

Основанный на старых идеях Фридриха Энгельса  
новый взгляд на проблему тепловой смерти вселенной

В.Н.Игнатович

7.

В первой части нашего сообщения на основе анализа некоторых работ Фридриха Энгельса было высказано предположение о том, что гипотеза тепловой смерти вселенной есть логически необходимое заключение из ряда ложных положений термодинамики, касающихся закономерностей превращений форм движения (энергии). На основе сопоставления идей Энгельса и представлений классической термодинамики сделано заключение о том, что для доказательства обоснованности гипотезы тепловой смерти вселенной в формулировке о неизбежности грядущего превращения всех видов энергии в тепловую необходимо окончательно опровергнуть противоречащие идеям Энгельса устаревшие представления термодинамики о превращении форм движения, в частности, представление о «второсортности» тепловой энергии.

Однако выполнение этой задачи не решит окончательно проблему тепловой смерти вселенной, поскольку многие авторы, не упоминая о превращениях энергии, утверждали, что из второго начала термодинамики или одной из его формулировок — закона возрастания энтропии — следуют выводы:

(I) об одностороннем (в определенном направлении) изменении (эволюции) вселенной (мира в целом) [7-13];

(II) о нарастании во вселенной хаоса, беспорядка [14-17];

(III) о стремлении вселенной к некоторому предельному состоянию [7, 8, 18, 19];

(IV) о стремлении вселенной к тепловой смерти [20, 21];

(V) о неизбежности тепловой смерти вселенной [17, с.22; 22, с.351];

(VI) о том, что вселенная существует конечное время [11, с.700-701; 17, с.22; 23].

Подчеркнем, что диалектическому материализму противоречат не только положения (II)-(VI), но и заключение о какой бы то ни было эволюции вселенной. Согласно Энгельсу и его последователям, «вся природа движется в вечном потоке и круговороте» [1, с.354]; «материя во всех своих превращениях остается вечно одной и той же» [1, с.363]; «взятая в целом, материя не развивается» [24]; «материя неисторична» [25] (см. также [1, с.354-363, с.599-600; 2, с.46-65]). Это обстоятельство многими авторами упускается из виду. Более того, начиная с 60-х г.г., представления об изменении (эволюции) вселенной в целом некоторые советские философы преподносили как окончательные истины (см. например [12, 13, 26]).

Подчеркнем также, что утверждения, будто положения (I)-(VI) следуют из каких-то физических законов, диалектического материалиста могут заставить усомниться не в истинности диалектического материализма, а в истинности тех законов, которые называются основаниями для заключений (I)-(VI). Еще больше сомнений должны вызвать те рассуждения, в которых на основе законов фи-

зики получаются ложные выводы. Поэтому попытаемся выяснить, действительно ли на основе второго закона термодинамики или одной из его формулировок — закона возрастания энтропии — возможно выведение положений (I)-(VI)?

8.

Занимаясь исследованием выводимости ложных заключений из второго начала термодинамики, необходимо учитывать, что это начало состоит из двух частей, «представляет собой в сущности совокупность ряда положений, относящихся, во-первых, к состояниям равновесия, и, во-вторых, к процессам, происходящим в физических системах» [27, с.47] (см. также [22, с.106-107; 28, с.3; 29, с.41-42; 30, с.129-214; 31, с.58]).

Первая часть, относящаяся к состояниям равновесия физических систем (или равновесным (квазистатическим) процессам — непрерывным последовательностям равновесных состояний [31, с.30-34; 32, с.23-24; 33, с.45-46]), представляет собой теорему (у некоторых авторов — принцип) существования энтропии, согласно которой величина  $\delta Q/T$  (где  $\delta Q$  — бесконечно малое количество теплоты, сообщаемой термодинамической системе в равновесном процессе;  $T$  — температура системы, измеренная в термодинамической шкале температуры) является полным дифференциалом функции, зависящей только от параметров состояния системы (т.е. функции состояния системы) — энтропии  $S$ :

$$dS = \delta Q/T \quad (1)$$

(см. например [31, с.58; 32, с.57-58; 33, с.128; 34, с.143, 156-157; 35, с.31; 36, с.904]). Другими словами: для любой равновесной термодинамической системы (а) существует функция состояния  $S$ , определяемая уравнением (1); (б) температура  $T$  является интегрирующим делителем для  $\delta Q$  [29, с.48; 35, с.32]; (в)  $1/T$  является интегрирующим множителем для  $\delta Q$  [27, с.64; 37, с.86-88]. То, что функция  $S$ , определяемая уравнением (1), является функцией состояния, можно выразить и в такой форме: для любого равновесного кругового процесса, совершаемого любой термодинамической системой

$$\oint \delta Q/T = 0. \quad (2)$$

(см. например [27, с.66; 29, с.47; 32, с.58; 34, с.142, 155; 35, с.31; 36, с.904]). Формула (2), записанная для цикла Карно [36, с.244; 38, с.62-64; 39, с.184-186], эквивалентна теореме Карно [34, с.126-138; 35, с.22-27; 39, с.189-191].

Следствием (1) и первого начала термодинамики является обобщенное уравнение Клапейрона-Клаузиуса [27, с.68; 35, с.36-39; 38, с.125-126]:

$$(\partial U/\partial x_i)_T + A_i = T(\partial A_i/\partial T)_{x_i}, \quad (3)$$

где  $U$  — внутренняя энергия системы,  $A_i$  — обобщенная сила (например давление, электродвижущая сила (ЭДС) электрохимической системы),  $x_i$  — обобщенная координата состояния (объем, электрический заряд и т.п.).

На основе принципа существования энтропии в тер-

Окончание. Начало в №3 за 1997 г.

модинамике получают множество соотношений (формулы), связывающих параметры систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, в том числе уравнение Клапейрона-Клаузиуса, закон действующих масс, закон Стефана-Больцмана и множество других (см. например [18, с.337-339; 27, с.65-115; 31, с.128-129; 32, с.99-117, с.178-222; 35, с.32-54; 38, с.106-126; 40]). В методе циклов (круговых процессов) используют уравнение (2), в методе термодинамических потенциалов (методе характеристических функций) используют уравнение (1) [32, с.99-118] либо уравнение (3).

Трудно переоценить роль принципа существования энтропии в термодинамике. «Все соотношения, имеющие характер равенств (а таких сотни миллионов [41, с.200].- И.В.), выводимые из второго начала термодинамики, используют лишь одно свойство энтропии — ее бесконечно малое приращение является полным дифференциалом» [33, с.139], т.е. выводятся на основе уравнения (1). Эти уравнения получаются путем математического вывода из исходных формул и являются истинными в той мере, в которой истинными являются исходные формулы. Многие следствия принципа существования энтропии неоднократно подтверждены экспериментально. Кроме того, Л.Больцман (см. например [18, с.89-99]) и другие авторы вывели уравнение (1), основываясь на молекулярно-кинетической теории. Поэтому можно утверждать, что истинность второго начала термодинамики для равновесных систем была доказана и практически, и теоретически.

При этом, поскольку принцип существования энтропии относится к равновесным системам, на его основе невозможно вывести никакого заключения о будущем не только бесконечной вселенной, но и о любой конечной изменяющейся системы. Нельзя основывать прогнозы на уравнениях, в которые время не входит. Поэтому абсолютно ложным является утверждение, будто «из Второго начала термодинамики следует, что со временем наступит «смерть» вселенной» [17, с.22]. Та часть второго начала термодинамики, с использованием которой выводят все применяемые в практике уравнения, не может служить основанием для такого вывода.

Иначе обстоит дело со вторым законом термодинамики для неравновесных процессов, к которым относятся все процессы, протекающие в природе. Этот закон тоже является теоремой и имеет ряд формулировок. В их числе закон (принцип) возрастания энтропии: «Энтропия изолированной системы при наличии в ней неравновесных процессов всегда возрастает» [31, с.64] (см. также [27, с.125-128; 29, с.52-54; 33, с.131-133; 35, с.55-56; 38, с.78-79]).

Ссылаясь на то, что вселенная, мир является изолированной системой, некоторые авторы на основе закона возрастания энтропии делают заключения: «энтропия всей вселенной не может убывать» [35, с.56] (см. также [9]); «энтропия мира (вселенной) стремится к максимуму» (см. например [7, с.44; 16, с.172; 42, с.112-114]). Эти формулировки послужили поводом для заключения о стремлении вселенной к равновесию, которое неоднократно критиковалось. Однако критика этого заключения была неубедительной, поскольку у авторов, критиковавших гипотезу тепловой смерти вселенной нет единого мнения о том, следует ли из закона возрастания энтропии вывод о тепловой смерти вселенной или нет (см. [11-13; 20; 22, с.351]). У современных авторов можно прочитать: «... «энтропия Вселенной возрастает». Из этого утверждения следует, что Вселенная движется к «тепловой смерти». Это, однако, не согласуется с наблюдениями над Вселенной в ее современном состоянии...» [20] (см. также [9]). Между тем, сегодня несложно показать необоснованность положения о стремлении энтропии вселенной к максимуму, послужившего поводом для гипотезы тепловой смерти вселенной.

9.

Прежде всего заметим: как «нельзя сказать, что абстрактная форма кризиса есть причина кризиса» [4], так нельзя сказать, что стремление энтропии изолированной системы к максимуму является причиной ее стремления к равновесию. Поведение энтропии — физической величины, некоторой абстракции — может, в лучшем случае, отражать поведение физических объектов. Прежде чем говорить о стремлении энтропии вселенной (или любой изолированной системы) к максимуму, необходимо по меньшей мере доказать, что данная изолированная система стремится к равновесию.

В современных курсах термодинамики приводится постулат, который называется «общее начало термодинамики» [32, с.17; 33, с.16], «первый, или основной, постулат термодинамики» [32, с.17], «принцип самонарушимости равновесного состояния системы» [43, с.13], «постулат о термодинамическом равновесии» [44, с.19]. Этот постулат основывается непосредственно на опытных данных, т.е. доказывается путем индукции, и гласит: «изолированная макроскопическая система с течением времени приходит в состояние термодинамического равновесия» [32, с.17]. Некоторые авторы (см. например [22, с.14; 27, с.22; 31, с.8]) приводят этот постулат без названия. В сочетании с теоремой о возрастании энтропии общее начало термодинамики позволяет сделать заключение: энтропия изолированной системы стремится к максимуму. Сама же теорема о возрастании энтропии утверждает только то, что энтропия изолированной системы возрастает.

Как указывал М.А.Леонтович, «экстраполяция основного положения о том, что ограниченная система с течением времени приходит в состояние равновесия, ...порождала выводы довольно спекулятивного свойства о тепловой смерти вселенной. Следует заметить, что эти выводы получаются непосредственно как результат распространения на вселенную одного этого положения, а вовсе не из каких-либо специальных математических формулировок термодинамики, связанных с существованием энтропии» [27, с.134]. «Действительно, этот вывод (о тепловой смерти.- И.В.), есть не что иное, как общее (а не второе, как полагают многие, - И.В.) начало термодинамики, распространенное на всю Вселенную» [33, с.136]. Если исходить только из теоремы о возрастании энтропии, то «можно лишь сказать, что если бы когда-либо должна была наступить «тепловая смерть» (состояние равновесия) мира, и еще раньше существовало бы — менее стабильное — состояние равновесия, то новое состояние должно было бы обладать большим значением энтропии, чем прежнее состояние» [37, с.137]. Тот, кто в наше время на основе формулировки «Энтропия изолированной системы стремится к максимуму» выводит заключение о стремлении вселенной к равновесию, совершает логическую ошибку «предвосхищенное основание».

Основываясь на общем начале термодинамики, можно было бы заключить: поскольку все неравновесные изолированные системы со временем переходят в равновесие, вселенная как изолированная неравновесная система тоже перейдет в равновесие. Несложно, однако, показать несостоятельность такого — индуктивного — вывода, причем без привлечения тезиса о бесконечности вселенной. Достаточно указать, что изоляция какой-нибудь звезды закончится не установлением равновесия, а небольшим космическим взрывом (если изолирующая оболочка окажется достаточно прочной).

Следует заметить, что постулат о стремлении всякой изолированной системы к равновесию не имеет ничего общего с известным положением материалистической диалектики о преходящести всех конечных форм материи, которое Энгельс выразил словами: «все, что возникает, заслуживает гибели» [1, с.359]. Это положение является безусловно истинным и относится ко всем конечным

материальным системам, гибель которых является закономерным финалом их естественного развития. А об общем начале можно сказать, что оно «предвещает смерть от тюремного заключения» (см. [41, с.258]), т.е. насильственную, неестественную смерть. Вряд ли такое положение уместно провозглашать одним из основных постулатов физической теории. Постулатов, подобных общему началу, нет ни в статике, ни в гидростатике, ни в электростатике. Думается, термодинамика равновесных процессов (термостатика) стала бы строже, если бы вместо общего начала содержала утверждение, что ее предметом являются термодинамические системы, находящиеся в равновесии. (Ср. [32, с.15; 37, с.33]).

10.

Ряд авторов формулирует закон возрастания энтропии как утверждение о всеобщем свойстве природных процессов. «Всякий происходящий в природе физический или химический процесс протекает так, что увеличивается сумма энтропий всех тел, принимающих в процессе какое-нибудь участие. В предельном случае, для обратимых процессов, сумма эта остается неизменной. Это и есть общее выражение второго начала» [42, с.111] (см. также [45, с.37; 46, с.54]). Утверждают, что второе начало термодинамики «дает ответ на вопрос о направлении протекающих в природе процессов» [42, с.87] (см. также [29, с.53-54; 33, с.88; 39, с.175]). «Сущность второго закона состоит в том, что все многообразие наблюдаемых в мире с течением времени изменений может быть всегда истолковано при помощи одной-единственной функции. Эти изменения отражаются, как в зеркале, возрастанием энтропии» [47]. (См. также [18].)

Эти формулировки могут служить поводом для заключения об эволюции вселенной: если возрастание энтропии во всех процессах означает изменения одного рода, то вселенная в целом изменяется. (Аналогично: если во всех природных процессах происходит образование тепла, то вселенная в целом движется к состоянию тепловой смерти.) Избегать вывода об эволюции вселенной можно, если показать, что существуют природные процессы, в которых энтропия убывает, причем не менее масштабные, чем процессы, ведущие к возрастанию энтропии. Поиск таких процессов может быть одним из направлений решения проблемы тепловой смерти вселенной. Неоснованным является утверждение: «Попытки найти некие антиэнтропийные процессы, протекающие в нарушение второго начала, — это не путь научно-материалистической критики «теории» тепловой смерти» [48, с.132], тем более, что в физической литературе имеются публикации, в которых отрицается всеобщность закона возрастания энтропии.

Так, 10 мая 1953г. в отзыве на работу «Закон концентрации энергии — фундаментальный закон природы» А.А.Гухман писал: «Принцип возрастания энтропии, который утверждает увеличение энтропии совокупности тел, охватываемых любым реальным процессом (и, следовательно, устанавливающий неизбежность рассеяния, «деконцентрации» энергии), отнюдь не является универсальным законом природы. Широко распространенное понимание этого принципа как некоего мирового закона, стоящего рядом с законом сохранения и превращения энергии и его дополняющего, неправильно. Для такого понимания нет никаких рациональных физических основ. Оно коренным образом противоречит материалистическому мировоззрению и в своем логическом развитии приводит к фидеизму» (цит. по [49, с.213]). Не следует думать, будто это высказывание было обусловлено засильем диалектического материализма в 1953 г. Спустя 33 года тот же автор в монографии «Об основаниях термодинамики» изложил оригинальную систему построения основ термодинамики и подчеркнул: «Для этой системы принцип возрастания энтропии отнюдь не имеет основополагающего

значения — по отношению к ней он является независимым условием, которое принимается дополнительно для определения одной из двух альтернатив, в равной мере с ней совместимых. В рамках наших представлений никакие априорные (обусловленные общими принципиальными соображениями) суждения о направлении развития реальных процессов невозможны; вопрос этот решается непосредственно обращением к опыту» [22, с.377-378] (см. там же, с.344-345, с.368).

Касаясь проблемы тепловой смерти вселенной, А.А.Гухман утверждал: «Принципиальная позиция оппонентов Клаузиуса определялась стремлением опровергнуть идею «тепловой смерти» без какого-либо нарушения системы его термодинамических взглядов. Известная противоречивость этой позиции видна непосредственно. Мысль об односторонней направленности всех процессов природы, пронизывающая термодинамику Клаузиуса и выраженная в форме принципа возрастания энтропии, логически необходимо приводит к заключению о неизбежности тепловой смерти мира» [22, с.351]. Из этого следует, что для устранения вывода о тепловой смерти мира необходимо подвергнуть критике закон возрастания энтропии в природных процессах.

По мнению А.И.Вейника, «представление о вселенной, которая в целом подчинена закону возрастания энтропии и во всех своих частях во все времена развивается в одном и том же направлении, глубоко неверно... Закон возрастания энтропии может существовать рядом с законом сохранения энергии только при том условии, если он понимается как принцип, пусть весьма широкий, но безусловно ограниченный... Это — частная закономерность, справедливая при определенных физических условиях. В других условиях должен быть справедлив прямо противоположный принцип — принцип убывания энтропии» [50, с.139]. Возражения против всеобщности закона возрастания энтропии высказывали и другие авторы (см. например [10; 31, с.71; 39, с.202; 43, с.73; 51, с.105]).

В 1956 г. А.И.Вейник писал: «Итак, задача заключается в том, чтобы определить специфические особенности той физической обстановки, в которой справедлив тот или иной принцип (т.е. принцип возрастания или принцип убывания энтропии), и выяснить условия, при которых один из них переходит в другой. Эта задача, для решения которой современный уровень физических знаний еще недостаточен, далеко выходит за пределы термодинамики» [50, с.139].

Как сегодня обстоит дело с решением этой задачи? Похоже, очень плохо. В 1986 г. А.А.Гухман написал лишь о том, что «вполне возможна термодинамика пока недоступных нашему опыту явлений, подчиняющихся принципу убывания энтропии» [22, с.71]. Так же неопределенно высказываются авторы [31, 39, 43]. А если, по мнению автора курса термодинамики, с уменьшением энтропии происходит «образование новых звезд, а также звездных ассоциаций» [51, с.105] (см. также [10]), то авторитетные астрофизики утверждают, что «образование звезд и галактик из равномерно распределенного вещества происходит с ростом энтропии» [11, с.689]. Анализ литературы показывает, что «попытки как-то ограничить действие закона возрастания энтропии сегодня становятся все более редкими» [52, с.311]. В этой ситуации отрицать заключение об эволюции вселенной можно только в том случае, если показать, что это заключение не находится в логической связи с законом возрастания энтропии. Таковую возможность нельзя исключать.

Дело в том, что заключение об эволюции вселенной — это не логическое следствие, а интерпретация всеобщего закона возрастания энтропии в природных процессах, которая может быть и некорректной. Чтобы выяснить, действительно ли возрастание энтропии во всех случаях

означает изменение одного рода и может служить основанием для заключения об эволюции вселенной, проанализируем содержание понятия энтропии и закона возрастания энтропии.

11.

Прежде всего заметим, что функция, именуемая энтропией  $S$ , которая определяется на основе формулы (1), существует только для равновесных систем и не существует для неравновесных (в том числе всех природных) систем. Определяя энтропию на основе формулы (1), нельзя говорить о ее изменении в неравновесном процессе, как нельзя говорить о возрастании на отрезке  $x=[0,1]$  функции  $y(x)$ , такой, что  $y=0$ , если  $x<0$ ;  $y=1$ , если  $x>1$ . Без определения энтропии системы, в которой протекают неравновесные процессы, утверждение о возрастании энтропии такой системы является бессмысленной фразой. Поэтому в более строгой формулировке теоремы о возрастании энтропии ничего не говорится об изменении энтропии в течение процесса: «для любого процесса, происходящего в изолированной системе, энтропия конечного состояния никогда не может быть меньше энтропии начального состояния» [53, с.54]. Разумеется, на основе такой формулировки невозможно сделать заключение об эволюции вселенной. (См. также приведенное выше высказывание Ван-дер-Ваальса и Констамма [37, с.137] об энтропии вселенной).

Энтропия, определяемая формулой (1), не существует также у систем, в которых процессы не протекают, однако имеются части с различными значениями интенсивных параметров, к примеру, у термически неоднородных систем (различные части которых имеют различную температуру) [28, с.17-18; 32, с.305-306]. Энтропию таких систем определяют как сумму энтропий их равновесных частей  $S_i$ :

$$S = \sum S_i \quad (4)$$

(см. [27, с.118-123; 33, с.133-136]). Соответственно, энтропию термически неоднородной системы определяют как сумму энтропий ее термически однородных частей [27, с.123; 28, с.19; 32, с.306].

Формула (4) не следует из формулы (1). Она не противоречит формуле (1), поскольку вводится для систем, к которым формула (1) неприменима. Поэтому нет формальных оснований для отрицания формулы (4). Нельзя также сказать, что формула (4) — ложная. Но в ней не больше смысла, чем в определении **синуса треугольника** как суммы синусов трех его углов или в определении **площади прямоугольного параллелепипеда** как произведения его длины, ширины и высоты. Равновесная и неравновесная энтропии — это функции разного рода. Нельзя производить какие-либо расчеты параметров системы, подставляя энтропию неравновесного состояния в формулы равновесной термодинамики. Формулы, содержащие равновесную и неравновесную энтропии, следует интерпретировать по-разному.

Возрастание равновесной энтропии, определяемой формулой (1), означает, что равновесная система получает теплоту извне ( $\delta Q > 0$ ). Уменьшение равновесной энтропии означает, что система отдает теплоту ( $\delta Q < 0$ ). Если в ходе процесса энтропия равновесной системы остается постоянной ( $dS=0$ ), то процесс является адиабатическим (протекает без обмена теплотой с окружающей средой) ( $\delta Q=0$ ). Если равновесный процесс является адиабатическим ( $\delta Q=0$ ), то энтропия остается постоянной ( $dS=0$ ).

В отличие от равновесной, неравновесная энтропия может возрастать в адиабатических процессах. Обычно пишут, что энтропия возрастает при протекании необратимых либо неравновесных процессов, называя в качестве таковых процессы образования тепла путем трения, переноса теплоты между телами различной температуры (выравнивание температур тел), расширения газов в пу-

тоту и смешение газов, а также любые процессы, которые сопровождаются указанными (см. например [31, с.59-61; 32, с.54-55; 38, с.73; 42, с.91-93]). Абстрактная формулировка «неравновесная энтропия некоторой изолированной (адиабатно изолированной) системы возрастает» означает: в данной системе происходит по меньшей мере один из следующих процессов: образование тепла при трении, перенос теплоты между телами различной температуры, расширение газа в пустоту, смешение газов. Если бы энтропия вселенной определялась формулой (4), то формулировку «энтропия вселенной возрастает» можно было бы интерпретировать так, что во вселенной процессы образования тепла, выравнивания температур, смешения газов и т.д. преобладают над обратными, следовательно, вселенная в целом изменяется.

Однако энтропию вселенной нельзя определять формулой (4). Дело в том, что определение энтропии сложной неравновесной системы как суммы энтропий ее равновесных частей «применимо только в тех случаях, когда энергия системы складывается аддитивно из энергии ее частей (равна сумме энергий частей, - И.В.)» [27, с.123]. Вселенная же «является гравитирующей системой с неаддитивной энергией» [54]. Согласно Я.П.Терлецкому, «для такой системы незаконно применение... вообще термодинамики, поскольку последняя построена для аддитивных систем» [54] (см. также [44, с.28]). Нужно уточнить: той термодинамики, о которой речь шла до сих пор (подобно тому как для неравновесных систем незаконно применение равновесной термодинамики). Разумеется, никто не может запретить физикам создать термодинамику гравитирующих систем. Однако абстрактные формулы этой термодинамики, выражающие изменение энтропии, необходимо интерпретировать иначе, чем формулы термодинамики аддитивных систем. Действительно, в астрофизике, в противоположность обычной термодинамике, «с учетом гравитации однородное распределение вещества в пространстве, - И.В.) вовсе не соответствует максимуму энтропии» [11, с.689].

Согласно К.А.Путилову, «применительно к миру понятие энтропии не имеет обычного термодинамического содержания; можно составить сумму энтропий всех тел мира, но никак нельзя утверждать, что по своим свойствам эта величина будет иметь смысл энтропии мира» [38, с.140-141]. Состояние мира, по мнению К.А.Путилова, должно характеризоваться не энтропией, а другой величиной — супраэнтропией, возрастание которой ни в коем случае не должно интерпретироваться как стремление вселенной к равновесию [38, с.141-142].

Далее, определение энтропии неравновесной системы на основе формулы (4) предполагает, что энтропии равновесных частей такой системы  $S_i$  определяются на основе формулы (1), куда входят величины  $?Q$  [33, с.133-135]. Величины  $?Q_i$ , относящиеся к различным подсистемам, однозначно определяются для закрытых систем, обменивающихся друг с другом только энергией. Однако все природные системы являются открытыми, они обмениваются друг с другом не только энергией, но и веществом. Для открытых же систем «не удается разделить наблюдаемые изменения энергии на теплоту и работу» [44, с.42] (см. также [44, с.61-64; 55]), следовательно, для этих систем величины  $S_i$  невозможно определить на основе формулы (1). Изменение энтропии в процессах взаимодействия открытых систем — функция иного рода, чем изменение энтропии при взаимодействии закрытых систем. Абстрактные формулы термодинамики взаимодействующих открытых систем не допускают такой интерпретации, как формулы термодинамики закрытых систем.

«Наконец, могут быть и такие эпохи, когда процессы внутри системы настолько турбулентны, что ни для какой части нельзя говорить о макроскопических параметрах

состояния (температуре, давлении и т.п.). В такие времена классическая термодинамика просто не будет иметь объектов приложения» [28, с.27], — утверждала Т.А.Афанасьева-Эренфест (см. также [33, с.136]). Сегодня физики пишут об энтропии систем, в которых происходят турбулентные процессы (см. например [16, с.194-198]), однако эта энтропия не имеет ничего общего с энтропией классической термодинамики.

Можно заключить, что для различных систем в современной физике применяются существенно различные определения энтропии. Поэтому нет оснований считать, что возрастание энтропии во всех случаях означает изменения одного рода, и что всеобщность закона возрастания энтропии означает, будто вселенная в целом изменяется. (Нельзя не отметить и то обстоятельство, что в термодинамике возрастание энтропии в природных процессах обосновывается тезисом о необратимой эволюции вселенной [45, с. 9-12, с.70], а в астрофизике тезис об эволюции вселенной обосновывается ссылкой на закон возрастания энтропии [11, с.700-701; 23]. Такой «метод обоснования» называется кругом в доказательстве.)

Можно предположить, что возрастание энтропии во всех самопроизвольных процессах является априорным условием, которым руководствуются физики, когда дают определение энтропии различных реальных систем.

В пользу этого предположения говорит и такое обстоятельство. Еще недавно многие авторы определяли энтропию как меру беспорядка, хаоса, неупорядоченности состояния (см. например [56, с.200; 57, с.382-385; 58, с.295-298]). В сочетании со всеобщим законом возрастания энтропии это приводило к заключениям: «Мы погружены в жизнь, где мир в целом подчиняется второму закону термодинамики: беспорядок увеличивается, а порядок уменьшается» [14, с.49]; или «Принцип возрастания энтропии создает впечатление, что мир приближается к ситуации, характеризующейся все возрастающим беспорядком» [15] (см. также [16; 17, с.19-30]). Со временем выяснилось, что «эволюция как постепенный переход к неупорядоченному, хаотическому состоянию с максимальной энтропией бесспорна только для физиков. (И для представителя «так называемого научного креационизма» [17, с.4] — см. [17, с.18-30], — И.В.) С точки же зрения естествоиспытателей-нефизиков, бесспорна эволюция окружающего нас мира в сторону усложнения, самоорганизации» [52, с.299]. В этой ситуации необходимо было или признать существование «антиэнтропийных» процессов, или сказать, что энтропия не является мерой беспорядка. Физики выбрали второй вариант. «Нам необходимо освободиться от идеи, что деятельность, порождающая энтропию, равнозначна деградаци, нивелированию различий» [21, с.9] (см. там же с.18); «энтропия вовсе не является мерой беспорядка, вопреки тому, что полагали многие десятилетия» [52, с.356] (см. там же с.299-366). («Второе начало говорит, что развитие реальных систем идет с положительным производством энтропии. Это касается как процессов, в которых хаос рождается из порядка, так и процессов, в которых, наоборот, порядок рождается из хаоса. Но это может означать только то, что энтропия не является мерой беспорядка» [52, с.337].)

Можно заключить, что в современной термодинамике неуклонное возрастание во времени — единственный общий признак энтропий различных систем, в которых протекают неравновесные процессы, в том числе природных. На такую же мысль наводит высказывание И.Пригожина: «Единственное, что второй закон говорит точно о производстве (скорости возникновения, — И.В.) энтропии, — знак этой величины» [59]. (Иначе говоря, второй закон термодинамики для неравновесных процессов говорит точно только то, что энтропия всегда возрастает.) Но если энтропия — это функция состояния, единственным существенным признаком которой является возрастание во времени

в ходе любого самопроизвольного процесса, то утверждение о возрастании энтропии во всех самопроизвольных процессах является тавтологией.

Если закон возрастания энтропии (второй закон термодинамики для неравновесных процессов) — тавтология, то неудивительно, что это — «единственный закон физики, который не может быть опровергнут» [60], что «через 150 лет после того, как второй закон был сформулирован, он все еще представляет собой скорее программу, чем четко очерченную теорию в обычном смысле этого понятия» [59], что «вопрос о физических основаниях закона монотонного возрастания энтропии остается... открытым» [61, с.48], — бессодержательная тавтология не может иметь физических оснований. Если же «применение термодинамики, по существу, ограничивается анализом равновесных процессов» [59], то, наверно, в связи с тем, что второй закон термодинамики для равновесных процессов — не тавтология, а содержательное утверждение, отражающее объективно существующую связь явлений.

12.

Но почему физики не замечают бессодержательности закона возрастания энтропии? — может спросить читатель. По-видимому, этому есть несколько причин.

Во-первых, в прошлом веке и в первой половине нашего столетия этот закон имел более богатое содержание. В 1931 г. Планк писал, что из второго начала вытекает следующее заключение: «Система покоящихся тел произвольной природы переходит с течением времени из любого начального состояния в состояние равновесия, в котором температура всех тел одинакова. В этом состоянии энтропия системы имеет максимальное значение из тех, какие она могла бы принять при данной полной энергии последней, определяемой начальными условиями» [46, с.141]. Сегодня, как говорилось выше, положение о неизбежном переходе изолированной системы в состояние равновесия называется общим началом термодинамики. Положение о равенстве температур тел при их тепловом равновесии сегодня называется нулевым началом термодинамики [29, с.11; 32, с.19; 42, с.22]. Таким образом, из названных Планком заключений следствием второго начала сегодня можно считать только положения, касающиеся поведения непосредственно не измеримой и неизвестно как определяемой величины энтропии изолированной системы. То рациональное содержание, которое закон возрастания энтропии имел в прошлом веке, сегодня перешло в общее и нулевое начала.

Во-вторых, считается, что на основе закона возрастания энтропии выводят уравнения, используемые в расчетах химических равновесий. Несложно, однако, показать ошибочность такого мнения.

Авторы, впервые применившие закон возрастания энтропии к химическим процессам — А.Горстманн, Дж.В.Гиббс, М.Планк, — выводили формулы для энтропии, т.е. определяли энтропию, исходя из того, что энтропия изолированной системы при протекании в ней самопроизвольных процессов возрастает, а в состоянии равновесия достигает максимума (см. [41, с.287-288; 45, с.3-13, с.37; 62, с.61-62]). При этом использовали не только формулу (1), но и дополнительные априорные посылки, например, формулу (4), а также другие (см. например [62, с.90]), без которых энтропия не обладала бы такими свойствами. (Чтобы для ряда систем равновесию отвечал максимум энтропии (или минимум свободной энергии), в формуле для энтропии идеального газа должно быть слагаемое вида  $kN \ln(V/N)$ , а не  $kN \ln V$  [63].) Но если энтропия — это такая функция состояния, которая у изолированной системы монотонно возрастает и достигает максимума тогда, когда такая система приходит в равновесие, то закон возрастания энтропии для изолированных систем — тавтология. Всеобщий «закон» химической термодинамики «Процесс протекает самопроизвольно до тех пор, пока

(изолированная, - И.В.) система не перейдет в равновесное состояние, в котором энтропия достигает значения, максимального для данных условий»[64] (см. также [41, с.256-258; 56, с.90]) эквивалентен суждению: процесс в изолированной системе протекает самопроизвольно до тех пор, пока не перестанет протекать. Разумеется, такой «закон» не имеет исключений, однако не может служить основой для расчетов.

На практике используется закон действующих масс, выражающий соотношение между концентрациями (которые первоначально назывались действующими массами) или парциальными давлениями химически реагирующих веществ в состоянии равновесия (см. например [31, с.174-202; 56, с.155-181]). Считается, что этот закон получают на основе закона возрастания энтропии, что, однако, не соответствует действительности. Дело в том, что в общем случае «условие равновесия выражают в двух формах: 1) минимума свободной энергии системы (или максимума энтропии изолированной системы, состоящей из исследуемой системы и термостата [56, с.193-197], - И.В.); 2) уравнения закона действующих масс... Такая двойственная математическая постановка задачи — экстремум некоторой функции или корни системы уравнений — явление типичное... и можно переходить от одной формулировки к другой»[65] (см. также [66, с.115]). Если известна формула, выражающая закон действующих масс, то несложно найти выражения для функций, которые принимают экстремальные значения в том случае, когда концентрации веществ связаны этой формулой. Поскольку энтропия непосредственно неизмерима, одну из этих функций можно назвать энтропией. Затем можно провести обратную операцию — вывести закон действующих масс исходя из экстремальности энтропии в равновесии. Однако эти манипуляции только создают видимость вывода закона действующих масс на основе закона возрастания энтропии: когда энтропия возрастает, равновесия нет; когда концентрации являются равновесными, энтропия остается постоянной; содержание закона возрастания энтропии не переходит в конечный результат вывода — формулу для константы химического равновесия. (Для сравнения: при кинетическом выводе закона действующих масс состояния химического равновесия определяется условием равенства скоростей прямой и обратной реакций. Это условие, как и выражения для скоростей прямой и обратной реакций, находит непосредственное отражение в формуле для константы равновесия [53, с.88-90, 66, с.67]. А выраженная в единицах плотности тока величина скорости электрохимических реакций, протекающих на электроде в условиях равновесия, в электрохимии является важным параметром электрода и называется плотностью тока обмена [67].)

Наконец, среди физиков господствует представление, будто закон возрастания энтропии обоснован в статистической физике (статистической механике, статистической термодинамике), а пригодное для любых систем определение энтропии дает формула Больцмана

$$S = k \ln W, \quad (5)$$

где  $W$  — число допустимых микросостояний системы, соответствующих данному макросостоянию [33, с.290-295; 39, с.199-200; 56, с.210-213]. Поскольку величина  $W$  неизмерима, а однозначно рассчитывается только для простейших систем, есть возможность в случае получения противоречия с законом возрастания энтропии заявить, что расчет  $W$  (и энтропии) был проведен неправильно. Любопытно читать такое рассуждение: «Если теперь сравнить полученное таким образом (в рамках неравновесной статистической механики, - И.В.) выражение для приращения энтропии со вторым законом термодинамики, мы сразу придем к заключению, что это «не та энтропия, которая нам нужна». Действительно, согласно второму закону энтропия может только возрастать, тогда как статистическая

энтропия  $S_{(N)}$ , определяемая формулой (90), может как возрастать, так и убывать в зависимости от того, сообщаем ли мы данному телу тепло ( $dQ > 0$ ) или, наоборот, отнимаем его ( $dQ < 0$ ). (По-видимому получена формула для равновесной энтропии, которая ведет себя именно так, - И.В.) Поэтому продолжим наши исследования»[68].

Что касается утверждения, будто закон возрастания энтропии доказан в статистической механике, то поскольку **проблема необратимости** [52] остается нерешенной, это утверждение является необоснованным.

13.

Занимаясь анализом содержания второго закона термодинамики, нельзя не учитывать то обстоятельство, что в современной термодинамике имеется «Проблема доказательства существования энтропии» [31, с.71-75].

Как известно, существование функции состояния энтропии, т.е. истинность формулы (1), Клаузиус доказал путем математического вывода на основе теоремы Карно [34, с.138-143], согласно которой доля теплоты, превращаемой в механическое движение в обратимом цикле Карно (т.е. КПД цикла Карно), не зависит от свойств рабочего тела, при помощи которого этот цикл осуществляется (см. например [33, с.97-99; 36, с.244; 38, с.62-68; 58, с.257-263]). Доказательство теоремы Карно Клаузиус основал на том, что допущение, противоречащее теореме Карно, приводит к противоречию с постулатом: «Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более тепловому» [34, с.133-138]. (Если бы КПД цикла Карно зависел от свойств рабочего тела, то единственным результатом работы двух сопряженных машин Карно с различными КПД мог бы быть перенос тепла от холодного тела к тепловому [33, с.97-99; 38, с.64-65; 56, с.78-79]). Ни Клаузиус, ни кто-либо другой никогда не проводил никаких экспериментов, подтверждающих этот постулат. Уже по этой причине доказательство Клаузиуса должно было вызывать сомнения. (Постулат Клаузиуса не является очевидным, поскольку означает: «если при контакте теплота переходит от тела А к другому телу В, то невозможен процесс, единственным конечным результатом которого был бы переход теплоты от В к А» [53, с.33]. См. также [22, с.333-334; 28, с.12-16; 33, с.92-93]). Поскольку на основе теоремы Карно и принципа существования энтропии получено множество подтвержденных экспериментально результатов, можно было считать, что истинность постулата Клаузиуса, подобно истинности аксиом геометрии, подтверждается истинностью теорем, которые получены на его основе.

Однако в 1947 г. А.А.Гухман воспроизвел доказательство Клаузиуса, с тем отличием, что исходил из посылки, противоположной постулату Клаузиуса: «Теплота не может переходить сама собой от более нагретого тела к более холодному»[69] (см. также [22, с.340-341; 30, с.215-227; 31, с.72-73; 33, с.139; 50, с.140-141; 70, с.265]). Выяснилось, что одна и та же теорема с равным успехом может быть доказана на основе противоположных посылок. Это означает, что теорема Карно, как и существование энтропии, не следует из постулата Клаузиуса. По мнению А.А.Гухмана, «Положение о существовании энтропии надлежит рассматривать как весьма правдоподобное, но в основе своей гипотетическое и нуждающееся в проверке»[22, с.164] (см. там же с.11-13, с.317-378).

Как сегодня обстоит дело с проверкой гипотезы существования энтропии? Согласно Г.В.Скорнякову, «в случае многопараметрических систем сама возможность введения понятия энтропии накладывает на термодинамические характеристики рабочего вещества весьма жесткие ограничения... Выпущенные накладываемых этими ограничениями условий для широкого круга веществ никогда не было даже предметом экспериментальных исследований. В некоторых конкретных случаях они заведомо не выполняются»[71, с.37] (см. также [72; 73, с.8-10]). «По-видимо-

му, однопараметрические термодинамические системы, интегрирующий делитель которых равен абсолютной газовой температуре (для которых справедливо уравнение (1), -И.В.), являются исключительными...» [74, с.194]. Сегодня можно утверждать определенно лишь то, что энтропия существует у идеального газа и систем, подчиняющихся уравнению состояния Ван-дер-Ваальса [30, с.141; 71, с.37; 74, с.194], поскольку для этих систем истинность формул (1) и (2), а также теоремы Карно можно доказать путем математического вывода из начал термодинамики и уравнений состояния, не используя постулат Клаузиуса [27, с.69; 29, с.80-82; 56, с.87-88].

Но если существуют системы, для которых энтропия, определяемая формулой (1), не является функцией состояния, к которым формула (2) неприменима, то теорема Карно оказывается ложной — КПД цикла Карно зависит от свойств рабочего тела. Следовательно, из двух сопряженных машин Карно можно составить периодически действующую машину, которая будет преобразовывать теплоту в механическое движение без передачи части теплоты холодильнику. И тем самым опровергнуть постулат Томсона-Планка: «невозможно построить периодически действующую машину, вся деятельность которой сводится к поднятию тяжести и охлаждению теплового резервуара» [242, с.97? (постулат о невозможности вечного двигателя второго рода). Кстати, ни Планк, ни В.Томсон даже не пытались строить такие машины, а В.Оствальд (отрицавший существование атомов) написал в 1901 г. о невозможности вечного двигателя второго рода [22, с.197] после того, как было предпринято 3 (три) попытки создания таких двигателей [76, с.178-188], о которых ему, по-видимому, не было известно. (Подробнее о возможности и невозможности создания этих двигателей см. [49, с.188-294; 71; 73-79]).

На основе постулатов Клаузиуса или Томсона-Планка построены доказательства теоремы о возрастании энтропии изолированных систем. Сегодня эту теорему можно назвать гипотезой о возрастании гипотетической энтропии (если не тавтологией). Любые содержательные заключения, которые делаются на основе этой «теоремы», следует считать предположениями.

Многочисленные уравнения, при выводе которых использовался принцип существования энтропии, применимы только к таким равновесным системам, параметры которых удовлетворяют уравнению (3) [73, с.9; 74, с.194]. Прежде чем делать на основе принципа существования энтропии какие-либо заключения о свойствах термодинамической системы, сегодня необходимо выяснить применимость к параметрам этой системы уравнения (3). Но в таком случае можно задать вопрос: а нужен ли в теории физико-химических равновесий принцип существования энтропии? Ведь для практики знание значения энтропии системы совершенно бесполезно: энтропия не является измеримым параметром. А все уравнения, которые содержат измеримые параметры термодинамических систем и получаются на основе формул (1) или (2), можно получить на основе формулы (3), не используя положение о существовании энтропии.

Заметим: многие авторы высказывались в том духе, что «энтропия Клаузиуса (в равновесных процессах, - И.В.) является не чем иным, как «тепородом» Карно» [31, с.71] (см. также например [22, с.324-329; 70, с.323-328; 76, с.112]). Во всяком случае, изображение цикла Карно на диаграмме теплород-температура выглядит точно так же, как на диаграмме энтропия-температура (T-S-диаграмме). Наверное, пора изобрести термодинамику от переименованного теплорода — энтропии. Кстати, «Нернст очень не любил понятия энтропии, никогда не применял его» [41, с.397].

Нужно также учесть, что уже несколько десятилетий успешно развивается, де-факто «безэнтропийная» теория

физико-химических равновесий — статистическая термодинамика (см. например [38, с.142-183; 56, с.198-284; 80, с.496-521]).

«Статистическая термодинамика, возникшая на основе кинетической теории вещества, позволяет непосредственно из свойств молекул, полученных с помощью спектроскопических исследований (поскольку молекулы состоят из заряженных частиц, они взаимодействуют с электромагнитным полем, - И.В.), найти для значительного числа веществ абсолютные значения термодинамических свойств и рассчитать равновесие, не прибегая к трудоемким и дорогостоящим calorиметрическим определениям при низких температурах. При этом результаты получаются более точные, чем полученные другими методами, в частности, расчетом по третьему закону термодинамики (т.е. на основе определения абсолютных значений энтропии! - И.В.)» [80, с.496].

Статистическая термодинамика убедительно подтверждает идею Энгельса: «Природа движущихся тел вытекает из форм движения» [1, с.563]. Эта теория позволяет рассчитать, например, химический состав газовой смеси на основе молекулярных спектров — своего рода списков характерных периодических движений, которые постоянно совершают молекулы. Отдавая дань традиции, на основе статистической термодинамики производят расчеты энтропии, однако в этом нет никакой необходимости, поскольку энтропия не является измеримым параметром, а измеримые параметры эта теория позволяет рассчитать без использования значений энтропии (см. [56, с.242-245; 80, с.499-520]). На фоне этой теории феноменологическая химическая термодинамика, оперирующая формулами, в большинстве из которых входят неизмеримые величины (свободные энергии Гиббса и Гельмгольца, химические потенциалы и т.д.), выглядит как модернизированная алхимия, точнее, как мистическая форма для выражения объективно существующих закономерностей.

Надо заметить, что статистическая термодинамика создавалась для «механического» обоснования существования и возрастания энтропии — целей, которые сегодня следует признать ложными. Вследствие этого в ней содержится ряд сомнительных положений, которые используются для доказательства ложных тезисов. В частности, для согласования закона возрастания энтропии с аксиомами механики используется вероятностная интерпретация функции распределения молекул по энергиям. Тот факт, что у определенной доли молекул значение энергии находится в известных пределах, интерпретируется как вероятность того, что значение энергии наугад выбранной молекулы находится в тех же пределах. Параметр распределения, существующего в действительности, трактуется как степень возможности появления события! Категория действительности подменяется категорией возможности! Это породило множество спекуляций о статистической природе второго начала термодинамики, о вероятностном мире, в котором мы живем, и т.д. Можно надеяться, что освобожденная от ненужных гипотез статистическая термодинамика со временем станет основой «безэнтропийной» (де-юре) теории физико-химических равновесий — теории, в которой об энтропии не будет даже упоминаться.

Но если сегодня без энтропии можно обойтись в термодинамике равновесных процессов, где с использованием принципа существования энтропии получено множество используемых в практике уравнений, то нет никаких рациональных оснований для использования понятия энтропии (как и «закона» ее возрастания) в термодинамике неравновесных процессов, где второе начало является, по словам И.Пригожина (см. [59]), скорее программой, чем теорией. Ведь получаемые в неравновесной термодинамике результаты (те, что относятся к физике и химии) можно получить без использования величины эн-

ропии (ср. например [81] и [20, с.349-461]) — основываясь на законах диффузии, теплопроводности, химической кинетики и т.п. (Кстати, основы теории периодических химических процессов, которые принято рассматривать в рамках нелинейной термодинамики неравновесных процессов (см. например [32, с.280-287]), были заложены в то время, когда нелинейной термодинамики не было (см. [82, 83]). В монографии Д.А.Франк-Каменецкого, вышедшей в свет за 4 года до того, как была открыта знаменитая периодическая реакция Белоусова-Жаботинского, имеется глава «Периодические процессы в химической кинетике» [82, с.341-352], где на основе законов химической кинетики получено «общее условие колебательного протекания (в достаточно малой окрестности квазистационарных концентраций) химического процесса, кинетика которого описывается системой из двух кинетических уравнений» [82, с.344].) Разумеется, устранение понятия энтропии из термодинамики сделает невозможным «выведение» из закона возрастания энтропии социальных и экономических законов (см. например [52, с.352-366]). Но такого рода «недостаток» извинителен для физической теории.

#### 14.

Однако немедленное устранение из термодинамики «закона» возрастания энтропии или даже понятия энтропии не устранил из нее посылок, на основе которых возможно получение противоречащих диалектическому материализму следствий. Существует еще одно сомнительное с точки зрения диалектического материализма положение термодинамики — утверждение, будто неравновесные процессы, протекающие в природе, являются необратимыми.

Напомним, что «любой процесс, переводящий изолированную систему из состояния 1 в состояние 2 есть процесс *необратимый*, если процесс, имеющий единственным своим результатом возвращение системы из состояния 2 в 1, невозможен» [38, с.72]. Допущение необратимости природных процессов в сочетании с пониманием того, что совокупность всех естественных процессов есть движение материи (вселенной), влечет заключение о необратимой эволюции вселенной. Если, кроме того, допустить, что «невозможно каким бы то ни было способом *сполна* обратить процесс, при котором тепло возникает благодаря трению» [42, с.91], что «фактически в природе нет процессов, которые бы не сопровождалось трением» [42, с.96], то нельзя избежать заключения о постоянном накоплении во вселенной тепла и движении вселенной к тепловой смерти.

Для опровержения вывода о необратимой эволюции материи необходимо доказать, что процессы превращения форм движения и материи не являются необратимыми. Для опровержения вывода о грядущем превращении всех форм энергии в тепло необходимо опровергнуть представление, будто процесс образования тепла при трении, как и остальные процессы образования форм движения в природе является необратимым. (Согласно Э.В.Ильенкову, ход качественных превращений энергии «не может быть односторонним, необратимым ни в одном из своих звеньев. Все формы движения материи тем или иным способом взаимно превращаются в другие, они взаимно обратимы. Если бы этого не было. то ныне существующая Вселенная не могла бы существовать без постоянного вмешательства сверхъестественных сил, а закон сохранения материи и движения превратился бы в фикцию» [И-1, с.429]).

Подчеркнем существенное обстоятельство. «Из того, что процесс сам по себе не идет в обратном направлении, еще не следует, что он необратим» [45, с.92]. Многие современные авторы это упускают из виду и пишут, например: «Спонтанное разделение смеси на чистую воду и чистый спирт никогда не наблюдается. Следовательно,

перемешивание спирта и воды — необратимый процесс» [16, с.34]. (См. также [76, с.130]). Ошибочным является утверждение, будто вращение храповика с собачкой (защелкой), которое может происходить только в одну сторону — необратимый процесс? [57, с.372-378]. Если вращение происходит без трения, то начальное состояние механизма восстанавливается после каждого оборота храповика, и такой, чисто механический, круговой процесс, хотя и характеризуется «необратимостью элементарной» (термин Т.А.Афанасьевой-Эренфест [28, с.11]), однако является обратимым; в таком процессе энтропия не изменяется. Рисунок, на котором куча досок после взрыва превращается в строение [15, с.32], дает ошибочное представление о термодинамической необратимости, поскольку демонстрирует обращение процесса, который «непосредственно не обратим» [1, с.428]. Из факта непосредственной необратимости природных процессов заключение об эволюции вселенной не следует, подобно тому как из того, что храповик с собачкой вращается только в одну сторону, не следует, что повторение начального состояния механизма невозможно. Когда в термодинамике говорят о необратимости, то подразумевают, что «не существует не только *непосредственной обратимости*, но также не существует даже *косвенной обратимости*» [84]. Только при таком понимании необратимости можно говорить, что в случае необратимых процессов «природа проявляет к конечному состоянию «большее расположение», чем к начальному» [45, с.10] и ввести **функцию состояния** энтропию — «меру «предпочтения» природой соответствующего состояния» [45, с.11].

Те авторы курсов термодинамики, которые понимают, что существование необратимых процессов неочевидно, приводят соответствующие доказательства. Необратимость ряда процессов (образования тепла путем трения, расширения газа в пустоту, перехода тепла от нагретого тела к холодному, смешения газов) доказывают на основе постулатов Клаузиуса либо Томсона-Планка (см. например [38, с.71-73; 42, с.97-104]). Затем делают заключение: «Так как фактически в природе нет процессов, которые бы не сопровождалось трением или переходом тепла благодаря теплопроводности, то все природные процессы в действительности необратимы...» [42, с. 96].

Таким образом, заключение о необратимости природных процессов основано, в конечном итоге, на постулатах Клаузиуса или Томсона-Планка. В свете сказанного выше, положения о необратимости природных процессов и об одностороннем изменении вселенной следует считать необоснованными гипотезами. А если учесть, что эти гипотезы противоречат идее вечно движущейся, но остающейся неизменной материи (вселенной), то их можно считать столь же фантастическими, как «гипотезу» существования потустороннего мира.

(Подчеркнем: речь идет об обратимости процессов превращения форм движения и материи, протекающих в природе. Процессы перехода в равновесие тех изолированных систем, с которыми имеют дело физики, являются, несомненно, необратимыми. Но эта необратимость существует только до тех пор, пока не нарушится изоляция системы, и не имеет никакого отношения ни к вопросу о необратимости природных процессов, ни к вопросу об эволюции вселенной.)

\*\*\*

Подведем предварительные итоги нашего исследования обоснованности гипотезы тепловой смерти вселенной. Положения термодинамики, которые служат основаниями для ложных выводов об эволюции или тепловой смерти вселенной, это: (1) ложное положение о невозможности полного превращения тепла в иные формы движения; (2) ложное положение о деградации энергии в природных процессах; (3) полученное путем индукции по-

ложение о неизбежном переходе всякой изолированной системы в равновесие; (4) никем недоказанное положение о необратимости природных процессов преобразования форм движения и материи, а также тавтология «Энтропия возрастает во всех самопроизвольных процессах». Разумеется, приведенные в настоящей статье аргументы, позволяют дать только предварительную оценку перечисленных положений, однако сегодня несложно их так дополнить, чтобы не осталось никаких сомнений в справедливости этих оценок.

После того, как в прошлом веке на основе второго начала термодинамики были сделаны заключения о стремлении вселенной к равновесию, хаосу, тепловой смерти, это начало существенно изменилось. Эволюцию, которую оно претерпело за 130 лет, можно выразить так: «Энтропия мира стремится к максимуму» [7, с. 44] → «Энтропия мира (возможно) возрастает» (см. [38, с. 140-142; 61, с. 46]) → «Энтропия мира (существует)» (см. [37, с. 137; 38, с. 140]) → «Энтропия (существует)» (см. [22; 28; 69]) → «Энтропия существует не у всех систем» (см. [30, 71-74]) → Энтропия — «заржавленный, вековой давности висячий замок», которым заперта плотина, преградившая путь «безбрежному океану сверкающей лавы человеческих знаний» [70, с. 443]. В целом же закон, на основе которого классики физики предсказывали будущее вселенной, оказался частью тавтологией, частью законом такого же рода, как закон Бойля-Мариотта.

Проблема тепловой смерти вселенной будет оставаться нерешенной до тех пор, пока в курсах физики и термодинамики будут сохраняться положения, устаревшие лет 50-70 назад. Чтобы эта проблема окончательно перешла в разряд решенных, необходимо создать курс термодинамики, свободный от ложных положений. В нем необходимо сказать, что предметом термодинамики является «движущаяся материя, тела» [3, с. 67] (вариант: «Предмет — движущееся вещество» [1, с. 563]), что «Тела неотделимы от движения: их формы и виды можно познавать только в движении... Лишь в движении тело обнаруживает что оно есть...» [3, с. 67-68] и т.д. (см. [1-3]). В этом курсе должна быть глава, посвященная закономерностям превращения форм движения, в которой основным законом будет назван такой: «Любая форма движения способна и вынуждена при определенных для каждого случая условиях превращаться, прямо или косвенно, в любую другую форму движения» [1, с. 539]. Не исключено, что в этой главе будет раздел под названием «Основы теории так называемых вечных двигателей второго рода»... P.S.

В сборнике работ «Философия естествознания. Вып. 1» есть слова, которые выражали позицию большинства советских философов, занимавшихся так называемыми «философскими проблемами естествознания» 20-30 лет назад: «Философы не должны навязывать конкретным наукам умозрительные схемы, которые ничего, кроме вреда, не могут принести. Философия не может и не должна предписывать, чем именно должно заниматься естествознание... Философия не вправе прямо и непосредственно давать окончательное объяснение или конечную оценку конкретным положениям науки» [48, с. 16].

Применительно к проблеме тепловой смерти вселенной эта позиция конкретизируется в разделе «Опровержение «теории» тепловой смерти», который начинается словами: «Предварительно выскажем одно замечание методологического порядка. В критике теории тепловой смерти мира ряд авторов выступает фактически с позиций отрицания второго начала термодинамики. Они ищут особые «антиэнтропийные» процессы, которые протекали бы в макроскопических масштабах вопреки второму началу термодинамики» [48, с. 130]. Затем приводятся высказывания «ряда авторов», после чего следует комментарий. «Конечно, с позиций открытого или завуалированного от-

рицания второго начала термодинамики отвергается и «теория» тепловой смерти мира, но это покупается слишком дорогой ценой — ценой противоречия с наукой. Отдельным авторам начинает казаться, что некоторые положения науки несовместимы с материализмом, и во имя спасения последнего они начинают требовать изменения первых. Такой подход представляется нам в корне неверным; он ведет к превращению диалектического материализма в орудие натурфилософских конструкций. Ведь именно с такой методологической позиции выступали отдельные ученые и против теории относительности, и против генетики, и против кибернетики... По существу, такой подход дискредитирует материалистическое мировоззрение, ибо под флагом критики идеализма здесь отвергаются, якобы от имени материализма, объективные законы науки. Итак, попытки найти некие антиэнтропийные процессы, протекающие в нарушение второго начала, — это не путь научно-материалистической критики «теории» тепловой смерти» [48, с. 131-132].

Такое обоснование принципиального подхода к проблеме удивляет своей нелогичностью. Из того, что кто-то, выступая от имени материализма, дал ошибочную оценку кибернетике или генетике, не следует, что естественнонаучные теории не подлежат критике с позиций этого самого материализма. Непонятно, почему предположение, которое противоречит науке нужно отвергать без рассмотрения. Если развитие науки не закончилось, то можно ожидать появления новых теорий. Но, «по определению», не бывает новых теорий, которые не противоречили бы старым. Если «новая» теория не противоречит старой, если ее можно вывести по правилам логики из старой, то вся ее новизна заключается только в названии. Непонятно, почему при появлении в науке положений, противоречащих диалектическому материализму, недопустимо требовать их изменения. Если математик объявляет ложным заключение о том, что синус какого-то угла равен, скажем,  $4/3$ , не рассматривая протокола измерений, это не вызывает осуждения и не рассматривается как превращение математики в орудие натурматематических(?) конструкций. Почему же в таком случае нелепые высказывания типа знаменитого «материя исчезла» либо о возникновении вселенной в результате Большого взрыва должны приниматься как истины? И, наконец, кто сказал, что натурфилософия — абсолютное зло? Огюст Конт? Рудольф Карнап? Во всяком случае не Энгельс, который не один год работал над натурфилософским (по словам Маркса [5]) сочинением под названием «Диалектика природы».

В теоретической физике существует метод математической гипотезы. Но почему невозможен метод диалектико-материалистической гипотезы, исходным положением которого является утверждение, что любое утверждение любой науки, противоречащее любому положению диалектического материализма, является сомнительным? Если на основе теории групп, созданной в процессе рассмотрения чисто математической задачи о разрешимости алгебраических уравнений [85], было выдвинуто подтвердившееся впоследствии предположение о существовании элементарной частицы омега-минус-бариона [86], то неужели гипотезы, основанные на материалистической диалектике, которая намного содержательнее математики, будут менее вероятными? Разумеется, основанная на материалистической диалектике гипотеза должна быть доказана в рамках той науки, к которой она относится. Но формулирование и проверка таких гипотез — более достойное занятие, чем изучение каких-то «философских проблем естествознания». (Будто у естествознания могут быть философские проблемы!) Разумеется, занимаясь этими «проблемами», не высказывая ничего такого, что противоречит «современной науке», невозможно повлиять на развитие науки. Такая «деятельность» недостойна марксистов. Если марксизм — не догма, а метод, то его применение должно приводить к но-

вым результатам.

На вопрос «Можно ли привести конкретные примеры, свидетельствующие о том, что философия помогла физикам решить какую-нибудь конкретную задачу?» [26, с.297] марксист не должен отвечать: «...любая попытка показать, как такой-то общий философский принцип помог физику решить конкретную проблему, например открыть новый физический закон, оказывается безуспешной» [26, с.297]. Во-первых, исходя из философского принципа *causa aequat affectum* (причина равна действию) Р.Ю.-Майер на основе опубликованных экспериментальных данных впервые в мире определил так называемый механический эквивалент тепла (см. [87]). Во-вторых, «какую бы позу ни принимали естествоиспытатели, над ними властвует философия» [1, с.525]. И не потому, что они вынуждены постоянно думать о философских выводах из своих теорий, а потому, что рано или поздно, физикам приходится мыслить. «Для мышления же необходимы логические категории» [1, с.524] (пространство, время, причина, следствие и т.д.), которые физики заимствуют из философии, подобно тому как они заимствуют математические понятия из математики. Вопрос лишь в том, пользоваться ли современными понятиями материи, движения, функции, производной или теми, которые были в ходу лет двести назад.

В 1985 г. профессор Массачусетского технологического института (США) Л.Р.Грэхэм закончил работу над книгой, в которой, как говорится в аннотации, «на большом фактическом материале анализируется полная драматизма история взаимодействия диалектического материализма и советской науки в период с 1917 до середины 80-х годов» [88, с.2]. Заключение книги начинается словами: «Современный советский диалектический материализм является впечатляющим интеллектуальным достижением... По универсальности и степени разработанности диалектико-материалистическое объяснение природы не имеет равных среди современных систем мысли. В самом деле, необходимо было бы вернуться на несколько веков назад, к аристотелевской схеме природного порядка или к картезианской механической философии, для того чтобы найти такую систему, основанную на самой природе, которая могла бы соперничать с диалектическим материализмом по степени развития или целостности строения» [88, с.415]. Если физики сегодня желают развивать теорию, а не тратить усилия на повторное открытие того, что было известно Энгельсу, им нужно научиться пользоваться теми категориями, которые разработаны в диалектическом материализме. (Человек, читавший Энгельса, знает, что «новому взгляду на роль материи во Вселенной. Материя — более не пассивная субстанция..., ей также свойственна спонтанная активность» [16, с.50] уже больше ста лет.)

В свое время, научившись в какой-то мере пользоваться категориями материалистической диалектики, автор обнаружил в различных разделах физики множество положений, противоречащих идеям диалектического материализма. Полагая, что «всякая наука есть прикладная логика» [6, с.183], что диалектический материализм есть логика истины, автор увидел в этих противоречиях свидетельства ошибочности тех или иных теорий. Ознакомившись с книгой А.И.Вейника [70], автор не только избавился от присущего всем физикам и химикам чересчур почтительного отношения к классической термодинамике, но и решил подвергнуть эту науку критике. Анализируя написанный Энгельсом фрагмент, начинающийся словами «В каком бы виде ни выступало перед нами *второе положение Клаузиуса и т.д.*, во всяком случае, согласно ему, энергия теряется, если не количественно, то качественно» [1, с.600], автор пришел к выводу, что появление гипотезы тепловой смерти вселенной свидетельствует об ошибочности второго начала термодинамики, и что критику

классической термодинамики можно основать на том, что эта теория приводит к ложному заключению. Последующие исследования показали, что ложные положения об эволюции и грядущей смерти вселенной в конечном итоге основываются на положениях, противоречащих тем, которые имеются у Энгельса. По мнению автора, «приложение» диалектического материализма к физической теории оказалось весьма успешным: положения, воспринимаемые большинством как окончательные истины были квалифицированы как ложные, гипотетические или бес-содержательные.

Автор надеется, что настоящая статья привлечет внимание мыслящих физиков к очень перспективному направлению теоретических исследований — диалектической обработке физических теорий, начатой Энгельсом в статьях «Основные формы движения», «Мера движения. — Работа», «Приливное трение. Кант и Томсон-Тейт», «Электричество» [1]. Результатом такой работы должно стать превращение теоретической физики из прикладной математики в прикладную Логiku. («Математика — наука, которая... не знает, истинно ли то, что она говорит» (Б.Рас-сел); «...логика = вопрос об истине» (В.И.Ленин) [6, с.156]). Когда это произойдет, когда содержание физики обретет разумную форму, тогда действительным нерешенным проблемам (типа проблемы тепловой смерти вселенной) не придется десятилетиями ждать решения, а теории, являющиеся продуктами абсолютно свободного полета мысли (типа теории Большого взрыва), если и будут публиковаться в научных журналах, то только в специальной рубрике «Научная фантастика».

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1.Энгельс Ф.Диалектика природы// Маркс К.,Энгельс Ф.Соч. 2-е изд. Т.20
- 2.Энгельс Ф. Анти-Дюринг // Там же. Т. 20
- 3.Энгельс Ф. Письмо К.Марксу, 30 мая 1873 г. // Там же. Т.33. С.67
- 4.Маркс К. Теории прибавочной стоимости // Там же. Т.26.Ч.II. С.573
- 5.Маркс К. Письмо В. А. Фрэйнду, 21 января 1877 г. // Там же. Т.34. С.192
- 6.Ленин В.И. Философские тетради // Полн. собр. соч. Т.29. С.183
- 7.Clausius R. Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie. Abtheilung II. Braunschweig. Druck und Verlag Friedrich Vieweg und Sohn. 1867. S. 42
- 8.Вышнеградский А.И. Механическая теория теплоты. С.-Петербург. Лит. Кремер Ф. 1883. С. 374-380
- 9.Фен Дж. Машины, энергия, энтропия. М., Мир. 1986. С.274
- 10.Наан Г.И. // В кн.: Философские проблемы современного естествознания. Труды Всесоюзного совещания по философским вопросам естествознания. М., Изд. АН СССР. 1959. С.420
- 11.Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М., Наука. 1975. С.688-701
- 12.Философские проблемы астрономии XXвека. М., Наука.1976.С.397-478
- 13.Молевич Е.Ф. Круговорот и необратимость в мировом движении. Историко-философский очерк. Саратов. Изд-во Саратовского ун-та. 1976. С.75-106
- 14.Винер Н. Кибернетика и общество.М., Изд.иностр.лит. 1958.С.27-28,49
- 15.Рейф Ф. Статистическая физика. Изд. 2-е, стереотипное. М., Наука. 1977. С.281 (Берклевский курс физики. Т.V)
- 16.Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М., Прогресс. 1986. С.36
- 17.Моррис Г. Сотворение мира: научный подход. Киев. Друг читача. 1990. С.19-30, 58-62
- 18.Больцман Л. Избранные труды. М., Наука. 1984. С.389
- 19.Пуанкаре А. Наука и метод // В кн.: Пуанкаре А. О науке. М., Наука. 1983. С.324-325

- 20.Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М., Мир. 1979. С.10
- 21.Пригожин И. Переоткрытие времени / Вопросы философии. 1989. №8. С.8
- 22.Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. М., Энергоатомиздат. 1986
- 23.Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. 3-е изд., перераб. и доп. М., Наука. 1990. С.160-163
- 24.Ильенков Э.В. Космология духа // В кн.: Ильенков Э.В. Философия и культура. М., Политиздат. 1991. С.415
- 25.Новиков Б.В. Творчество и философия. Киев. Издательство при Киевском ун-те. 1984. С.66
- 26.Чудинов Э.М. Теория относительности и философия. М., Политиздат. 1974
- 27.Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Изд. 2-е, испр. М.-Л., 1952
- 28.Афанасьева-Эренфест Т.А. Необратимость, односторонность и второе начало термодинамики / Журнал прикладной физики. 1928. Т.V. Вып.3-4. С.3-29
- 29.Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. М., Изд-во иностр. литературы. 1955
- 30.Белокопьев Н.И. Термодинамика. М.-Л. Госэнергоиздат. 1954
- 31.Исаев С.И. Курс химической термодинамики. 2-е изд., перераб. и доп. М., Высш. школа. 1986
- 32.Базаров И.П. Термодинамика. 4-е изд., перераб. и доп. М., Высш.школа. 1991
- 33.Сивухин Д.В. Общий курс физики. Теплота и молекулярная физика. Изд. 2-е, исправленное. М., Наука. 1979
- 34.Клаузиус Р. Механическая теория тепла // В сб.: Второе начало термодинамики. М.-Л. Гостехтеориздат. 1934. С.71-158
- 35.Лоренц Г.А. Лекции по термодинамике. М.-Л., ОГИЗ ГИТТЛ. 1946
- 36.Физический энциклопедический словарь. М., Советская энциклопедия. 1984
- 37.Ван-дер-Ваальс И.Д., Констамм Ф. Курс термостатики. Ч.1. М., ОНТИ. 1936
- 38.Путилов К.А. Термодинамика. М., Наука. 1971
- 39.Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. М., Просвещение. 1976.
- 40.Вант-Гофф Г.Я. Избранные труды по химии. М., Наука. 1984. С.147-153
- 41.Кричевский И.Р. Понятия и основы термодинамики. Изд. 2-е, пересмотр. и доп. М., Химия. 1970
- 42.Планк М. Термодинамика. М.-Л. Госиздат. 1925
- 43.Леонова В.Ф. Термодинамика. М., Высш. школа. 1968
- 44.Воронин Г.Ф. Основы термодинамики. М., Изд-во Моск. ун-та. 1987
- 45.Планк М. О принципе возрастания энтропии // В кн.: Планк М. Избранные труды. М., Наука. 1975. С.9-101
- 46.Планк М. Введение в теоретическую физику. Часть пятая. Теория теплоты. М.-Л., ОНТИ НКТП СССР. 1935
- 47.Денбиг К. Термодинамика стационарных необратимых процессов. М., Изд-во иностр. лит. 1954. С.54
- 48.Философия естествознания. Вып 1-й. М., Политиздат. 1966
- 49.Ощепков П.К. Жизнь и мечта. 2-е изд. М., Московский рабочий. 1967
- 50.Вейник А.И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. М., Металургиздат. 1956
- 51.Беляев Н.М. Термодинамика. Киев. Выща школа. 1987
- 52.Хайтун С.Д. Механика и необратимость. М., Янус. 1996
- 53.Ферми Э. Термодинамика. Харьков. Изд-во Харьковского ун-та. 1969
- 54.Терлецкий Я.П. Статистическая физика. М., Высшая школа. 1966. С.140
- 55.Мюнстер А. Химическая термодинамика. М., Химия. 1971. С.64-71
- 56.Еремин Е.Н. Основы химической термодинамики. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Высш. школа. 1978
- 57.Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып.3-4. М., Мир. 1976
- 58.Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. Изд. 2-е, перераб. М., Наука. 1976
- 59.Пригожин И. Время, структура и флуктуации (Нобелевская лекция по химии 1977 года) / Успехи физических наук. 1980. Т. 131. Вып.2. С.188
- 60.Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. М., Наука. 1967. С.254
- 61.Ландау Л.Д., Лифшиц М.А. Статистическая физика. Ч.1. М., Наука. 1976 (Теоретическая физика. Т.V)
- 62.Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика. М., Наука. 1982
- 63.Гельфер Я.М., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике. М., Наука. 1975. С.18-20
- 64.Киреев В.А. Краткий курс физической химии. М., ГНТИ Хим. л-ры. 1959. С.187
- 65.Бугаевский А.А., Мухина Т.П. // В кн.: Математика в химической термодинамике. Новосибирск. Наука. 1980. С.23-24
- 66.История учения о химическом процессе. Всеобщая история химии. М., Наука. 1981
- 67.Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. 4-е изд., перераб. и доп. М., Высш. школа. 1984. С. 218-219, 276-277, 347-359
- 68.Мартынов Г.А. / Успехи физических наук. 1996. Т.166. №10. С.1122-1123
- 69.Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. Алма-Ата. Изд-во АН Каз. ССР. 1947. С.80
- 70.Вейник А.И. Термодинамика. Изд. 3-е., перераб. и доп. Минск. Вышэйшая школа. 1968
- 71.Скорняков Г.В. / Журнал технической физики (ЖТФ). 1995. Т.65. Вып.1. С.35-45
- 72.Скорняков Г.В. / ЖТФ. 1986. Т.56. Вып. 3. С.579-581
- 73.Скорняков Г.В. / ЖТФ. 1996. Т.66. Вып. 1. С.3-14
- 74.Зильбергейт А.С., Скорняков Г.В. / ЖТФ. 1992. Т.62. Вып. 2. С.195
- 75.Скорняков Г.В. / Письма в ЖТФ. 1995. Т.15. Вып. 22. С.12-14
- 76.Бродянский В.М. Вечный двигатель — прежде и теперь. От утопии к науке, от науки — к утопии. М., Энергоатомиздат. 1989
- 77.Циолковский К.Э. Второе начало термодинамики // Журнал русской физической мысли. №1. Реутов. Общественная польза. 1991. С.22-39
- 78.Опарин Е.Г. Experimentum crucis // Там же. С.40-46
- 79.Вейник А.И. Термодинамика реальных процессов. Минск. Наука і техника. 1991. С.447-479
- 80.Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Химия. 1975
- 81.Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях. М., Мир. 1983
- 82.Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М., Изд-во АН СССР. 1947
- 83.Сальников И.Е. К теории периодического протекания гомогенных химических реакций. II. Термокинетическая автоколебательная модель / Журнал физической химии. 1949. Т.23. Вып.3. С.258-272
- 84.Пуанкаре А. Механицизм и опыт // В кн.: Больцман Л. Избранные труды. М., Наука. 1984. С.435
- 85.Клайн М. Математика. Утрата определенности. М., Мир. 1984. С.340-341
- 86.Дайсон Ф.Дж. Математика в физических науках // В сб.: Математика в современном мире, М., Мир, 1967, С.111-127
- 87.Майер Р.Ю. Замечание о силах неживой природы // В кн.: Майер Р.Ю. Закон сохранения и превращения энергии. Четыре исследования. М.-Л. ГТТИ. 1933. С.75-88
- 88.Грэхэм Л.Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М., Политиздат. 1991

Поправка. В первой части настоящей статьи (см. М. и С. 1997. №3) в списке литературы пропущено:  
59.Гоштейн Д.П. Остановятся ли мировые часы? (Популярное изложение учения об энтропии). М.-Л., Госэнергоиздат. 1963. С.12-16; 40, 41  
16; 40, 41