р. [Holm R. W.] 2.4.3.2
 Хорф Э. [Horf E.] 3.5.3

Царев Е. П. 2.4.2.3, 2.4.2.5, 2.4.4.2
 Цветков А. В. П. 3.1.7
 Цермело Э. [Zermelo E.] 7.2.2, П. 3.1.2
 Циолковский К. Э. 3.3, 7.5.2.1 2, 5.2,
 5.3.1
 Цицин Ф. А. 5.5.6, П. 3.1.8, П. 3.1.10

Чайковский Ю. В. 2.4.3.2, 3.5.3
 Чайтин Г. Дж. [Chaitin G. J.] П. 3.1.8
 Чейсон Э. [Chaisson E.] 2.1, 2.3
 Чемберс Р. [Chambers R.] 2.3
 Чернянский Д. С. 5.5.4, П. 3.1.8
 Черникова И. В. 2.3, П. 3.1.6

- Чернов Ю. И. 2.4.4.1
Черносвитов П. Ю. П. 3.1.8
Чо С. [Choh S. T.] 7.2.2
- Ш**абельников В. К. 2.4.4.2
Шамбадаль П. [Chambadal P.] 5.3.1, 5.4, 8.3, 8.5, П. 3.1.3, П. 3.1.7
Шаповалов В. И. П. 3.1.3, П. 3.1.5
Шварц С. С. 2.4.2.3, 2.4.3.2
Шейнин О. Б. Sheynin O. B. гл. 5
Шелепин Л. А. П. 3.1.5
Шеннон К. [Shannon C. E.] 5.5.4
Шинброт М. [Shinbrot M.] П. 3.1.3
Шиндевольф О. [Schindewolf O. H.] 2.3
Шкловский И. С. 1.3
Шмальгаузен И. И. 2.4.2.3, П. 3.1.7
Шмидт-Ниельсен К. [Schmidt-Nielsen K.] 2.4.2.3
Шпильрайн Э. Э. 7.5.3, 9.1
Шрёдингер Э. [Schrödinger E.] П. 3.1.4, П. 3.2.8
Штеренберг М. И. гл. 5, П. 3.1.8, П. 3.1.0, П. 3.2.7
Шубников А. В. П. 3.1.6
- Шумейкин С. А. 1.4.2.4
Шустер П. [Schuster P.] П. 3.1.6
- Щ**еголев И. Ф. 3.4, 6.2, 7.5.3, 8.4
- Э**йген М. [Eigen M.] П. 3.1.6
Эйнштейн А. [Einstein A.] 3.5.3, 5.5.2, 6.4.5, 7.2.2, 8.5, П. 3.1.2
Эльзассер У. М. [Elsasser W. M.] 5.5.5, П. 3.1.3
Энгельс Ф. [Engels F.] 6.4.2
Эренфест Р. [Ehrenfest P.] 7.2.2, 7.5.2.1
Эренфест Т. А. [Ehrenfest T.] 5.1, 7.2.2
Эрлих П. [Erlich P. R.] 2.4.3.2
- Ю**гай Г. А. 2.4.3.2, П. 3.1.7
Юнг Т. [Young Th.] 6.4.2
- Я**ковлев В. Ф. 5.2, 7.5.2.1
Янч Э. [Jantsch E.] 2.3, 2.4.3.1, П. 3.1.4, П. 3.1.7
Яухо П. [Jauho P.] 5.5.6

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ *

Автопоэтические системы — 2.4.3.1, П. 3.1.4

Адиабатические процессы/системы — гл. 5, 6.1–2, 8.3–6, П. 3.1.8, П. 3.2.7

Бернулли уравнение — 6.2, 7.5.3, 10.2

Биоцентризм — 2.1, 2.5

Брюссельская школа термодинамики — 5.6, П. 3.1.5, П. 3.1.9

Бюраканская концепция — П. 3.1.1, П. 3.2.1

Вакуум физический — 1.4.2.3, 3.4, 3.5.3, 10.1

Вектор эволюции — пред., введ., 1.4, гл. 2, 2.4, 2.4.1–2, 2.4.2.3–4, 2.4.3.1, 2.4.4, 2.5, 3.2, гл. 4, 6.4.1, 6.4.6, 7.5.2.2, 7.5.5, гл. 10, П. 3.1.3–4, П. 3.1.8

Ветровые энергоустановки — 1.4.2.4, 1.4.4, 3.2–3, 10.1, 7.5.3, 10.2

Ветряк Орлова и др. — 10.2

Вечные двигатели 1-го рода — 3.4, 3.5.2–3, 9.1–2

— 2-го рода — пред., введ., 1.4.4, гл. 3, 3.3–5, 3.5.1–4, гл. 4, гл. 5, 5.1, 5.3.1, 5.7, 6.1, 7.5.1, 7.5.3–4, 7.6, 8.1, гл. 9, 9.1–2, гл. 10, 10.1–2, закл.

— — — — — разные определения/формулировки запрета в литературе 9.1–2

Водородная энергетика — 1.4.2.3, 1.4.4

Возобновляемые источники энергии (недостатки) — 1.4.2.4, 1.4.4, 10.1

Время vs. энтропия — П. 3.1.1

— как фундаментальная сущность — П. 3.1.1

Второго начала термодинамики концепты — гл. 5, 5.1–3, 5.3.1–2, 5.4, 5.6, 6.3, 7.5.2.1, 7.5.5, 7.6, 8.6, П. 3.1, П. 3.1.3

— — — — — разные формулировки в литературе — введ., гл. 5, 5.2, 5.3.1, 5.4, 5.6, 6.1, 8.1, 9.1

Гальванический элемент — 7.5.3–4

Гамильтона уравнения — 7.2.2

Геотермальные энергоустановки — 1.4.2.4, 3.2–3

Гидрат метана как перспективное топливо — 1.4.2.3, 1.4.4, 10.1

Гидротермальные энергоустановки — введ., 1.4.2.4, 1.4.4, 3.2–4, гл. 4, 9.1–2, 10.1, закл.

Глобальное потепление как реальность — введ., 1.1–3, 1.4.1, 1.4.2.1, 1.4.3–4, 3.2

Закон возрастания энтропии — введ., 3.5.2–3, 5.1, 5.5.3, 5.6, 6.1, 6.3, 6.4.4, 6.4.6, 7.2, 7.2.1–3, 7.5.2.2, 7.5.5, закл., П. 3, П. 3.1, П. 3.1.1–5, П. 3.1.7–8, П. 3.1.10, П. 3.2.1–2, П. 3.2.4, П. 3.2.6

* В указателях ссылки даются по номеру разделов и глав. Если в разделе или главе имеются подразделы, а указывается, тем не менее, раздел или глава, то имеется в виду преамбула к нему или к ней или заголовок его или ее.

- Расширение газа изотермическое** (с полным превращением тепла в работу) — 5.7, 6.2, 7.5.3–4, 8.3
— — в пустоту — 6.2, 7.5.3, 8.5, 10.2, закл.
- Римский клуб как генератор тревоги мирового сообщества в отношении глобального экологического кризиса** — 2.2
- Солнечные энергосистемы** — 1.4.2.4, 1.4.4, 3.2–3, 8.5
- Тенденция (не закон) к рассеянию тепла на Земле** — 1.4.4, 3.2, 3.4, гл. 4, разд. 5.3.1–2, 6.1, 7.2, 7.5.5
- Теорема Пригожина** — П. 2.3, П. 3.1.3, П. 3.1.6, П. 3.1.9
- «Тепловая смерть» Вселенной** — введ., 1.2, 5.6, 7.2, 7.2.1, 7.5.2.2, П. 3.1.1–3, П. 3.1.10, П. 3.2.8
— — на Земле — введ., гл. 1, 1.2–4, 1.4.2.1, 1.4.4, 2.1, 2.5, гл. 3, 3.2, 3.5.1, гл. 4, 6.4.2, гл. 10, 10.2, закл., П. 3.1.1
- Тепловое загрязнение среды как угроза существованию человечества** — введ., гл. 1, 1.2–4, 1.4.1, 1.4.2.3, 1.4.4, 2.4.2.4, 2.5, гл. 3, гл. 4, 10.1
- Тепловой энергии специфичность** — введ., 3.4, 5.1, 5.3.2, 6.3, 7.5.5, 7.6
- Тепловые барьеры в эволюции органического мира и человечества** — 1.2, 2.4.2.4, 2.5, 3.3, гл. 4
- Тепловые насосы** — введ., 1.4.2.4, 1.4.4, 3.2–4, гл. 4, 5.3.1, 8.6, 9.1–2, 10.1, закл.
- Термокинетический принцип** — 7.2.2
- Термоциклическая энергетика (энергетика, построенная на круговороте тепла)** — пред., введ., гл. 3, 3.2–3, гл. 4, 9.2, гл. 10, 10.1, закл.
- Топливные элементы** — 1.4.2.3, 1.4.4, 10.1
- Универсальная/глобальная эволюция (Big History)** — пред., введ., 1.4, 2.3, 2.4, 2.4.1, 2.5, гл. 3, 3.1, гл. 4, 6.4, 6.4.1, 6.4.6, П. 3.1.6–8, П. 3.2.2
- Устойчивое развитие** — 2.2, гл. 3, 3.1
- «Фабрики холода»** — введ., 3.2–3, гл. 4, 9.2, гл. 10, 10.1–2
— — классического типа (с КПД, ограниченным КПД Карно) — 10.1
— — с КПД, не ограниченным КПД Карно (вечные двигатели 2-го рода) — 10.2
- «Физическая» (в сторону упрощения) эволюция vs. наблюдаемая (в сторону усложнения) эволюция** — 7.2.1, прил. 3, П. 3.2.8
- Флуктуационная гипотеза** — 7.2.1–2, 7.5.2.2, П. 3.1.1–2
- Фрактальность науки** — 3.5.3
- Фундаментальные сущности** — 5.3.3, 6.4.1, 7.2.3, П. 3.1.1
- Шрёдингера уравнение как частный случай квантового уравнения Лиувилля** — 7.2.2
- Эволюционное усложнение** — пред., 6.4.4, 7.2.1
- Эволюционный принцип минимакса (максимина)** — 2.4.3, 2.4.3.1–2, 2.4.4.1–2, 2.5
- Энергетизм (здоровая основа концепции)** — 2.4.2.2
- «Энергетическое» направление в теории эволюции («энергетизм»)** — 2.4.2, 2.4.2.1–5, 2.4.3.2, 2.4.4, 2.4.4.1–2
- Энергия как мера количества взаимодействий** — 1.2
— полная — 6.1, 6.4, 6.5, 7.2.1, 7.2.3, 7.5.5, П. 2.1

- структурная — 6.4.3
- тепловая — 1.2, 3.4, 5.3.2, 6.6, 7.2.1, 7.5.5, П. 3.1.3, П. 3.2.5
- Энергосбережение — 1.4.2.2, 2.4.3.1–2, 2.5, 10.1
- Энергоустановки, использующие энергию морских волн — 1.4.2.4, 1.4.4, 10.1
- Энергоустановки на биомассе 1.4.2.4, 1.4.4, 10.1
- «Энтропийный насос» — П. 3.1.6, П. 3.1.8
- Энтропийный/неэнтропийный принцип информации — 5.5.4, П. 3.1.8
- Энтропия Больцмана статистическая (1) — 5.5.1–2, 5.5.4, 5.5.6, 6.1, 6.5, 7.2.3
 - Больцмана статистическая (2) (принцип Больцмана) — 5.5.2, 5.5.4, 5.5.6, 6.1, 6.5, 7.2.3, П. 3.1.8
 - Гиббса статистическая — 5.5.1 2, 5.5.4, 5.5.6, 6.1, 6.5
 - информационная — 5.5.4–5, 6.1, П. 3.1.8, П. 3.2.7
 - как мера беспорядка (ошибочность такой трактовки применительно к реальным системам) — пред., введ., 5.5.3–4, 6.4.4, 7.2.1, прил. 3, П. 3.1, П. 3.1.4–5, П. 3.1.7–10, П. 3.2, П. 3.2.1–8
 - квантовая — 5.5.1, П. 3.2.5
 - полная (как энтропия распределения плотности потока полной энергии) — пред., введ., 3.3–4, 5.1–2, 5.3.1–2, 5.5.5–6, 5.6–7, гл. 6, 6.1–3, 6.4, 6.4.6, 6.5–6, гл. 7, 7.1–2, 7.2.1, 7.2.3, 7.3, 7.5.1, 7.5.2.1, 7.5.4–5, 7.6, 8.2, 8.6, 9.2, закл., П. 3.1, П. 3.1.3, П. 3.1.8, П. 3.2.5
 - структурная — 5.5.5, 6.1, П. 3.1.3, П. 3.1.8
 - тепловая как энтропия распределения плотности потока тепловой энергии — 6.6, 7.2.1, 7.2.3, 7.3, 7.4.1, 7.5.3–5, 7.6, П. 3.2.5
 - тепловая Клаузиуса — введ., 3.2, 5.5.3, 5.4, 5.5.6, 6.1, 6.6, 7.2.3, 7.4.2, 7.5.3, 8.2