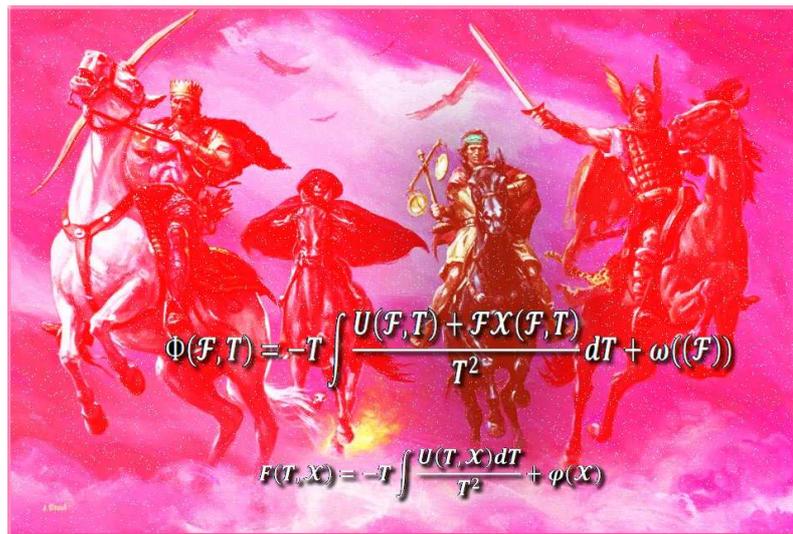


# "Третий всадник Апокалипсиса"

(Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-(5))

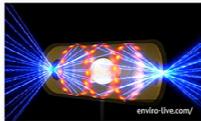
В.А. Касимов (E-mail: [quadrica-m@mail.ru](mailto:quadrica-m@mail.ru))



Я взглянул, и вот,  
конь вороный, и на нем всадник,  
имеющий меру<sup>1)</sup> в руке своей.

## Ответ на «энергетический вызов»

Лекция о переломе в мире термоядерного реактора (ITER)  
Лектор: Анатолий Красильников 05.09.2011, 15:27



Запасы ископаемых топлив истощаются, и человечеству уже в ближайшие 50 лет понадобится альтернативная энергетика. Проект Международного экспериментального термоядерного реактора (ITER) должен показать возможность использования энергии ядерного синтеза для обеспечения потребителей, рассказывает директор агентства ITER Россия, д. ф. м. н. Анатолий Красильников.

[https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05\\_a\\_3756341.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05_a_3756341.shtml)

## Человек и Земля <sup>[1]</sup>

На данном этапе развития цивилизации можно смело сказать, что перед человечеством стоит "энергетический вызов". Он обусловлен сразу несколькими фундаментальными факторами:

– *Человечество сейчас потребляет огромное количество энергии.*

**В настоящее время потребление энергии в мире составляет 15.7 тераватт (ТВт).** Разделив эту величину на население планеты, мы получим примерно

2400 на человека, что можно легко оценить и представить себе. Потребляемая каждым жителем Земли (включая детей) энергия соответствует круглосуточной работе 24-х 100-ваттных электрических ламп.

– *Мировое потребление энергии быстро растёт.*

По прогнозу Международного агентства по энергетике (2006 год), **мировое потребление энергии к 2030 году увеличится на 50%.**

**В настоящее время 80% потребляемой миром энергии создаётся за счёт сжигания ископаемых природных топлив (нефть, уголь и газ),** использование которых потенциально несёт опасность катастрофических экологических изменений.

У жителей Саудовской Аравии популярна следующая шутка: «Мой отец ездил на верблюде. Я обзавелся автомобилем, а мой сын уже управляет самолетом. Но вот его сын вновь переседет на верблюда». Похоже, что дела обстоят именно так, поскольку, по всем серьезным прогнозам, запасы нефти в мире закончатся в основном примерно через 50 лет

Даже на основании оценок Геологической службы США (этот прогноз значительно оптимистичнее остальных), рост мировой добычи нефти будет продолжаться не более 20 ближайших лет (другие специалисты предсказывают, что пик добычи будет достигнут уже через 5–10 лет), после чего объем

<sup>1)</sup> В качестве этой "меры" мы видим меру беспорядка – энтропию.  
Copyright © Касимов В.А. Новосибирск. 2020 г.

добываемой нефти начнет уменьшаться со скоростью около 3% в год. Перспективы добычи природного газа выглядят ненамного лучше. Обычно говорят, что каменного угля нам хватит еще на 200 лет, но этот прогноз основан на сохранении существующего уровня добычи и расхода. Между тем потребление угля сейчас возрастает на 4,5% в год, что сразу сокращает упомянутый период в 200 лет всего до 50 лет.

Таким образом, уже сейчас следует готовиться к окончанию эпохи использования ископаемых типов горючего.

К сожалению, существующие сейчас альтернативные источники энергии не в состоянии покрыть растущих потребностей человечества. По самым оптимистичным оценкам, максимальное количество энергии (в указанном тепловом эквиваленте), создаваемое перечисленными источниками, составляет всего 3 ТВт (ветер), 1 ТВт (гидростанции), 1 ТВт (биологические источники) и 100 ГВт (геотермальные и морские установки). Суммарное количество дополнительной энергии (даже в этом, самом оптимальном прогнозе) составляет лишь около 6 ТВт. При этом стоит отметить, что разработка новых источников энергии является очень сложной технической задачей, так что стоимость производимой ими энергии будет в любом случае выше, чем при привычном сжигании угля и т. п. Представляется совершенно очевидным, что человечество должно искать какие-то иные источники энергии, в качестве которых в настоящее время реально можно рассматривать только Солнце и реакции термоядерного синтеза.

Потенциально Солнце представляет собой практически неистощимый источник энергии. Количество энергии, попадающей всего на 0,1% поверхности планеты, эквивалентно 3,8 ТВт (даже при условии его преобразования с эффективностью всего 15%). Проблема заключается в нашем неумении улавливать и преобразовывать эту энергию, что связано как с высокой стоимостью солнечных батарей, так и с проблемами накопления, хранения и дальнейшей передачи получаемой энергии в требуемые регионы.

В настоящее время на атомных электростанциях в широких масштабах получают энергию, выделяющуюся при реакциях деления атомных ядер. Я (Анатолий Красильников) полагаю, что следует всячески поощрять создание и развитие таких станций, однако при этом необходимо учитывать, что запасы одного из важнейших для их работы материала (дешевого урана) также могут быть полностью израсходованы в течение ближайших 50 лет.

Еще одним важным направлением развития является использование ядерного синтеза (слияния ядер), которое выступает сейчас в качестве основной надежды на спасение, хотя время создания первых термоядерных электростанций пока остается неопределенным. Именно этой теме посвящена данная лекция.

### Земля и Солнце <sup>[2]</sup>



[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F)

В верхние слои атмосферы Земли постоянно поступает 174 ПВт солнечного излучения (инсоляции). Около 6% инсоляции отражается от атмосферы, 16% поглощается ею. Средние слои атмосферы в зависимости от погодных условий (облака, пыль, атмосферные загрязнения) отражают до 20% инсоляции и поглощают 3%.

Атмосфера не только уменьшает количество солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, но и диффундирует около 20% с того что поступает, и фильтрует часть его спектра. После прохождения атмосферы около половины инсоляции находится в видимой части спектр. Вторая половина находится преимущественно в инфракрасной части спектра. Только незначительная часть этой инсоляции приходится на ультрафиолетовое излучение.

Солнечное излучение поглощается поверхностью суши, океанами (покрывают около 71 % поверхности земного шара) и атмосферой. Абсорбция солнечной энергии через атмосферную конвекцию, испарение и конденсация водяного пара является движущей силой круговорота воды и управляет ветрами. Солнечные лучи абсорбированы океаном и сушей поддерживает среднюю температуру на поверхности Земли, что ныне составляет 14 °С. Благодаря фотосинтезу растений солнечная энергия может превращаться в химическую, которая хранится в виде пищи, древесины и биомассы, которая в конце концов превращается в ископаемое топливо.

Для справок		
Пега-	П	10 <sup>15</sup>
Тера-	Т	10 <sup>12</sup>
Гига-	Г	10 <sup>9</sup>
Мега-	М	10 <sup>6</sup>

### О главном

С тех пор как существует жизнь на Земле прошли миллионы лет. Именно благодаря удачному расположению Земли относительно Солнца возникла и беспрепятственно развивалась Жизнь. Солнечная энергия успешно утилизовалась с помощью возникших и эволюционирующих трофических цепочек питания живого мира. Это продолжалось до тех пор, пока именно человек не приобрёл навыки искусственного преобразования энергии и её использования в своих нуждах. Предыдущий период можно по-сути назвать "безэнтропийной" утилизацией солнечной энергии, поскольку природа удачно справлялась с этим проявлением Жизни. Безэнтропийная же жизнь закончилась с того момента, когда человек научился добывать огонь.



Коротко об эволюции  
Человечества

При анализе цифр, приведённых выше, необходимо иметь в виду следующие факты.

Оценка поглощения Землёй энергии Солнца составляет примерно 0.027%. Много это или мало? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо понять **характер равновесия природы, позволивший беспрепятственно существовать жизни на Земле на протяжении миллионов лет.**

Известные типы равновесия можно представить на примерах описания шарика, находящегося в потенциальном поле: стабильное состояние в потенциальной яме (рис.1), метастабильное состояние (рис.2), условно стабильное состояние (рис.3).

Здесь с помощью шарика можно представить Землю, находящуюся в жизнеспособном для человека состоянии; с помощью поля — сумму сил и условий, влияющих на жизнеспособность. Так, рис.1 описывает устойчивую систему относительно любых влияний; рис.2 — абсолютно неустойчивую систему; рис.3 — условно устойчивую систему, для которой существует область устойчивости (a, b).

Разумеется, Земля является системой третьего типа.

Судя по представленным данным, приведённым в [1, 2], постоянное поступление энергии от Солнца составляет



Рис.1. Стабильное состояние

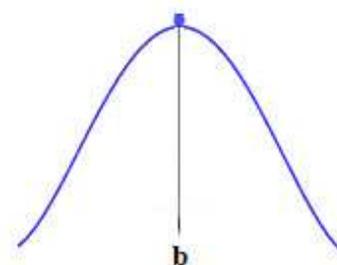


Рис.2. Метастабильное состояние

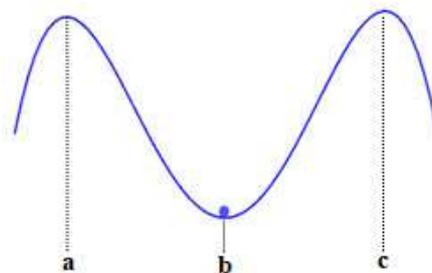


Рис.3. Условно стабильное состояние

174 000 ТВт. Из них 26% отражается от верхних и средних слоёв атмосферы, что составляет (30 000 – 50 000) ТВт. Энергия в объёме (124 000 - 144 000) ТВт поступает далее, достигая поверхности Земли и нижних слоёв атмосферы.

Эта энергия адсорбируется в конвекцию, испарение, конденсацию водного пара, являясь движущей силой круговорота воды, ветров, бурь и стихий. Солнечная энергия поглощается океанами морями и сушей поддерживая среднюю температуру 14°С.

Разумеется, эти данные требуют своего научного подтверждения, поскольку нет единого мнения о их происхождении и методах оценки. Тем не менее, возникает вопрос о вилке стабильности (а, с). Дело в том, что ранее природа успешно справлялась с собственными пертурбациями находясь в пределах этой вилки, однако какова "ширина" вилки до сих пор не известно – ни в качественном, ни в количественном отношении. Тем не менее, и здесь возникает вопрос о вилке. Хорошо известно, что события прошлого века, связанные с накоплением запаса неодолимого самоуничтожения цивилизации значительно сузили эти рамки. Запас этот до сих пор существует и угрожает человечеству. Даже, если разум человека предотвратит сценарий разлетающихся в щепки городов, эта "дурная" энергия сама по себе не исчезнет. Её полную дезактивацию может реализовать только самораспад или взрыв. Период полураспада  $^{235}\text{U}$  составляет 700 млн. лет,  $^{239}\text{Pu}$  – 24.4 тыс. лет. Использование же этой энергии в качестве ядерного горючего в атомных станциях оставляет след в виде радиоактивных отходов, которые ничем не лучше исходного топлива и имеют неприемлемые характеристики по временам распада.

Физический принцип Ле Шателье [3] гласит: *Если находящаяся в равновесии система подвергается внешнему воздействию, равновесие смещается в таком направлении, которое способствует ослаблению этого воздействия.*

Природа не оставляет без следа нарушения равновесия – она обязательно ответит на это должным образом, но когда – это неизвестно. Однако и Чернобыль, и Фукусима – это уже было.

Часы же Судного дня<sup>2)</sup> по состоянию на 24.01.2020, символизирующие самые опасные периоды времени для человечества, перевели на 20 секунд ближе к полуночи. Причины этому: возросшая опасность ядерной войны, катастрофическое изменения климата из-за неразумной экологической политики крупных стран, а также враждебность в киберпространстве. Для улучшения ситуации лидеры США и России должны вернуться за стол переговоров и остановить гонку вооружения, а также восстановить действие международных ядерных договоров (<https://www.gazeta.ru/social/2020/01/23/12925238.shtml>). Это представляет собой пример точки бифуркации, разрешение которой находится в сфере влияния человеческого разума.

Другой пример представляет возможный "метановый сценарий", который уже был реализован природой в геологической эволюции Земли (по оценкам учёных около миллиона лет назад). Этот сценарий уже не поддаётся регламентации разумом человека и в нём нет возможности для человека остановить ход часов Судного дня.

**Процесс начинается с повышения средней температуры окружающей среды вследствие увеличения процентного содержания в атмосфере углекислого газа всего на несколько градусов .** Далее начинается процесс выделение из недр Земли природного метана. Запасы метана и используемых бутана и пропана сравнимы, поскольку у них родственные причины происхождения. В результате меняется состав атмосферы, её химические и физические свойства – теплоёмкость, альбеда Земли как небесного тела, и другие. Рукотворные источники тепловой энергии приобретают силу, способную запустить этот чудовищный процесс. Загрязнение верхних слоёв атмосферы при сжигании угля и другие источники загрязнения включают "помощь" небесного светила – отражательная способность Земли

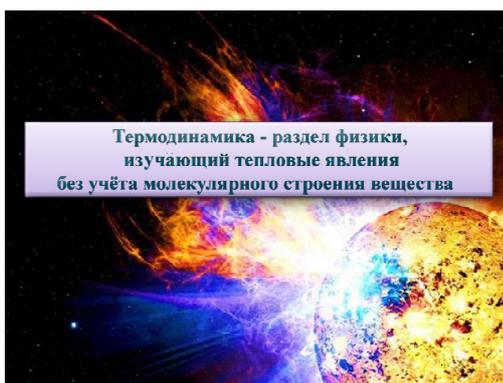
<sup>2)</sup> Часы Судного дня (англ. Doomsday Clock) — проект журнала Чикагского университета «Бюллетень учёных-атомщиков», начатый в 1947 году создателями первой американской атомной бомбы.

снижается, всё более и более увеличивая её поглощающую способность. Если ранее леса защищали нас от углекислого газа, то их беспрецедентной вырубкой и уничтожением мы лишаемся единственной возможности – остановить этот процесс. Именно поэтому нас интересует термодинамический аспект проблемы.

Разумеется, методы равновесной термодинамики применимы лишь условно и для грубых оценок. Однако, как предложено в [6, замечание 1], в Первый закон термодинамики можно ввести для оценок третий член, учитывающий диссипативный переход полезной (кинематической) составляющей энергии среды в тепловую. Энергию безвозвратно переходящую в тепло в этом случае становится возможным "арифметизовать" величиной прироста термодинамической энтропии, пользуясь свойством однонаправленности и необратимости процесса. Речь же должна идти об изменениях ширины (а, с) интервала стабильности состояния экосистемы, а не о сравнении абсолютных величин энергии поставляемых Солнцем и внутренними земными источниками.

Что касается температурных характеристиках интервала, некоторые возможности определения функциональной связи температуры и энтропии в интервале стабильности приведены в [5, 6]. В работе [6] приведено интегральное уравнение, связывающее изменение температуры с изменением энтропии.

Принципы обработки информации для оценки и измерения термодинамических параметров с использованием статистических методов - принципов инвариантности, максимума энтропии и правдоподобия, приведены в [7].



### Термодинамическое приближение.

#### Факторизация причин (наброски)

*При термодинамическом подходе ("стационарность" и равновесность) мы не можем надеяться на описание динамики процессов, зато вполне можем рассчитывать на оценку потенциала этих процессов, динамику же процессов мы можем получить из наблюдений и измерений.*

Наша цель - найти наиболее общим термодинамическим способом зависимость  $T(S)$  с помощью метода термодинамических функций [9], что позволяет подойти к измерениям и оценкам формально неизмеримых термодинамических параметров, таких как энтропия и других потенциалов с помощью статистических методов оценки.

Следуя *термодинамическому приближению* [5], "полезная"<sup>3)</sup> составляющая внутренней энергии  $U$  связана с возможностью её использования с минимальным ростом энтропии, а в уравнении

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

описывается вторым членом<sup>4)</sup>. "Бесполезная" энергия, связанная с её деградацией, описывается первым членом, условием

$$\delta Q = TdS \quad (ii)$$

и энтропией  $S$ .

Пусть

$$\sum_i F_i dX_i = \mathcal{F} dX, \quad (iii)$$

тогда

$$\mathcal{F}(X) = \sum_i F_i \left( \frac{\partial X}{\partial x} \right)^{-1} \quad (iv)$$

при

$$\mathcal{F} = \mathcal{F}(X).$$

Из (i) следует

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \mathcal{F} dX \quad (v)$$

<sup>3)</sup> Накопленная на данный момент времени.

<sup>4)</sup> Этим членом учитывается энергия и условно незатухающих природных процессов (например, атмосферных).

Здесь мы представили второй член в (i) без знака суммы. Это необходимо для дальнейшего рассмотрения.

Тогда, после очевидных преобразований

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \mathcal{F}d\mathcal{X} = d(TS) - SdT - d(\mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} = \\ +d(TS - \mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT,$$

получаем

$$d(U - TS + \mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT,$$

$$d\Phi = \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT$$

(vi)

где  $\Phi$  – термодинамический потенциал свободной энергией Гиббса<sup>5)</sup>.

Таблица 1

Кроме свободной энергии Гиббса в термодинамике известны и другие термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия Гельмгольца. Эти функции содержат всю термодинамическую информацию о системе. Их интегральные представления и естественные переменные представлены в Таблице 1:

Таблица 1

Внутренняя энергия (адиабатический потенциал):	$U = U(S, \mathcal{X});$ $dU = TdS - \mathcal{F}d\mathcal{X}$	Энтальпия (теплосодержание):	$W = W(S, \mathcal{F}) = U + \mathcal{F}\mathcal{X};$ $dW = TdS + \mathcal{X}d\mathcal{F}$
Изотермический потенциал (потенциал Гельмгольца):	$F(T, \mathcal{X}) = U - TS;$ $dF = -SdT - \mathcal{F}d\mathcal{X}$	Термодинамический потенциал (потенциал Гиббса):	$\Phi(\mathcal{F}, T) = U - TS + \mathcal{F}\mathcal{X};$ $d\Phi = -SdT + \mathcal{X}d\mathcal{F}$

Зная любой из четырех потенциалов как функцию естественных переменных, можно с помощью соответствующего уравнения термодинамики (Таблица 1) найти все другие термодинамические функции и параметры системы.

Повторяя действия аналогичные вышеприведённым со свободной энергией Гиббса, получим дифференциальное соотношение для свободной энергии Гельмгольца:

$$dF = -SdT - \mathcal{F}d\mathcal{X},$$

и энтальпии

$$dW = TdS + \mathcal{X}d\mathcal{F}.$$

Изменение внутренней энергии  $dU$  термодинамической системы обуславливается передачей тепла  $dQ = TdS$  и работой обобщённых сил  $\mathcal{F}d\mathcal{X}$ . Первый фактор при передаче тепловой энергии системе всегда связан с увеличением энтропии, влияние второго фактора на изменение энтропии определяется типом процесса.

Изменение энтальпии  $dW$  при неизменной сумме внешних сил  $d\mathcal{F} = 0$  соответствует изменению энтропии. При этом увеличение или уменьшение энтропии определяется типом термодинамического процесса происходящего в системе.

Наибольшее значение в конкретных термодинамических расчетах имеют два последние потенциала – энергия Гельмгольца  $F$  и энергия Гиббса  $G$ , так как их естественные переменные наиболее удобны для химии. Они имеют свой физико-химический смысл.

Наибольшее значение в конкретных термодинамических расчетах имеют два последние потенциала – энергия Гельмгольца  $F$  и энергия Гиббса  $\Phi$ , так как их естественные переменные наиболее удобны для химии. Они имеют свой физико-химический смысл.

Уменьшение энергии Гельмгольца в каком-либо процессе при  $T = \text{const}$ ,  $\mathcal{X} = \text{const}$  равно максимальной механической работе, которую может совершить система в этом процессе:  $F_1 - F_2 = A_{\text{max}} (= A_{\text{обр}})$ . Таким образом, энергия  $F$  равна той части внутренней энергии ( $U = F + TS$ ), которая может превратиться в работу.

Аналогично, уменьшение энергии Гиббса в каком-либо процессе при  $T = \text{const}$ ,  $\mathcal{F} = \text{const}$  равно максимальной полезной (немеханической) работе, которую может совершить система в этом процессе:

<sup>5)</sup> В традиционной термодинамике газа это соотношение выглядит так:  $d\Phi = VdP - SdT$ , где  $V$  - объём занимаемый газом,  $P$  - давление газа.

$\Phi_1 - \Phi_2 = A_{\text{пол}}$ . Зависимость энергии Гельмгольца (Гиббса) от  $\mathcal{X}$  ( $\mathcal{F}$ ) вытекает из соответствующего уравнения термодинамики (вторая строка Таблицы 1).

Следует отметить, что "полезная" работа (второй член в (i)) также сопровождается диссипативными процессами. Однако мы можем разбить второй член  $\sum_i F_i dX_i$  в (i) на три составляющие – *диссипативную* ( $dS > 0$ ), *адиабатическую* ( $dS = 0$ ) и *негэнтропийную* ( $dS < 0$ ). Первую составляющую объединим с первым членом (i) (свойство аддитивности энтропии позволяет это сделать), вторую и третью составляющие в (i) будем понимать как чисто негэнтропийные, причём именно третья составляющая описывает снижение энтропии системы. Таким образом мы снова сможем снова перейти к форме соотношения (i), где левый член – энтропийный, а второй – негэнтропийны. *Поскольку адиабатические процессы происходят с  $S = 0$  необратимое повышение температуры термодинамической системы будет описываться первым членом (i). Негэнтропийная же член способствует учёту фактора снижения температуры.*

Термодинамические потенциалы, приведённые в Таблице 1, являются полным дифференциалами в своих естественных переменных. Это приводит к перекрёстным равенствам, которые, например, для внутренней энергии  $U(S, \mathcal{X})$  принимают вид :

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_x, \quad P = -\left(\frac{\partial U}{\partial \mathcal{X}}\right)_s, \quad (\text{IX})$$

а условие полного дифференциала  $dU$  как функции естественных переменных  $(S, \mathcal{X})$  к равенству

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \mathcal{X}}\right)_s = -\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial S}\right)_x \quad (\text{X})$$

Лучшее объяснение сути термодинамических методов представить практически невозможно, чем прямое цитирование авторов [9]<sup>6)</sup>. Текст выделен цветом.

*Зная любую из термодинамических функций, мы можем в принципе найти все термодинамические свойства системы включая и её теплоёмкости, и уравнения состояния.*

Так, например, зная  $\Phi(\mathcal{F}, T)$ , находим по формуле  $(\partial\Phi/\partial T)_{\mathcal{F}} = -S$  энтропию и, следовательно, теплоёмкость  $C_{\mathcal{F}} = T(\partial S/\partial T)_{\mathcal{F}}$ , а из формулы  $(\partial\Phi/\partial \mathcal{F})_T = \mathcal{X}$  находим связь между  $\mathcal{F}, \mathcal{X}, T$ , то есть уравнение состояния.

Следует, однако, подчеркнуть, с другой стороны, что термодинамика даёт нам только соотношения между термодинамическими функциями и их производными, позволяя решать ряд конкретных термодинамических задач, если хотя бы одна функция известна. *Нахождение же явного вида любой термодинамической функции требует помимо термодинамических соотношений знания уравнений состояния и зависимости теплоёмкости от температуры.* (Напоминаем, что производные типа  $(\partial C_x/\partial \mathcal{X})_T, (\partial C_l/\partial l)_x$  и т.д. могут быть найдены термодинамическими методами). Действительно, уже для нахождения внутренней энергии  $U$  требуется знание производных

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_x = C_x, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial \mathcal{X}}\right)_T = -\mathcal{F} + T\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial T}\right)_x$$

Таким образом, соотношение между информацией, которую содержат термодинамические потенциалы  $(U, F, W, \Phi)$ , с одной стороны и информацией, содержащейся в уравнении состояния и в зависимости теплоёмкости от температуры, с другой стороны, имеют двойственный характер.

*Зная термодинамические функции, мы можем с помощью термодинамических соотношений найти и вид уравнения состояния и теплоёмкость (любую).* Мы увидим, что в статистической физике используется именно такой путь – вычисляются независимым образом по формулам статистической физики термодинамические функции, после чего с помощью термодинамических соотношений (Таблица 1) находится уравнение состояния и теплоёмкость.

<sup>6)</sup> [9] Стр. 71 – по изданию 1972 г. , стр. 97 – по изданию 2000 г.

С другой стороны, для нахождения термодинамических функций в рамках термодинамики, необходимо знать уравнение состояния и зависимость теплоёмкости от температуры. Вид этих зависимостей должен быть почерпнут из статистической физики или из опыта.

Заметим, однако, что уравнение состояния, энтропия и теплоёмкости находятся путём простого дифференцирования только в случае, если термодинамические потенциалы заданы, как функции "своих" аргументов. Если же термодинамический потенциал задан в "чужих" переменных, то задача сводится к дифференциальному уравнению в частных производных, для решения которого требуется указать некоторое граничное условие.

Например, если внутренняя энергия задана как функция  $T$  и  $X$ , то переходим к уравнению для свободной энергии Гельмгольца

$$F(T, X) = U(T, X) - TS(T, X) = U(T, X) + T \frac{\partial F(T, X)}{\partial T} \quad (\text{XI})$$

Это уравнение называется уравнением Гиббса-Гельмгольца. Для его интегрирования поделим обе части на  $T^2$  и запишем (XI) в виде

$$\frac{T \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_X - F}{T^2} = \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{F}{T} \right)_X = -\frac{U}{T^2},$$

откуда

$$F(T, X) = -T \int \frac{U(T, X) dT}{T^2} + \varphi(X) \quad (\text{XII})$$

где  $\varphi(X)$  – произвольная функция обобщённой координаты, для определения которой необходимо задать граничные условия. С аналогичными ситуациями мы сталкиваемся при задании других термодинамических потенциалов в "чужих" переменных.

В заключении подчеркнём, что метод исследования термодинамических потенциалов с помощью термодинамических функций является наиболее удобным и в настоящее время практически единственным применяемым методом решения конкретных термодинамических задач. Этот метод был создан Д. Виллардом Гиббсом.

В таблице 1 показаны взаимосвязи изменений термодинамических потенциалов и их аргументов. Параметры реализации (включая временные) этих взаимосвязей как релаксаций, определяются типами процессов реализующих эти релаксации. **Равновесная термодинамика не сможет дать ответы на возникающие вопросы по эволюции этих процессов. Кроме того, результаты оценок можно будет представить лишь как средние по ограниченной области, влияющей на окружение.** Однако оценить и конкретизировать потенциал каждого фактора на данный момент времени вполне возможно, а динамику релаксаций измерять и моделировать с помощью моделирования в альтернативных вычислительных вариантах [7].

После достижения очередной определённости по составляющим факторам, влияющих на свойства среды, можно обратиться к члену со знаком  $\Sigma$  в (i) с уточняющей и более тонкой расчётной моделью на основе термодинамического принципа дуализма "температура–энтропия" [9]. Нас более всего интересуют химические и кинематические факторы.

**Первые** как источники фотосинтеза и окислительных реакций горения. Именно они в большей мере и определяют нарушение человеком баланса в экосфере: экзотермические реакции – выделяющие тепло (+Q) и эндотермические – поглощающие тепло (–Q). Экзотермические реакции увеличивают температуру среды и её энтропию и именно они составляют предмет человеческой деятельности. Эндотермические – уменьшают температуру и энтропию, и связаны они с фотосинтезом. С другими факторами как свидетельствует многотысячелетний опыт эволюции биосферы, в том числе и человечества, природа справляется сама.

Уравнение Гиббса-Гельмгольца для термодинамического потенциала Гиббса  $\Phi(\mathcal{F}, T)$  принимает вид:

$$\Phi(\mathcal{F}, T) = U(\mathcal{F}, T) - TS(\mathcal{F}, T) + \mathcal{F}\mathcal{X}(\mathcal{F}, T) = U(\mathcal{F}, T) + T \left( \frac{\partial F(T, \mathcal{X})}{\partial T} \right)_{\mathcal{F}} + \mathcal{F}\mathcal{X}(\mathcal{F}, T) \quad (\text{XIII})$$

или

$$T \left( \frac{\partial F(T, \mathcal{X})}{\partial T} \right)_{\mathcal{F}} - \Phi(\mathcal{F}, T) = -U(\mathcal{F}, T) - \mathcal{F}\mathcal{X}(\mathcal{F}, T).$$

После деления на  $T^2$  получаем

$$\frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{\Phi(\mathcal{F}, T)}{T} \right)_{\mathcal{F}} = \frac{-U(\mathcal{F}, T) - \mathcal{F}\mathcal{X}(\mathcal{F}, T)}{T^2}$$

Тогда

$$\Phi(\mathcal{F}, T) = -T \int \frac{U(\mathcal{F}, T) + \mathcal{F}\mathcal{X}(\mathcal{F}, T)}{T^2} dT + \omega(\mathcal{F}) \quad (\text{XIV})$$

Это уравнение может использоваться для рассмотрения химических факторов.

**Вторые** как механическая энергия в природе – кинетическая энергия движения (ветры в атмосфере и течения рек, морей и океанов ...) и потенциальная (например, гидростанции, водопады ...). Природная кинетическая энергия в природе – это ни что иное, как причина большинства природных катаклизмов. Уравнение для учёта кинетических факторов представлено соотношением (XII).

Аналогичным образом решаются задачи нахождения зависимости температуры  $T$  от энтропии  $S$  – в первом

$$\frac{\partial}{\partial T} (\Phi(\mathcal{F}, T))_{\mathcal{F}} = -S, \quad (\text{XV})$$

и втором случаях

$$\frac{\partial}{\partial T} (F(T, \mathcal{X}))_{\mathcal{X}} = -S \quad (\text{XVI})$$

\*\*\*\*\*

*Продолжение следует ...*

## Литература<sup>7)</sup>

1. [Анатолий Красильников](https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05_a_3756341.shtml). Лекция о первом в мире термоядерном реакторе (ITER). 05.09.2011. [https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05\\_a\\_3756341.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05_a_3756341.shtml)
2. Солнечная энергия. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F)
3. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика (стр. 186). <https://www.academia.edu/41709475/>  
<https://www.dropbox.com/s/up14hlpeq2tmjd9/Landau-GPh.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/2yAF/4FJwoYnrT>  
[http://quadrica.ucoz.net/publ/l\\_d\\_landau\\_a\\_i\\_akhiezer\\_e\\_m\\_lifshic\\_kurs\\_obshej\\_fiziki\\_mekhanika\\_i\\_molekuljarnaja\\_fizika/1-1-0-82](http://quadrica.ucoz.net/publ/l_d_landau_a_i_akhiezer_e_m_lifshic_kurs_obshej_fiziki_mekhanika_i_molekuljarnaja_fizika/1-1-0-82)
4. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации. <https://www.academia.edu/40942849/>

<sup>7)</sup> По независящим от нас обстоятельствам (смутное время Интернета) ссылки могут не срабатывать при непосредственном обращении к ним. Однако при копировании их в адресную строку браузера можно заставить их работать.

<http://vixra.org/pdf/1911.0276v1.pdf>  
<https://www.dropbox.com/s/7zui96s0cic86jl/Energy.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/5G2H/3xWSS7Cc4>

*Пожалуй, самой зловещей тенью, зависшей над будущим Человечества, является бесконтрольное использование колоссальных объёмов энергии. “Брачный союз” рынка с энергетикой способен породить экологическое чудовище, которое “пожрет” все живое на Земле кроме, быть может, прокариот – изначальной формы жизни.*

5. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-2.

<https://www.academia.edu/41028531/>  
<http://vixra.org/abs/1911.0389?ref=10943623>  
<https://www.dropbox.com/s/gyaguuxv4gnxsln/Entropy-1-1.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/3KQ3/2VgZHZNwu>

*Вслед за предыдущей статьёй. Данная работа содержит важный результат (7) по теме доклада ООН от 06.05.2019 . В этой статье, в термодинамическом 0-приближении, приведена зависимость температуры термодинамической системы от энтропии.*

6. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-3.

<https://www.academia.edu/41381264/>  
<http://vixra.org/pdf/1912.0408v1.pdf>  
<https://www.dropbox.com/s/ij4h305uqdp628e/Entropy-3.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/4sMC/2QuyYpgam>

*Общая постановка задачи представлена в [1].*

*Здесь предложен общий алгоритм термодинамического решения, приведенного в [2].*

*1. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации*

*2. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-2*

7. Энергетика, рынок, экология и вызов цивилизации-4.

<http://vixra.org/pdf/2001.0112v1.pdf>  
<https://www.academia.edu/41549838/>  
<https://www.dropbox.com/s/p55qbc3sdoqu82r/Entropy-4.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/3cYn/7vUy7ikt>

*Принципы обработки информации для прогнозирования термодинамических параметров окружающей среды в задачах представленных в предыдущих работах.*

8. Мир и безопасность. "Четыре всадника Апокалипсиса" представляют угрозу в 21 веке.

<http://vixra.org/pdf/2001.0551v1.pdf>  
<https://www.academia.edu/41730827/>  
<https://www.dropbox.com/s/3v1ie4vh0r73ktw/Gutteres.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/28w7/39FdAbjLV>

*Глава ООН наметил пути решения проблемы "четырёх всадников", угрожающих нашему глобальному будущему. 22 января 2020 года :*

*Геополитическая напряженность;*

*Климатический кризис;*

*Чтобы их достойно встретить*

*Глобальное недоверие;*

*Темная сторона технологий.*

*Чтобы их достойно встретить, сегодня нужны усилия ООН.*

9. Ю. Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика

<https://www.dropbox.com/s/qzcyvxlhjerxvxb/Rumer.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/2DEY/3aJU81nD5>  
<https://www.academia.edu/41855349/>

*В книге систематически рассматриваются основные законы и важнейшие приложения термодинамики, статистической физики и кинетики. Найдены методически удачные и оригинальные методы введения основных понятий (например, температуры и энтропии) и решения отдельных сложных задач. Книга рассчитана, главным Copyright © Kasimov V. A. Novosibirsk 2020 г*

*Energy, market, ecology and the challenge of civilization-5*

образом, на людей, приступающих к изучению статистической термодинамики и кинетики, и ставит своей целью максимально быстро довести читателя до уровня знаний, позволяющего читать монографии и статьи по специальным вопросам. Можно уверенно сказать, что это один из лучших учебников по предмету и актуальность его не исчезла со времени первого издания на роталпринте Новосибирского Государственного Университета в 1970 году

## Application

### "The third horseman of the Apocalypse"

(Energy, market, ecology, and the challenge of civilization-(5)).

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



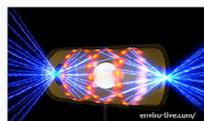
I looked, and there was a black horse with a rider on it, having measure <sup>4)</sup> in his hand.

Apocalypse [6.5]

### The man and the Earth <sup>[1]</sup>

#### Ответ на «энергетический вызов»

Лекция о первом в мире термоядерном реакторе (ITER)  
Лектор: Анатолий Красильников 05.09.2011, 15:27



Запасы ископаемых топлив истощаются, и человечеству уже в ближайшие 50 лет понадобится альтернативная энергетика. Проект Международного экспериментального термоядерного реактора (ITER) должен показать возможность использования энергии ядерного синтеза для обеспечения потребителей, рассказывает директор агентства ITER-Россия, д. ф.-м. н. Анатолий Красильников.

[https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05\\_a\\_3756341.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05_a_3756341.shtml)

At this stage of civilization development, we can safely say that humanity faces an "energy challenge". It is caused by several fundamental factors at once:

– *Humanity now consumes a huge amount of energy.*

Currently, the world's energy consumption is **15.7 terawatts (TWt)**. Dividing this value by the population of the planet, we get about 2,400 per person, which can be easily estimated and imagined. The energy consumed by each inhabitant of the Earth (including children) corresponds to the round-the-clock operation of 24-x 100-watt electric lamps.

– *Global energy consumption is growing rapidly.*

According to the forecast of the International energy Agency (2006), **world energy consumption will increase by 50% by 2030.**

**Currently, 80% of the energy consumed by the world is created by burning fossil fuels (oil, coal and gas),** the use of which potentially carries the risk of catastrophic environmental changes.

The following joke is popular among the people of Saudi Arabia: "My father rode a camel. I got a car, and my son is already flying a plane. But now his son is going to ride a camel again." It seems that this is the case, because, according to all serious forecasts, the world's oil reserves will run out mostly in about 50 years.

<sup>4)</sup> As this "measure" we see a measure of disorder – *entropy*.

Even based on the estimates of the us Geological survey (this forecast is much more optimistic than the rest), the growth of world oil production will continue for no more than 20 years (other experts predict that the peak of production will be reached in 5–10 years), after which the volume of oil produced will begin to decrease at a rate of about 3% per year. The Outlook for natural gas production is not much better. It is usually said that we will have enough coal for another 200 years, but this forecast is based on maintaining the existing level of production and consumption. Meanwhile, coal consumption is now increasing by 4.5% per year, which immediately reduces the mentioned period of 200 years to just 50 years.

Thus, it is already necessary to prepare for the end of the era of using fossil fuels.

Unfortunately, the existing alternative energy sources are not able to cover the growing needs of humanity. According to the most optimistic estimates, the maximum amount of energy (in the specified thermal equivalent) generated by the listed sources is only 3 TWt (wind), 1 TWt (hydroelectric power stations), 1 TWt (biological sources), and 100 GWt (geothermal and marine installations). The total amount of additional energy (even in this most optimal forecast) is only about 6 TWt. At the same time, it is worth noting that the development of new energy sources is a very complex technical task, so that the cost of energy produced by them will in any case be higher than with the usual burning of coal, etc. It Seems quite obvious that humanity should look for some other energy sources, which at present can only really be considered the Sun and fusion reactions.

Potentially, the Sun is an almost inexhaustible source of energy. The amount of energy that falls on just 0.1% of the planet's surface is equivalent to 3.8 TWt (even if it is converted with an efficiency of only 15%). The problem lies in our inability to capture and convert this energy, which is due to both the high cost of solar panels, and the problems of accumulation, storage and further transfer of the received energy to the required regions.

Currently, nuclear power plants on a large scale receive energy released during fission reactions of atomic nuclei. I believe (Anatoly Krasilnikov) that the creation and development of such stations should be encouraged in every possible way, but it should be borne in mind that the reserves of one of the most important materials for their operation (cheap uranium) may also be completely used up within the next 50 years.

Another important area of development is the use of nuclear fusion (fusion of nuclei), which is now the main hope for salvation, although the time of creation of the first thermonuclear power plants remains uncertain. This lecture is devoted to this topic.

## Земля и Солнце <sup>[2]</sup>



<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F.%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F>

In the upper layers of The Earth's atmosphere constantly receives 174 PVt of solar radiation (insolation). About 6 % of the insolation is reflected from the atmosphere, and 16% is absorbed by it. The average layers of the atmosphere, depending on weather conditions (clouds, dust, atmospheric pollution) reflect up to 20 % of the insolation and absorb 3 %.

The atmosphere not only reduces the amount of solar energy reaching the Earth's surface, but also diffuses about 20% of what comes in, and filters part of its spectrum. After passing through the atmosphere, about half of the insolation is in the visible part of the spectrum. The second half is located

mainly in the infrared part of the spectrum. Only a small part of this insolation is due to ultraviolet radiation.

Solar radiation is absorbed by the land surface, oceans (covering about 71 % of the earth's surface) and the atmosphere. The absorption of solar energy through atmospheric convection, evaporation and condensation of water vapor is the driving force of the water cycle and drives the winds. The Sun's rays are absorbed by the ocean and land and

For inquiries		
Peta-	P	10 <sup>15</sup>
Tera-	T	10 <sup>12</sup>
Giga-	G	10 <sup>9</sup>
Mega-	M	10 <sup>6</sup>

maintain the average temperature on the Earth's surface, which is now 14 °C. Thanks to plant photosynthesis solar energy can be converted into chemical energy, which is stored as food, wood, and biomass, which is eventually converted into fossil fuels.

### About the main



Briefly about the evolution of Mankind

Millions of years have passed since there was life on Earth. It is thanks to the successful location of the Earth relative to the Sun that Life arose and developed without problems. Solar energy has been successfully utilized by emerging and evolving trophic food chains of the living world. This continued until it was the person who acquired the skills of artificial energy conversion and its use in their needs. The previous period can in fact be called "non-entropic" utilization of solar energy, since nature successfully coped with this manifestation of Life. The non-entropic life ended from the moment when a person learned to produce fire.

When analyzing the figures given above, the following facts must be kept in mind.

The estimate of the earth's absorption of Solar energy is approximately 0.027%. Is it a lot or a little? To answer this question, it is necessary to understand **the nature of the balance of nature, which allowed life to exist without problems on Earth for millions of years.**

The known types of equilibrium can be represented by examples of describing a ball in a potential field: a stable state in a potential pit (Fig.1), metastable state (Fig.2), conditionally stable state (Fig.3).

Here, with the help of a ball, you can imagine the Earth being in a viable state for a person; with the help of a field, you can represent the sum of forces and conditions that affect viability. So, Fig.1 describes a stable system with respect to any influences; Fig.2 – an absolutely unstable system; Fig.3 – a conditionally stable system for which there is a stability region (a, b).

Of course, Earth is a third type of system.

According to the data presented in [1, 2], the constant supply of energy from the Sun is 174,000 TWt. Of these, 26% is reflected from the upper and middle layers of the atmosphere, which is (30 000 - 50 000) TWt. Energy in volume (124 000 - 144 000) the TWt flows further, reaching the Earth's surface and the lower atmosphere.

This energy is adsorbed into convection, evaporation, and condensation of water vapor, which is the driving force of the water cycle, winds, storms, and the elements. Solar energy is absorbed by the oceans seas and land maintaining an average temperature of 14°C.

Of course, these data require scientific confirmation, since there is no consensus about their origin and methods of evaluation. However, there is a question about the stability fork (a, c). The fact is that previously, nature successfully coped with its own perturbations within this fork, but what the "width" of the fork is still not known – either in qualitative or quantitative terms. However, this raises the question of a fork. It is well known that the events of the last century, associated with the accumulation of the stock of repeated self-destruction of civilization,



Fig.1. Stable state

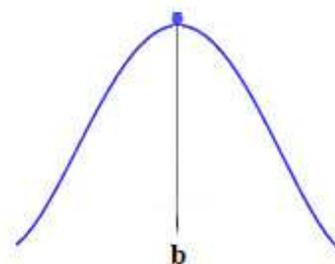


Fig.2. Metastable state

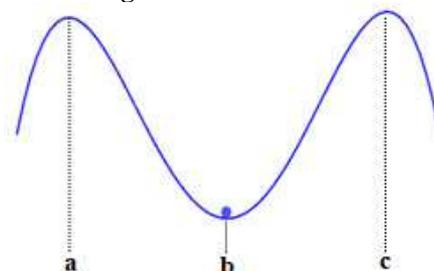


Fig.2. Conditionally stable

have significantly narrowed these limits. This reserve still exists and threatens humanity. Even if the human mind prevents the scenario of cities falling to pieces, this "bad" energy will not disappear by itself. Its complete deactivation can only be realized by self-disintegration or explosion. The half-life of  $^{235}\text{U}$  is 700 million years,  $^{239}\text{Pu}$  is 24.4 thousand years. The use of this energy as nuclear fuel in nuclear power plants leaves a trace in the form of radioactive waste, which is no better than the original fuel and has unacceptable characteristics by the times decay.

The physical principle of Le Chatelier [3] states that *If a system in equilibrium is exposed to an external influence, the equilibrium is shifted in a direction that contributes to the weakening of this influence.*

Nature does not leave without a trace of imbalance – it will respond to it properly, but when – it is unknown. However, both Chernobyl and Fukushima have already happened.

The Doomsday Clock<sup>9)</sup> as of 24.01.2020, symbolizing the most dangerous periods of time for humanity, was moved to 20 seconds closer to midnight. The reasons for this are the increased risk of nuclear war, catastrophic climate change due to unreasonable environmental policies of major countries, and hostility in cyberspace. To improve the situation, the leaders of the United States and Russia must return to the negotiating table and stop the arms race, as well as restore the validity of international nuclear treaties (<https://www.gazeta.ru/social/2020/01/23/12925238.shtml>). This is an example of a bifurcation point whose resolution is within the sphere of influence of the human mind.

Another example is a possible "methane scenario" that was already implemented by nature in the geological evolution of the Earth (estimated by scientists about a million years ago). This scenario can no longer be regulated by the human mind and there is no way for a person to stop the course of the Doomsday Clock.

**The process begins with an increase in the average ambient temperature due to an increase in the percentage of carbon dioxide in the atmosphere by only a few degrees.** Next, the process of extracting natural methane from the earth's interior begins. Methane reserves and used butane and propane are comparable because they have related causes of origin. As a result, the composition of the atmosphere, its chemical and physical properties – the heat capacity, the albedo of the Earth as a celestial body, and others changes. Manmade sources of heat energy acquire the power to start this monstrous process. Pollution of the upper atmosphere by burning coal and other sources of pollution include the "help" of the celestial body – the earth's reflectivity is reduced, increasing its absorption capacity more and more. **If earlier forests protected us from carbon dioxide, then we lose the only opportunity to stop this process by cutting them down and destroying them.** That is why we are interested in the thermodynamic aspect of the problem.

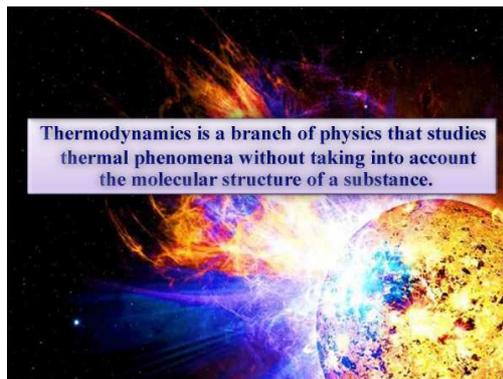
Of course, the methods of equilibrium thermodynamics are applicable only conditionally and for rough estimates. However, as suggested in [6, note 1], in the First Law of thermodynamics can be entered for estimates of the third term, taking into account the dissipative transition of the useful (kinematic) component of the energy of the medium to the thermal one. In this case, it becomes possible to "arithmetic" the energy that is irrevocably converted into heat by the value of the thermodynamic entropy increase, using the property of unidirectionality and irreversibility of the process. It should also be about changes in width (a, c) it is not about comparing the absolute values of energy supplied by the Sun and internal terrestrial sources.

As for the temperature characteristics of the interval, some possibilities for determining the functional relationship between temperature and entropy in the stability interval are given in [5, 6]. In [6], an integral equation is given that relates the change in temperature to the change in entropy.

The principles of information processing for evaluating and measuring thermodynamic parameters using statistical methods – the principles of invariance, and the maximum entropy and likelihood, are given in [7].

---

<sup>9)</sup> Doomsday Clock is a project of the University of Chicago magazine "Bulletin of atomic scientists", started in 1947 by the creators of the first American atomic bomb.



### The thermodynamic approximation.

#### Factorization of causes (sketches)

With the thermodynamic approach ("stationarity" and equilibrium), we can't hope to describe the dynamics of processes, but we can count on evaluating the potential of these processes, and we can get the dynamics of these processes from observations and measurements.

Our goal is to find the most General thermodynamic method for the dependence of  $T(S)$  using the method of thermodynamic functions [9], which allows us to approach

measurements and estimates of formally immeasurable thermodynamic parameters such as entropy and other potentials using statistical estimation methods [7].

Following the thermodynamic approximation [5], the "useful"<sup>10)</sup> component of the internal energy  $U$  is associated with the possibility of using It with minimal entropy growth, and in the equation

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \sum F_i dX_i \quad (i)$$

described by the second member<sup>11)</sup>. The "useless" energy associated with its degradation is described by the first term, the condition

$$\delta Q = TdS \quad (ii)$$

and the entropy of  $S$ .

Let

$$\sum_i F_i dX_i = \mathcal{F} d\mathcal{X}, \quad (iii)$$

then

$$\mathcal{F}(\mathcal{X}) = \sum_i F_i \left( \frac{\partial \mathcal{X}}{\partial x} \right)^{-1} \quad (iv)$$

by

$$\mathcal{F} = \mathcal{F}(\mathcal{X}).$$

From (i) follows

$$dU = \delta Q - \delta A = TdS - \mathcal{F}d\mathcal{X} \quad (v)$$

Here we presented the second term in (i) without the sum sign. This is necessary for further consideration.

Then, after the obvious transformations

$$\begin{aligned} dU = \delta Q - \delta A = TdS - \mathcal{F}d\mathcal{X} &= d(TS) - SdT - d(\mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} = \\ &+ d(TS - \mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT, \\ d(U - TS + \mathcal{F}S) + \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT, \end{aligned}$$

follows

$$d\Phi = \mathcal{X}d\mathcal{F} - SdT, \quad (vi)$$

where  $\Phi$  is the thermodynamic potential of the Gibbs free energy<sup>12)</sup>.

In addition to the Gibbs free energy, other thermodynamic potentials are known in thermodynamics: internal energy, enthalpy, Helmholtz free energy, and Gibbs free energy. These functions contain all the thermodynamic information about the system. Their integral representations and natural variables:

Table 1

Internal energy (adiabatic potential):	$U = U(S, \mathcal{X});$ $dU = TdS - \mathcal{F}d\mathcal{X}$	Enthalpy:	$W(S, \mathcal{F}) = U + \mathcal{F}\mathcal{X};$ $dW = TdS + \mathcal{X}d\mathcal{F}$
Isothermal potential (Helmholtz free energy):	$F(T, \mathcal{X}) = U - TS;$ $dF = -SdT - \mathcal{F}d\mathcal{X}$	Thermodynamic potential (Gibbs free energy):	$\Phi(\mathcal{F}, T) = U - TS + \mathcal{F}\mathcal{X};$ $d\Phi = -SdT + \mathcal{X}d\mathcal{F}$

<sup>10)</sup> Accumulated at this point in time.

<sup>11)</sup> This term also takes into account the energy of continuous processes (for example, atmospheric processes).

<sup>12)</sup> In traditional gas thermodynamics, this ratio looks like this:  $dG = VdP - SdT$ , where  $V$  is the volume occupied by the gas,  $P$  is the gas pressure.

Knowing any of the four potentials as a function of natural variables, you can use the corresponding thermodynamic equation (table 1) to find all the other thermodynamic functions and parameters of the system.

Repeating the actions similar to the above with the Gibbs free energy, we obtain a differential relation for the Helmholtz free energy:

$$dF = -SdT - \mathcal{F}d\mathcal{X}, \quad (\text{vii})$$

and enthalpy

$$dW = TdS + \mathcal{X}d\mathcal{F}. \quad (\text{viii})$$

The change in the internal energy  $dU$  of a thermodynamic system is caused by heat transfer  $dQ = TdS$  and the operation of generalized  $\mathcal{F}d\mathcal{X}$  forces. The first factor in the transfer of heat energy to the system is always associated with an increase in entropy, the influence of the second factor on the change in entropy is determined by the type of process.

The change in the  $dW$  enthalpy for a constant sum of external forces  $d\mathcal{F} = 0$  corresponds to the change in entropy. In this case, the increase or decrease in entropy is determined by the type of thermodynamic process occurring in the system.

The last two potentials – the Helmholtz energy  $F$  and the Gibbs energy  $\Phi$  – are of the greatest importance in specific thermodynamic calculations, since their natural variables are most convenient for chemistry. They have their own physical and chemical meaning.

The last two potentials – the Helmholtz energy  $F$  and the Gibbs energy  $\Phi$  are of the greatest importance in specific thermodynamic calculations, since their natural variables are most convenient for chemistry. They have their own physical and chemical meaning.

The decrease in the Helmholtz energy in a process at  $T = \text{const}$ ,  $\mathcal{X} = \text{const}$  is equal to the maximum mechanical work that the system can perform in this process:  $F_1 - F_2 = A_{\text{max}} (= A_{\text{rev}})$ . Thus, the energy  $F$  is equal to the part of the internal energy ( $U = F + TS$ ), that can turn into work.

Similarly, the reduction of Gibbs energy in a process at  $T = \text{const}$ ,  $\mathcal{F} = \text{const}$  is equal to the maximum useful (non-mechanical) work that the system can perform in this process:  $\Phi_1 - \Phi_2 = A_{\text{all}}$ . The dependence of the Helmholtz (Gibbs) energy on  $\mathcal{X}$  ( $\mathcal{F}$ ) follows from the corresponding thermodynamic equation (second row of Table 1).

It should be noted that "useful" work (the second term in (i)) is also accompanied by dissipative processes. However, we can divide the second term  $\sum_i F_i dX_i$  in (i) into three components - *dissipative* ( $dS > 0$ ), *adiabatic* ( $dS = 0$ ) and *nonentropic* ( $dS < 0$ ). The first component will be combined with the first member (i) (the property of the additivity of entropy allows this), the second and third components in (i) will be understood as purely negentropies, and it is the third component that describes the decrease in the entropy of the system. This way we can go back to the form of the relation (i), where the left term is entropic and the second term is negentropies. *Since adiabatic processes occur with  $S=0$ , an irreversible increase in the temperature of the thermodynamic system will be described by the first term (i). The negentropies component helps us to take into account the factor of temperature decrease.*

The thermodynamic potentials shown in Table 1 are complete differentials in their natural variables. This leads to cross-equalities, which, for example, for the internal energy  $U(S, \mathcal{X})$  take the form :

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_\mathcal{X}, \quad P = -\left(\frac{\partial U}{\partial \mathcal{X}}\right)_S, \quad (\text{IX})$$

a condition of the full differential  $dU$  as a function of natural variables ( $S, \mathcal{X}$ ) to equality

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \mathcal{X}}\right)_S = -\left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial S}\right)_\mathcal{X} \quad (\text{X})$$

It is almost impossible to provide a better explanation of the essence of thermodynamic methods than direct quoting of the authors [9]<sup>13)</sup>. The text is highlighted in color.

Knowing any of the thermodynamic functions, we can in principle find all the thermodynamic properties of the system, including its heat capacity, and the equations of state.

For example, knowing  $\Phi(\mathcal{F}, T)$ , we find by the formula  $(\partial\Phi/\partial T)_{\mathcal{F}} = -S$  entropy, and therefore heat capacity  $C_{\mathcal{F}} = T(\partial S/\partial T)_{\mathcal{F}}$ , and from the formula  $(\partial\Phi/\partial \mathcal{F})_T = \mathcal{X}$  we find the relation between  $\mathcal{F}, \mathcal{X}, T$ , i.e. the equation of state.

It should be emphasized, however, on the other hand, that thermodynamics only gives us relations between thermodynamic functions and their derivatives, allowing us to solve a number of specific thermodynamic problems, if at least one function is known. *Finding an explicit form of any thermodynamic function requires, in addition to thermodynamic relations, knowledge of the equations of state and the dependence of the heat capacity on temperature.* (Recall that derivatives of type  $(\partial C_{\mathcal{X}}/\partial \mathcal{X})_T, (\partial C_l/\partial l)_{\mathcal{X}}$  etc. can be found by thermodynamic methods). Indeed, even for finding the internal energy  $U$ , knowledge of the derivatives is required

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_{\mathcal{X}} = C_{\mathcal{X}}, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial \mathcal{X}}\right)_T = -\mathcal{F} + T \left(\frac{\partial \mathcal{F}}{\partial T}\right)_{\mathcal{X}}$$

Thus, the relationship between the information contained in the thermodynamic potentials ( $U, F, W, \Phi$ ), on the one hand, and the information contained in the equation of state and depending on the heat capacity of the temperature, on the other hand, have a dual character.

*Knowing the thermodynamic functions, we can use thermodynamic relations to find both the form of the equation of state and the heat capacity (any).* We will see that in statistical physics this way is used: thermodynamic functions are calculated independently using the formulas of statistical physics, and then the equation of state and heat capacity are found using thermodynamic relations (Table 1).

On the other hand, *to find thermodynamic functions within the framework of thermodynamics, it is necessary to know the equation of state and the dependence of the heat capacity on the temperature. The type of these dependencies must be derived from statistical physics or from experience.*

Note, however, that the equation of state, entropy, and heat capacity are found by simple differentiation only if the thermodynamic potentials are given as functions of "their" arguments. If the thermodynamic potential is set in "foreign" variables, then the problem is reduced to a partial differential equation, which requires specifying a boundary condition to solve.

For example, if the internal energy is given as a function of  $T$  and  $\mathcal{X}$ , then we proceed to the equation for the Helmholtz free energy

$$F(T, \mathcal{X}) = U(T, \mathcal{X}) - TS(T, \mathcal{X}) = U(T, \mathcal{X}) + T \frac{\partial F(T, \mathcal{X})}{\partial T} \quad (\text{XI})$$

This equation is called the Gibbs-Helmholtz equation. To integrate it, divide both parts by  $T^2$  and write (XI) as

so

$$\frac{T \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_{\mathcal{X}} - F}{F(T, \mathcal{X})T^2} = -T \int \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{F}{T} \right)_{\mathcal{X}} dT = -\frac{U}{T^2} + \varphi(\mathcal{X}), \quad (\text{XII})$$

where  $\varphi(\mathcal{X})$  is an arbitrary function of the generalized coordinate, to determine which boundary conditions must be set. We encounter similar situations when setting other thermodynamic potentials in "foreign" variables.

In conclusion, we emphasize that the method of studying thermodynamic potentials using thermodynamic functions is the most convenient and currently almost the only method used for solving specific thermodynamic problems. This method was created by D. Willard Gibbs.

<sup>13)</sup> [9] Page 71 – for the 1972 edition, page 97 – for the 2000 edition.

Table 1 shows the relationship between changes in thermodynamic potentials and their arguments. The parameters of implementation (including time) of these relationships as relaxations are determined by the types of processes that implement these relaxations. **Equilibrium thermodynamics will not be able to provide answers to questions about the evolution of these processes. In addition, the results of the assessments can only be presented as averages for a limited area that affects the environment.** However, it is quite possible to estimate and specify the potential of each factor at a given time, and the relaxation dynamics can be measured and modeled using simulation in alternative computational variants [7].

After reaching the next certainty on the component factors that affect the properties of the medium, you can refer to the term with the sign  $\Sigma$  in (i) with a clarifying and more subtle calculation model based on the thermodynamic principle of the "temperature-entropy" dualism [9]. We are most interested in chemical and kinematic factors.

**The first** ones are used as sources of photosynthesis and oxidative reactions of combustion. They are the ones that most determine a person's imbalance in the ecosphere: exothermic reactions – generating heat (+Q) and endothermic reactions - absorbing heat (-Q). Exothermic reactions increase the temperature of the environment and its entropy, and they are the subject of human activity. Endothermic – reduce temperature and entropy, and they are associated with photosynthesis. As evidenced by thousands of years of experience in the evolution of the biosphere, including humanity, nature copes with other factors.

The Gibbs-Helmholtz equation for the Gibbs thermodynamic potential  $\Phi(\mathcal{F}, T)$  takes the form:

$$\Phi(\mathcal{F}, T) = U(\mathcal{F}, T) - TS(\mathcal{F}, T) + \mathcal{F}X(\mathcal{F}, T) = U(\mathcal{F}, T) + T \left( \frac{\partial F(T, X)}{\partial T} \right)_{\mathcal{F}} + \mathcal{F}X(\mathcal{F}, T) \quad (\text{XIII})$$

or

$$T \left( \frac{\partial F(T, X)}{\partial T} \right)_{\mathcal{F}} - \Phi(\mathcal{F}, T) = -U(\mathcal{F}, T) - \mathcal{F}X(\mathcal{F}, T).$$

After dividing by  $T^2$  we get

$$\frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{\Phi(\mathcal{F}, T)}{T} \right)_{\mathcal{F}} = \frac{-U(\mathcal{F}, T) - \mathcal{F}X(\mathcal{F}, T)}{T^2}$$

Then

$$\Phi(\mathcal{F}, T) = -T \int \frac{U(\mathcal{F}, T) + \mathcal{F}X(\mathcal{F}, T)}{T^2} dT + \omega((\mathcal{F})) \quad (\text{XIV})$$

This equation can be used to consider chemical factors.

**The second** as mechanical energy in nature is the kinetic energy of motion (winds in the atmosphere and currents of rivers, seas and oceans ... ) and potential (for example, hydro stations, waterfalls ...). Natural kinetic energy in nature is nothing more than the cause of most natural disasters. The equation for accounting for kinetic factors is represented by the relation (XII).

Similarly, the problems of finding the dependence of temperature  $T$  on entropy  $S$  – in the first case are solved

$$\frac{\partial}{\partial T} (\Phi(\mathcal{F}, T))_{\mathcal{F}} = -S, \quad (\text{XV})$$

and the second one

$$\frac{\partial}{\partial T} (F(T, X))_X = -S \quad (\text{XVI})$$

\*\*\*\*\*

*To be continued...*

## Literature<sup>14)</sup>

1. Анатолий Красильников. Лекция о первом в мире термоядерном реакторе (ITER). 05.09.2011.  
[https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05\\_a\\_3756341.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2011/09/05_a_3756341.shtml)
  2. Солнечная энергия. Материал из Википедии — свободной энциклопедии.  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F)
  3. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика (стр. 186).  
<https://www.academia.edu/41709475/>  
<https://www.dropbox.com/s/up14hlpeq2tmjd9/Landau-GPh.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/2yAF/4FJwoYnrT>  
[http://quadrica.ucoz.net/publ/1\\_d\\_landau\\_a\\_i\\_akhiezer\\_e\\_m\\_lifshic\\_kurs\\_obshej\\_fiziki\\_mekhanika\\_i\\_molekuljarnaja\\_fizika/1-1-0-82](http://quadrica.ucoz.net/publ/1_d_landau_a_i_akhiezer_e_m_lifshic_kurs_obshej_fiziki_mekhanika_i_molekuljarnaja_fizika/1-1-0-82)
  4. Energy, market, ecology, and the challenge of civilization.  
<https://www.academia.edu/40942849/>  
<http://vixra.org/pdf/1911.0276v1.pdf>  
<https://www.dropbox.com/s/7zui96s0cic86jl/Energy.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/5G2H/3xWSS7Cc4>
- Perhaps the most ominous shadow hanging over the future of Humanity is the uncontrolled use of colossal amounts of energy. The marriage Union "of the market with energy can create an ecological monster that will "devour" all life on Earth except, perhaps, prokaryotes-the original form of life.*
- Пожалуй, самой зловещей тенью, зависшей над будущим Человечества, является бесконтрольное использование колоссальных объёмов энергии. "Брачный союз" рынка с энергетикой способен породить экологическое чудовище, которое "пожрет" все живое на Земле кроме, быть может, прокариот – изначальной формы жизни.*
5. Energy, market, ecology and the challenge of civilization-2.  
<https://www.academia.edu/41028531/>  
<http://vixra.org/abs/1911.0389?ref=10943623>  
<https://www.dropbox.com/s/gyaguuxv4gnxsln/Entropy-1-1.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/3KQ3/2VgZHZNwu>
- Following the previous article. This work contains an important result (7) on the topic of the UN report of 06.05.2019 . In this paper, in the thermodynamic 0-approximation, the dependence of the temperature of a thermodynamic system on entropy is given.*
6. Energy, market, ecology, and the challenge of civilization-3.  
<https://www.academia.edu/41381264/>  
<http://vixra.org/pdf/1912.0408v1.pdf>  
<https://www.dropbox.com/s/ij4h305uqdp628e/Entropy-3.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/4sMC/2QuyYpgam>
- The General statement of the problem is presented in [1].  
Here we propose a General algorithm for the thermodynamic solution given in [2].*
1. Energy, market, ecology and the challenge of civilization
  2. Energy, market, ecology and the challenge of civilization-2
7. Energy, market, ecology, and the challenge of civilization-4.  
<http://vixra.org/pdf/2001.0112v1.pdf>  
<https://www.academia.edu/41549838/>  
<https://www.dropbox.com/s/p55qbc3sdoqu82r/Entropy-4.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/3cYn/7vUy7iktP>
- Principles of information processing for predicting thermodynamic parameters of the environment in the problems presented in previous papers.*
8. Peace and security. The four horsemen of the Apocalypse pose a threat in the 21st century.  
<http://vixra.org/pdf/2001.0551v1.pdf>  
<https://www.academia.edu/41730827/>  
<https://www.dropbox.com/s/3v1ie4vh0r73ktw/Gutteres.pdf?dl=0>  
<https://cloud.mail.ru/public/28w7/39FdAbjLV>

*The UN chief outlined ways to solve the problem of the "four horsemen" that threaten our global future. January 22, 2020 :*

*Geopolitical tension;*

*Climate crisis;*

<sup>14)</sup> Due to circumstances beyond our control (the time of troubles on the Internet), links may not work when you directly access them. However, if you copy them to the browser's address bar, you can make them work.

*To meet them with dignity  
Global distrust;  
The dark side of technology.*

*To meet them with dignity, today we need the efforts of the UN.*

9. Ю. Б. Румер, М.Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика

<https://www.dropbox.com/s/qzcyvxlhjerxvxb/Rumer.pdf?dl=0>

<https://cloud.mail.ru/public/2DEY/3aJU81nD5>

<https://www.academia.edu/41855349/>

*The book systematically examines the basic laws and the most important applications of thermodynamics, statistical physics, and kinetics. Methodically successful and original methods for introducing basic concepts (for example, temperature and entropy) and solving individual complex problems are found. The book is intended mainly for people who are beginning to study statistical thermodynamics and kinetics, and aims to quickly bring the reader to the level of knowledge that allows you to read monographs and articles on special issues. We can confidently say that this is one of the best textbooks on the subject and its relevance has not disappeared since the first publication on the rotaprint of Novosibirsk State University in 1970.*