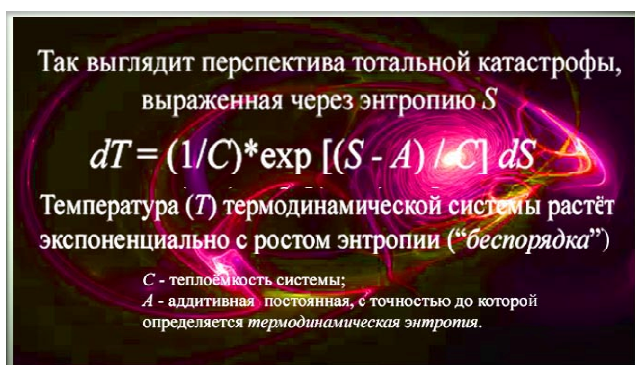


Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-(2)

В.А. Касимов (E-mail: quadrica-m@mail.ru)

Пожалуй, самой зловещей тенью, зависшей над будущим Человечества, является бесконтрольное использование колоссальных объёмов энергии. Причиной тому является энтропия – вечная тень энергии, всеобщая мера беспорядка, хаоса, результата превращения живого в неживое, упорядоченного и информационного, то есть разумного, опять-таки в хаос. Эта тень многолика, она может выступать как в ипостаси зловещего конца, так и в ипостаси созидательного начала (вспомним, Афродита возникла из пены морской, то есть из хаоса). В ипостаси зловещего конца она – неотвратима, как закон Природы. Именно об этой ипостаси и идет сейчас речь. В статье, в термодинамическом 0-приближении, приведена зависимость температуры термодинамической системы от энтропии.

Введение. Термодинамическое 0-приближение



Первый закон термодинамики

(закон сохранения энергии) имеет вид:

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \sum_i F_i dX_i \quad (1)$$

U – внутренняя энергия системы;

Q – подведённое к системе тепло;

A – (обратимая) работа внешних сил над системой;

F_i и X_i – обобщённая i -сила и обобщённая

i -координата. В стандартной термодинамике – давление (p) и объём (V);

T – температура;

S – энтропия.

В качестве единицы измерения времени в (1) удобно принять год, поскольку статданные чаще всего представляются именно за год.

Второй закон термодинамики гласит:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \geq 0. \quad (2)$$

В чисто термодинамическом приближении (при $F_i = 0$, $dX_i = 0$), согласно (1)

$$dU = \delta Q = TdS. \quad (3)$$

При $\delta Q = C\delta T$ из (3) следует

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad (4)$$

$$dS = C \frac{dT}{T} \quad (5)$$

или

$$C \ln T = S - A. \quad (6)$$

Тогда температура T и её изменение dT представляются выражениями

$$\left. \begin{aligned} T &= \exp[(S - A)/C] \\ dT &= \frac{1}{C} \exp[(S - A)/C] dS \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Здесь C и A – константы, термодинамический смысл которых очевиден:

C – теплоёмкость системы;

A – аддитивная постоянная, с точностью до которой определяется термодинамическая энтропия.

Так выглядит перспектива тотальной катастрофы, выраженная через энтропию S ¹⁾. Температура термодинамической системы растёт экспоненциально с ростом энтропии ("беспорядка"). **Это первый**

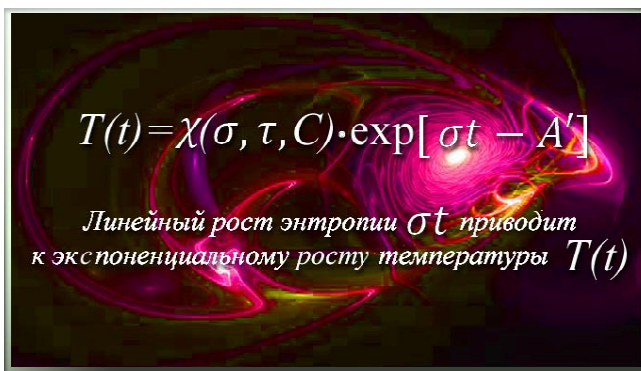
¹⁾ Следует иметь в виду, что статистическая энтропия связана с логарифмом числа микросостояний, реализующих заданное макросостояние. На практике число микросостояний – комбинаторно большое число.

важный термодинамический вывод, представленный (7). Рассмотрение проблемы с использованием (1)–(7) мы будем называть *термодинамическим 0-приближением*.

По поводу условия: $F_i = 0$, $dX_i = 0$, из которого следуют соотношения (7), необходимо сказать следующее. **В работе обобщённых сил принимают участие все динамические явления, которые происходят на суше, в морях, океанах и атмосфере. Все эти явления локализованы во времени и заканчиваются своими релаксационными процессами, то есть $\delta A \Rightarrow \delta Q$ или "теплом".** Это обстоятельство и позволяет рассматривать обратимые работы как дополнительные источники тепловых процессов.

Поскольку термодинамическая энтропия не является измеримой величиной, необходимо первым делом формализовать её меру и процедуру измерения по представленной мере. Дальнейшие итерации по достигнутым определённым должны позволить уточнить решение (7).

Линейное приближение.



Простейшую, но содержательную модель представляет линейная зависимость, которой аппроксимируется любая достаточно гладкая функция $S(t)$, как первый член разложения её ряда Тейлора. Вопрос о представимости касается только "глубины" её представления во времени.

Пусть $S = \sigma t + S_t$. Согласно (7), имеем

$$\begin{aligned} dT(t) &= \frac{1}{C} \exp\{[S(t) - A]/C\} \frac{dS}{dt} dt = \\ &= \frac{\sigma}{C} \exp\{[\sigma t + S_t - A]/C\} dt. \end{aligned}$$

Заменяя переменную $t: t \rightarrow \xi$, представим это соотношение в интегральном виде

$$T(t) = \frac{\sigma}{C} \int_t^{t+\tau} \exp\{[\sigma \xi - A']\}/C \, d\xi = \exp\{[\sigma \xi - A']\}/C \Big|_{\xi=t}^{\xi=t+\tau}, \quad (8)$$

где $A' = A - S_t$. Расставляя пределы интегрирования, получаем

$$T(t) = \chi(\sigma, \tau, C) \exp[\sigma t - A'], \quad (9)$$

где $\chi(\sigma, \tau, C) = \exp[\sigma \tau / C]$.

Задавая период $\tau_1 = t_2 - t_1$ по которому известен рост температуры ΔT_1 , можно вычислить константу σ и затем, зная константу σ , вычислить рост температуры ΔT_2 для любого другого периода $\tau_2 = t_4 - t_3$. Такие итерации можно повторять неоднократно, получая значения различных констант опытным путём.

Среда обитания человека включает атмосферу, сушу и море — на которые человек непосредственно имеет возможность воздействовать. Проявления результатов его воздействия оказываются разными в силу различия их физико-химических свойств (σ, τ, C). До всех промышленных революций (очередная — четвёртая) все три среды находились в относительном "равновесии". Явным или неявным влиянием на окружающую среду человек нарушает это равновесие, причём это влияние тем больше, чем больше и больше человек утилизирует объёмы энергии в своей деятельности. Здесь энтропия предоставляет собой единую меру влияния для каждой среды (σ_i), что позволяет определять градиенты температур между средами как начальные условия для решения последующих задач.

Свойство аддитивности энтропии [1] позволяет оценивать энтропию всей экосистемы (воздух-суша-вода) и, более того, разбивать систему на более мелкие составляющие и объединять их, что открывает

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ *единой меры* – *энтропии*.

Литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Теоретическая физика. Том V. Часть 1. "Наука", Москва, 1976

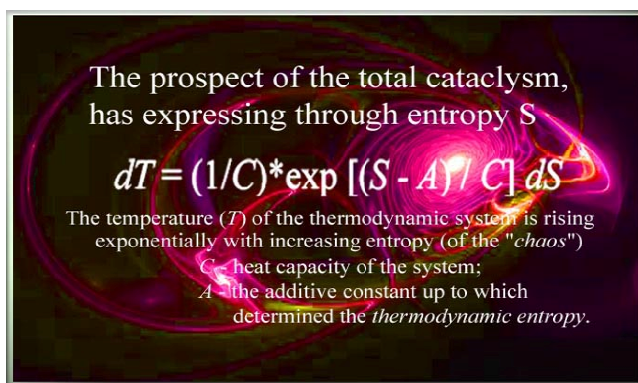
Application

Energy, market, ecology and the challenge of civilization-2

V. A. Kasimov (E-mail: quadrica-m@mail.ru)

Perhaps the most ominous shadow hanging over the future of Humanity is the uncontrolled use of enormous amounts of energy. The reason for this is entropy—the eternal shadow of energy, the universal measure of disorder, chaos, the result of the transformation of the living into the inanimate, ordered and informational, that is, intelligent, again into chaos. This shadow is many-sided, it can act as in the hypostasis of the ominous end, and in the hypostasis of the creative beginning (remember, Aphrodite arose from the foam of the sea, that is, from chaos). In the form of an ominous end, it is inevitable, like a law of Nature. It is about this hypostasis that we'll now talking. In the article, in the thermodynamic 0-approximation, the dependence of the temperature of a thermodynamic system on entropy is given.

Introduction. Thermodynamic 0-approximation



The first law of thermodynamics

(the law of conservation of energy) has the form:

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \sum_i F_i dX_i \quad (1)$$

U – the internal energy of the system;
 Q – heat supplied to the system;
 A – (reversible) work of external forces on the system;
 F_i and X_i – generalized i -force and generalized i -coordinate. In standard thermodynamics – pressure (p) and volume (V);
 T – temperature;
 S – entropy.

As a unit of time in (1), it is convenient to take a year, since statistical data are most often presented for the year.

The second law of thermodynamics states:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \geq 0. \quad (2)$$

In a purely thermodynamic approximation (for $F_i = 0$, $dX_i = 0$), according to (1)

$$dU = \delta Q = TdS. \quad (3)$$

When $\delta Q = C\delta T$ from (3) follows

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad (4)$$

$$dS = C \frac{dT}{T} \quad (5)$$

or

$$C \ln T = S - A. \quad (6)$$

Then the temperature T and its change dT are represented by expressions

$$\left. \begin{aligned} T &= \exp[(S - A)/C] \\ dT &= \frac{1}{C} \exp[(S - A)/C] dS \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Here C and A are constants whose thermodynamic meaning is obvious:

C – heat capacity of the system;

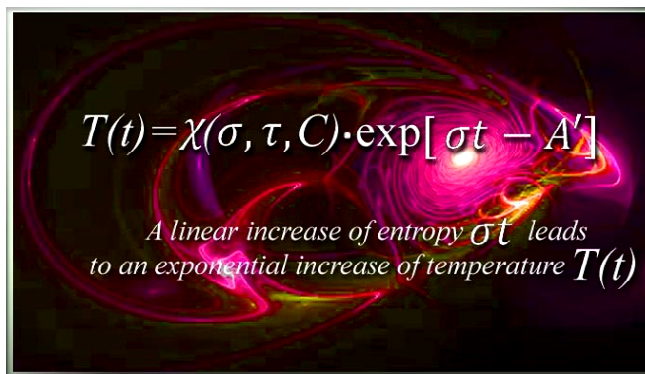
A – the additive constant to which the thermodynamic entropy is determined.

This is the prospect of total catastrophe, expressed in terms of entropy S ²⁾. The temperature of a thermodynamic system increases exponentially due to an increase in entropy ("chaos"). **This is the first important thermodynamic conclusion presented by (7)**. Consideration of the problem using (1)–(7) we will call *thermodynamic 0-approximation*.

Regarding the condition: $\delta A \Rightarrow \delta Q$, from which the relations (7) follow, it is necessary to say the following. **The work of generalized forces involves all dynamic phenomena that occur on land, in the seas, oceans and atmosphere. All these phenomena are localized in time and end with their relaxation processes, that is, $\delta A \Rightarrow \delta Q$ i.e. "heat"**. This circumstance allows to consider reversible works as additional sources of thermal processes.

Since thermodynamic entropy is not a measurable quantity, it is necessary first of all in order to formalize its *measure* and measurement procedure according to this measure. Further iterations on the achieved determinations should allow to Refine the solution (7).

Linear approximation.



The simplest but meaningful model is represented by a linear dependence, which approximates any sufficiently smooth function $S(t)$ as the first term of the Taylor series expansion. The question of representability concerns only the "depth" of its representation in time.

Let $S = \sigma t + S_t$. According to (7), we have

$$\begin{aligned} dT(t) &= \frac{1}{C} \exp\{[S(t) - A]/C\} \frac{dS}{dt} dt = \\ &= \frac{\sigma}{C} \exp\{[\sigma t + S_t - A]/C\} dt \end{aligned}$$

Replacing the variable t : $t \rightarrow \xi$, we present this relation in integral form

$$T(t) = \frac{\sigma}{C} \int_t^{t+\tau} \exp\{[\sigma \xi - A']\}/C\} d\xi = \exp\{[\sigma \xi - A']\}/C\} \Big|_{\xi=t}^{\xi=t+\tau}, \quad (8)$$

where $A' = A - S_t$. Placing the limits of integration, we get

$$T(t) = \chi(\sigma, \tau, C) \exp[\sigma t - A'], \quad (9)$$

where $\chi(\sigma, \tau, C) = \exp[\sigma\tau/C]$.

By specifying the period $\tau_1 = t_2 - t_1$ for which the temperature rise ΔT_1 , is known, one can calculate the constant σ and then, knowing the constant σ , calculate the temperature rise ΔT_2 for any other period $\tau_2 = t_4 - t_3$. Such iterations can be repeated repeatedly, obtaining the values of different constants empirically.

The human environment includes the atmosphere, land and sea - on which man directly has the opportunity to influence. Manifestations of the results of its action are different due to the difference in their physical and chemical properties (σ, τ, C). Before all industrial revolutions (the next - the fourth) all three environments were in relative equilibrium. By an explicit or implicit influence on the environment, a person violates this equilibrium, and this influence is greater the more and more a person uses the amount of energy in his activities. Entropy provides a single measure of influence for each environment (σ_i), which allows us to determine the temperature gradients between environments as the initial conditions for solving subsequent problems.

²⁾ It should be borne in mind that *statistical* entropy is associated with the logarithm of the number of *microstates* implementing a given *macrostate*. In practice, the number of microstates is a combinatorial large number.

The property of the additivity of entropy [1] allows us to estimate the entropy of the entire ecosystem (air-land-water) and, moreover, to break the system into smaller components and combine them, which opens up new opportunities for assessing global thermodynamic characteristics on the basis of a *single measure – entropy*.

Literature

1. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. Statistical physics.

Theoretical physics. Volume V. Part 1. "Science", Moscow, 1976. <https://www.dropbox.com/s/upedvj5ahdwj1w9/LandauT5.pdf?dl=0>