

К. РЕБАНЕ

К ПРОБЛЕМЕ ЭНТРОПИИ И ЗАЩИТЫ ПРИРОДЫ

1. Введение

В предыдущей заметке [1] было обращено внимание на некоторые стороны проблемы возрастания физической энтропии, имеющие отношение к производственной деятельности и использованию природных ресурсов на Земле. Цель настоящей заметки — высказать несколько дополнений к физическим основам проблемы энтропии в связи с защитой природы и сферы жизни.

Подход автора к проблеме является «чисто физическим» в том смысле, что исходной точкой служат известные в настоящее время основные законы физики, справедливость которых не ставится под сомнение. В частности, не ставится под сомнение применимость второго начала термодинамики — закона возрастания энтропии. Действие этого закона считается распространяющимся на биологию, на результаты жизни и деятельности живых существ в смысле их влияния на физические характеристики (энтропию) окружающей среды. Считается, что ни физика, ни биология не предоставляют вечного двигателя второго рода для решения проблем защиты природы. Сильные стороны подобного «наивно-физического» подхода заключаются в том, что, во-первых, с самого начала оставляются вне рассмотрения рассуждения, исходящие из незнания («мы не знаем, применимы ли все выводы современной физики к биологии»). Во-вторых, последовательно примененный и достаточно глубоко проведенный «наивно-физический» подход является, как показывает история физики, достаточно эффективным и конструктивным способом выявления тех конкретных объектов и ситуаций, для описания которых прежние физические знания, в том числе основные ее понятия и законы, действительно требуют коренного усовершенствования. Есть все основания надеяться, что если в физических основах биологии действительно имеются явления, объяснить которые современной физике не под силу, то они будут обнаружены именно на пути «наивно-физического» подхода.

Бесспорно, что у этого подхода есть и свои недостатки. Однако весьма трудно указать какой-нибудь другой конструктивный путь к основным проблемам биологии с позиций точных наук.

При таком подходе очевидно, что актуальнейшие в наши дни проблемы защиты природы имеют весьма существенную физическую часть, суть которой — проблемы физической энтропии. Именно энтропия является той физической основной величиной, которая в состоянии единым образом качественно (в принципе и количественно) характеризовать как производство и технический прогресс, так и загрязнение биосферы и восстановление ее чистоты.

Автору кажется, что рассмотрение физической энтропии весьма полезно для выяснения влияния развития техники и производства на природу, для правильного пони-

мания тех объективных физических трудностей, которые с необходимостью имеются в приостановлении загрязнения природы, в восстановлении загрязненных природных богатств, т. е. тех трудностей, которые включает в себе борьба против нежелательных последствий технического прогресса с помощью самого технического прогресса.

2. Вероятные свойства негэнтропии

Понятие энтропии или негэнтропии (НЭ) применимо также к сильно неравновесным состояниям и существенно открытым системам. Здесь имеются, однако, нерешенные физические проблемы. Среди них есть задачи фундаментального значения для понимания физических основ таких актуальных общих проблем науки, как возникновение и развитие жизни на Земле и вопрос о тепловой смерти в больших открытых системах.

Если экстраполировать и усилить некоторые формулировки, справедливость которых для простейших неравновесных физических процессов показана И. Пригожиным [2], то можно сформулировать следующие свойства НЭ в сильно неравновесных системах.

1. Если в системе имеется достаточно резкая разность уровней НЭ, и на этом перепаде уровней в результате общего стремления в сторону установления равновесия убывают достаточно большие количества НЭ и скорость этого убывания достаточно велика, то возникают подсистемы, в которых НЭ локально возрастает.

2. Возникновение подсистем с локально повышенной НЭ приводит в конечном итоге к более быстрому убыванию НЭ системы в целом, к более скорому и более полному установлению равновесия.

3. Чем выше ступень в «пирамиде» уровней НЭ, тем меньше степень ее надежности.

Для иллюстрации и в дополнение выдвинутых гипотез можно сказать следующее.

1. Если свойство 1 справедливо, то выходит, что, начиная с некоторой величины разности уровней НЭ, возникновение подсистем с локальным повышением НЭ неизбежно. Экстраполируя достаточно далеко, получается, что возникновение жизни в силу этого свойства в некотором смысле тоже неизбежно.

2. Конечно, локальное возрастание НЭ не может быть больше общего убывания НЭ. Как правило, локальное увеличение ничтожно мало (но оно не случайно!) в сравнении с общим убыванием НЭ всей системы.

3. Не исключено, что из многих возможных различных подсистем с локально повышенной НЭ наиболее устойчивыми окажутся и во взаимной конкуренции реализуются (на то время, пока большой поток НЭ, стремящийся к нивелированию уровней, протекает более-менее одинаковым образом) те подсистемы, которые эффективнее концентрируют и используют локальную негэнтропию (и тем самым эффективнее ускоряют рост энтропии всей системы).

4. Пример 1 (точный физический пример 2-го свойства). При интенсивном нагреве снизу слоя жидкости возникают вихри — макроскопически упорядоченные движения жидкости. Благодаря вихрям температура в жидкости **выравнивается** намного быстрее, чем это произошло бы вследствие только теплопроводности.

Пример 2 (иллюстрирующий 1 и 2-е свойства). Растительность на Земле возникла за счет негэнтропии солнечного излучения. Наличие растительности приводит к тому, что рассеянное теперь от Земли в мировое пространство излучение имеет более низкую НЭ, чем имело бы излучение, рассеянное «голой» Землей. Растения с более интенсивным процессом фотосинтеза и тем самым более интенсивно увеличивающие энтропию уходящего излучения имели (при прочих равных условиях) определенные преимущества в борьбе за существование.

Далее, животный мир возник за счет разности уровней НЭ, созданной существованием достаточно мощного растительного покрова. Вообще, экологические пирамиды

в биологии, которые можно рассматривать также как пирамиды НЭ, хорошо согласуются с обсуждаемыми гипотезами.

Сформулированное выше свойство 3 представляется очевидным: чем выше уровень в иерархии НЭ, тем больше имеется низших уровней, наличие и хотя бы минимальное благополучие которых является необходимым условием существования высокого уровня.

3. Энтропия и Земля

Возникновение и организация процессов, приводящих к локальному и временному повышению НЭ (не флуктуационного характера), требует именно разности уровней НЭ. Иными словами (и несколько упрощенно) необходимо иметь источник высокой НЭ и резервуар, способный принимать деградированную НЭ.

Земля с ее атмосферой, сушей и морями, животным и растительным миром и с созданной человеком цивилизацией представляет собой самостоятельную систему, в которой надо позаботиться о двух изложенных выше необходимых условиях: во-первых, обеспечить источники негэнтропии и, во-вторых, обеспечить удаление остаточных продуктов.

На протяжении многих миллионов лет нашим единственным помощником было Солнце. Благодаря потоку фотонов с Солнца на Землю стали возможны различные химические реакции с локальным ростом НЭ, в том числе фотосинтез.

Уходящее от Земли в мировое пространство рассеянное излучение, в свою очередь, унесло в течение миллионов лет «остаточные продукты» — чрезмерно возросшую энтропию. Эта роль излучения — «очищение» и охлаждение — несколько не менее важна, чем роль поставки высококачественной энергии.

Большой системой, за счет ускорения роста энтропии которой все и происходило, служила вселенная вместе с находящимся в ней излучением. О загрязнении вселенной беспокоиться не надо — излучение рассеивается очень далеко в очень большую вселенную (причем расширяющуюся). Принципиальной границей служит здесь реликтовое излучение вселенной: ниже его уровня (температура излучения около 3°К) деградировать уходящее излучение не имеет смысла.

В современных условиях Земли главную трудность представляет вторая часть проблемы — освобождение от «остаточных продуктов».

Действительно, весьма вероятно, что в недалеком будущем будут найдены пути к управлению термоядерными реакциями и тем самым в энергетике и технике будут взяты на вооружение очень богатые источники высокой НЭ. К сожалению, это еще не решает проблему, потому что нет ясности относительно резервуара для деградированной НЭ. Прежде всего будет иметь место общее потепление атмосферы и поверхности Земли из-за работы мощных источников атомной энергии, что, в свою очередь, может определяющим образом нарушить радиационный баланс Земли. Непосредственной большой опасности здесь может и не быть, так как можно надеяться, что увеличение интенсивности уходящего излучения может обеспечить компенсацию при несколько повышенной температуре. Но имеются еще достаточно долго живущие радиоактивные отходы, освобождаться от которых мы пока не умеем. Если их накопится много, они внесут катастрофический хаос в жизненно важные для нас уровни НЭ.

Трудности избавления от отходов обусловлены, очевидно, сильным гравитационным полем Земли. Поэтому в конечном счете и получается, что Земля освобождается от деградированной энергии только благодаря фотонам (в принципе и нейтрино), практически не подверженным тяготению.

На космическом корабле, поле притяжения которого ничтожно, проблема отходов решается легко.

В конце концов, суть дела в том, что сфера жизни на Земле является открытой физической системой только из-за того, что имеются приходящие на Землю и уходя-

щие в мировое пространство потоки излучения. В остальном биосфера Земли в хорошем приближении — замкнутая система.

Поэтому, в частности, суммарный результат (полезный продукт + все отходы) какого-нибудь производства, не использующего внешнее по отношению к Земле излучение, т. е. не использующего каналы, делающие Землю открытой системой, обязательно означает загрязнение биосферы. Грубо говоря, количество НЭ, созданной в продукте, обязательно меньше количества НЭ, убывшей в окружающей природе в результате такого замкнутого в рамках Земли производственного цикла. В принципе только в пределах возможно равенства количества НЭ — для этого процесс производства должен быть обратимым в смысле термодинамики, т. е. бесконечно медленным.

4. Защита природы для человека

В данной заметке и в [1] мы пытались показать, что физическая НЭ играет важную роль в природе и производстве, что защита природы должна исходить из самого серьезного учета НЭ.

Но природу надо охранять не для НЭ, а для человека. Поэтому прежде всего надо защищать те уровни НЭ, без которых невозможна жизнь человека как существа биологического и достойная жизнь современного человека как существа общественного. Надо сохранять, очень разумно использовать и восстанавливать запасы воздуха, воды, земель, полезных ископаемых, источники высококачественной энергии, запасы лесов, рыб, редких животных и птиц и т. д.

Выходит, что для человека защиту природы надо начинать с нижних, основных ступеней негэнтропической пирамиды (верхней частью которой является так наз. экологическая пирамида), что защита природы для человека означает защиту запасов НЭ, начиная с нижних, основных уровней.

Таковыми являются прежде всего следующие.

1) Солнечное излучение.

2) Воздух.

Мы склонны забывать при планировании производства, что тонна угля сама по себе еще не топливо, из нее может получиться топливо только вместе примерно с двумя тоннами кислорода или десятью тоннами воздуха. Сжигание тонны угля означает одновременное сжигание столба воздуха с основанием 1 м^2 и высотой во всю атмосферу.

3) Вода.

Как пресные подземные и наземные воды, так и морская вода срочно требуют защиты.

Проблемы защиты воздуха и воды требуют, кроме большого внимания к техническим и биологическим проблемам, также разработки и внедрения норм международного права.

4. Земля, леса, животные, птицы и все то, чем с переменным успехом занималась традиционная защита природы, проделавшая в конечном счете очень большую и благодарную работу.

Но должно быть ясно, что без солнечного излучения, чистого воздуха и воды защита указанных высших и нежных уровней НЭ обречена на провал.

Можно назвать три реальные возможности существенного улучшения положения дел с защитой природы.

1. Сокращение излишнего загрязнения природы и сферы жизни в производственных процессах.*

* Надо, однако, иметь в виду, что при этом нельзя идти до сильного замедления производственных процессов.

2. Восстановление запасов высокой НЭ с помощью лучшего использования солнечного излучения. **

3. Открытие и эксплуатация НЭ, запасенной на глубоких структурных уровнях вещества. Требуется, однако, самое серьезное внимание к радиоактивным остаточным продуктам.

В заключение отметим, что рассуждения данной статьи, относящиеся к защите природы, основаны на рассмотрении только конечного результата процесса или цикла процессов, т. е. они основаны непосредственно на втором начале термодинамики. Сформулированные в разделе 2 свойства НЭ не обязательны для справедливости сделанных выше заключений. Однако многое из общих физических вопросов защиты природы и физических проблем организации сферы жизни может быть объединено на базе гипотез о свойствах сильно неравновесной НЭ в неплохую цельную картину. Гипотезы раздела 2 могут, очевидно, служить также некоторой основой создания феноменологической термодинамической картины возникновения и развития жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ребане К., Изв. АН ЭССР, Физ. Матем., 19, 203 (1970).
2. Prigogine I., In: Theoretical Physics and Biology, Ed. by M. Marois, North-Holland Publishing Company, Amsterdam—London, 1969, p. 23.

*Институт физики и астрономии
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
7/II 1971

К. REBANE

ENTROOPIAST JA LOODUSKAITSEST

Artiklis on sõnastatud kolm hüpoteesi negentroopia (NE) omaduste kohta tugevasti mittetasakaalulistes süsteemides.

1. Olgu süsteemis küllalt järsk NE nivoode vahe, millel süsteemi kui terviku tasakaalu saavutamise poole püüdlevate protsesside tõttu toimub küllalt suurte NE-hulkade kahanemine. Olgu NE kahanemise kiirus küllalt suur. Siis tekivad alasüsteemid, milles NE lokaalselt kasvab.

2. Lokaalselt kõrge NE-ga alasüsteemide teke viib lõppkokkuvõttes süsteemi kui terviku NE kiiremale kahanemisele, viib kiiremini ja täielikumale tasakaalule.

3. Mida kõrgem on aste negentroopia nivoode «püramiidis», seda ebastabiilsem ta on.

On toodud neid hüpoteese illustreerivaid näiteid.

Elukeskkonna säilitamisel ja taastamisel on sölmküsimuseks tootmise jääkproduktide utiliseerimine või kahjutuks tegemine. On olemas vähemalt kolm reaalselt teed elukeskkonna saastamise piiramiseks: 1) tootmisprotsessidega seotud saastamise oluline vähendamine; 2) NE-varude taastamine päikesekiirguse täielikumale kasutamise arvel; 3) aine ehituse sügavamatel nivoodel varutud NE kasutusele võtmine. Seejuures aga tuleb ühtlasi lahendada radioaktiivsete jääkproduktide probleem.

К. REBANE

ON ENTROPY AND NATURE PROTECTION

Three hypotheses have been formulated on the negentropy (NE) in strongly non-equilibrium systems.

1. If there exists a sharp difference of levels of NE in a system, if the amounts of NE decreasing are sufficiently large and if the rate of the decrease is sufficiently high, there arise subsystems in which NE rises locally.

** В качестве источников НЭ, выгодных с точки зрения сохранения чистоты окружения, следует еще иметь в виду морские приливы и отливы, а также тепло недр Земли.

2. The formation of subsystems with a locally high NE results, finally, in a more rapid decrease of NE in the system as an entity, and leads to a more rapid and more complete equilibrium.

3. The higher the level in the "NE-pyramid", the more unstable it is.

Examples are presented to illustrate the above hypotheses.

In the problem of preservation and restoration of the natural environment, a crucial question is that of utilizing industrial wastes, or rendering them harmless. There are at least three plausible ways of limiting the pollution of the natural environment: 1) an essential abatement of the pollution connected with production processes; 2) a restoration of NE reserves on account of an improved utilization of solar energy; 3) a taking into utilization of NE reserves inherent at deeper levels of matter. Nevertheless, a simultaneous solution of the problem of liquidating radioactive wastes is imperative.