

TS_B势能关于完备的热力学系统自洽性和自然辩证法的说明

黄为民

上海理工大学, 能源与动力工程学院, 上海
Email: huangwm1945@163.com

收稿日期: 2020年11月5日; 录用日期: 2020年12月28日; 发布日期: 2021年1月6日

摘要

本人最近出版了“**What is TS_B?**”一书。本文试图说明该书如何从麦克斯韦妖中提出的问题, 即不同动量的粒子是否具有空间可分辨性, 完成了对热力学理论体系的改进。用空间兼并态改进的M-B统计中, 得到了定量上直接确定的S_B值。并用系统动量场内禀的距离空间 μ 代替绝对空间V。改造了吉布斯自由能为 $G = T + p\mu + TS_B$, 从而让热力学变成自洽的完备理论。TS_B势能是一种被缺失的能量, 它是自然演化时系统内部的驱动势。基于热力学第二定律可表述为 $dS_B < 0$, 它对应着系统内部运动着的动量类型的转变和相应的相互作用的改变。它是自然辩证法的根据。

关键词

麦克斯韦妖, 压力, 动量空间构形势能TS_B, Boltzmann熵S_B, 动量场, 距离空间 μ , 自由能 $G = T + p\mu + TS_B$, 自发过程判据, 自然辩证法

TS_B Potential Energy: Description about Self-Consistency of Complete Thermodynamic System and Dialectics of Natural

Weimin Huang

School of Energy and Power Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai
Email: huangwm1945@163.com

Received: Nov. 5th, 2020; accepted: Dec. 28th, 2020; published: Jan. 6th, 2021

Abstract

I recently published the book of “What is TS_B ?”. The present text attempts to explain how the book, from the Maxwell demon, raises the question of whether particles of different momentum have spatial resolvability, completing an improvement to the thermodynamic theoretical system. From the M-B statistics, improved with the spatial merged state, a quantitatively directly determined S_B value was obtained. And the absolute space V is replaced by the distance space φ intrinsic to the system momentum field. The Gibbs free energy is improved as $G = T + p\varphi + TS_B$, so that thermodynamics becomes self-consistent complete theory. The TS_B potential energy is a lost energy, which is a driving potential inside the system during natural evolution. Based on the second law of thermodynamics, it can be stated $dS_B < 0$ that it corresponds to a transition of the type of momentum moving inside the system and the corresponding change of the interaction. It is the basis of dialectical in nature.

Keywords

Maxwell’s demon, Pressure, Potential Energy of Momentum Space Configuration, Boltzmann Entropy S_B , Momentum Field, Distance Space φ , Free Energy $G = T + p\varphi + TS_B$, Criterion for Spontaneous Process, Dialectics of Nature

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

本文与我最近在美国出版的“*What is TS_B ?*”一书有关[1]。在这里我想说明这个工作完成了对热力学理论完备性的改造，从而使得其成为一个自洽的理论。 TS_B 势能意义也不仅在于清晰了热概念，更在于在物理学中引入了引起演化的驱动势。 TS_B 势能不仅是一种被找回了的缺失的能量。其意义远不止于此，这种能量主导着自然界演化内生的动力，它是系统内动量类型可以改变的根据。正如康德哲学中指出的质的转变和由因果关系向“模式”关系的转变。自然果真如恩格斯期许的那样，自身具有辩证演化的法则。可以说它为物理学打开了从基于因果律的动力学通往辩证演化的科学之路。

具体的推导和分折的案例担心涉及版权，就不在此引用了。有兴趣的可以看原著。因而此文也就只能算作一个说明而已。

2. 麦克斯韦妖问题的物理内含

麦克斯韦速度分布律是说粒子动量是根据温度，按照一个大小分布律规定的。麦克斯韦妖问题简化为快动量粒子和慢动量分子按大小在空间是否可分辨的问题，但是被信息熵概念带偏了。似乎“妖”给了系统额外的信息，实际上不同动量大小本身就是信息。归结起来，信息熵与 Boltzmann 熵在同等是概率，是等价的，只是定义不同而已。所以没有进步，概念上反致混乱。

我对物理化学和热力学教材中关于理想气体没有相互作用，没有势能一说存疑，因为这与流体力学中理想气体流动依赖压力的实验事实完全背离[2] [3]。这说明对于一种非常重要的凝聚态和在其上建立的热力学将不可能满足逻辑一致性要求，因此热力学不是自洽的理论。

基于自然界大多数的气体并不存在于有壁面的空间中，而气体的压力却都是基于对壁面的冲量定义的。这种内在的逻辑不一致性，自然需要用分子相互间的碰撞的冲量来定义，而且是可能的，与事实也是自洽的。这种模型中气体也应该有热力学平衡状态，才能与热力学理论自洽。有意思的是这种平衡态下的气体的密度和动量是沿径向是非均匀分布的。对应动量分布律分布成一种动量空间构形。也就是说麦克斯韦猜想的动量按大小的空间分布并不需要“妖”。而且有玻什-爱因斯坦凝聚态有名的实验可以佐证。(都获得诺贝尔物理奖)。这其中隐藏着一个极其重要的自然律。自然界用“热”这种最直观形态呈现的东西，让麦克斯韦意识到其中必有奥秘。

3. Boltzmann 熵 S_B 的确定性

热力学系统中的大量分子仍然是确定性的，玻尔兹曼试图用统计方法找到这种统计的确定性，可惜的是这种用动量的微观态数目描述的系统，止步于概率层面上的熵 S_B 的形式，仍然需用二个系统的热力学宏观量通过条件极值得到确定性的配分函数。这种在微观与宏观之间的不自洽。这说明这种理论体系中必定是不完备的。

这种不完备性正是由于缺失了动量按大小在空间具有可分辨性，这种信息没有被纳入热力学统计中。对于空间某个区域会聚集某个动量的聚集状态，使得系统即不是离域子、也不是定域子，而应是一种局域离域子同时也是局域定域子。这种空间可分辨性信息的加入引入了一个重要的统计概念，即在相同大小的动量的空间内存在一种空间兼并态。这些信息对 M-B 统计进行了重要的信息补充，其结果是对热力学平衡态的理想气体，得到了 $S_B = kN$ 这样的关系。玻尔兹曼熵第一次直接被确定[4]。微观系统真正成为可定量的自洽系统。因为这种确定性所有信息都是系统自身的。因此在此基础上建立的热力学系统才有可能完备的自洽理论。

4. 二种熵

当 S_B 是一个概率时，无法与热量计算的克劳修斯熵进行比较，因此一直以来都认为，二种熵表示同一个物理量。这在热力学第二定律的运用中引起混乱，对物理现象错误的解释就不可避免。尤其在面对有序的生命和生命的活动中，甚至可以说是无所适从。在本人著者中，定量地计算了热力学第二定律：高温物体自发地向低温物体传递热量的过程。克劳修斯熵在此过程中是熵增过程，著名的热寂说也由此而生。但在这个过程中，玻尔兹曼熵经历一个减少的过程。因此热力学第二定律是可以 $dS_B < 0$ 表述的。由其具有公理性，因此所有的自发过程都是玻尔兹曼熵减的过程。

5. TS 与 TS_B 的区别

这就带来一个问题，热力学第一定律中应该用 TS 还是用 TS_B 的问题。这涉及如何才有真正意义上的动量守恒和能量守恒。我们沿用的对系统和环境之间有热、功交换的热力学第一定律有 $E = W - Q$ 。在孤立绝热系统中，吉布斯用了自由能 $G = T + pV - TS$ ，而且这是个不守恒的量。这就说明至少 TS 这一项是引起这种不守恒的量。因为这一项源于热交换的话，定量上对孤立绝热系统是对冲的，那未引起自发性判据 $dG \leq 0$ ，同样热量引起的孤立系统中环境和系统各自的克劳修斯熵变化的不同。因此这样的自由能本质上不会自洽。因为这种绝热孤立系统内的热交换，同样的热量又是一个过程量，就不可能有时间平移的不变性，下面再讨论空间平移的不变性。

TS_B 表征 G 会带来的变化，就是这是系统自己的本征量，是系统自己的信息构成的物理量。与环境没有关系，这才可能满足其变化过程具有平移不变性。当然其前提是这确实是一个势能。

6. $pV = TS_B$ 和麦克斯韦热力学关系的等价性

将理想气体的玻尔兹曼熵 $S_B = k_B N$ 代入气体状态方程，得到的 $pV = TS_B$ 关系式，直接说明了这是二

种势能。理想气体不仅有势能而且有二种势能[5]。因为有功能原理，和流体力学中实验完全可以证实的伯努里方程中 pV 作为一种势能的物理事实，所以在热力学系统中作为势能具有逻辑一致性的。而 $pV = TS_B$ 保证了理想气体具有二种势能的可能。

在本人的著作中证明了这种关系与麦克斯韦热力学关系方程组是等价的。这不仅保证了这个关系不仅对理想气体是有效的，而是对所有热力学系统都是普适的。都有二种势能。下面我们会看到这才使热力学系统是完备的自洽系统。光有热，系统还不是完备的系统。只有一个作为动量空间构形势能的引入，热力学系统才可能是完备的物理系统。或者可能应该说物理系统中只有引入了 TS_B 势能才是自洽的完备系统。

$pV = TS_B$ 关系本质上是一种相互作用不变性。因为这二种势能只有一个相互作用力 p 。因此许多学者提出或定义了“熵力”是不对的。这个相互作用力不仅构建了位置空间，还完成了在此位置空间上动量按大小应该在什么位置上的配分。也就是构建了位置空间构形和动量空间构形。以往我们在分子的电子云和高分子的侧链分布上提出过动量空间构形的概念。但没有重视去找出其有物理意义的数学表述。因此这个动量空间构形势能经常在研究中遇到，但始终不识真面目。我们一直以为的晶体中分子在空间的有序排列是有序性，其实这不是真正的序。因为在这些位置乱配置一种或任意种动量的分配，系统还是无序。相反看起来杂乱无章的热运动，将动量配置好却是有序的系统。而且按照自发趋势就会自动趋向有序。所以世界是从一种有序演化为另一种有序。所以说怎么会从无序的无机世界中产生出有序的生命，就不是一个好的命题。

下面将说明这个 p 是可以更一般性的应用于更多的相互作用力系统。因为麦克斯韦热力学关系方程组是普适的，所以其中四个函数变量中的 p 是普适的。并不仅限于理想气体。是热力学系统中任意一种相互作用。这种作用力不变性也是普适的。

7. 动量场与距离空间及其哲学含义

对于不同相互作用力而言，具有统一性的物理量是动量。但一直以来都将其定义为质点的动量。但在凝集态中，则是一个大量质点构成的空间。因此动量场概念应是单一质点动量合乎逻辑的延伸。这种延伸自然就带来一个问题，这个场空间如何界定的问题。以前在绝对空间中没有这样的问题，放在固体壁面包围的空间中，体积一直被认为是可以任意随着压力 p 而改变的。但这意味着功的输入或输出的过程。这说明在绝对空间中的体积 V 并不是系统自身的本构物理量。那什么是系统自己的体积呢？它应该是所有粒子的动量所对应的相互作用力所构成的空间。所以应该以相互作用决定的粒子间距离空间定义系统本征的空间。这才能界定动量场的空间。这个动量场的距离空间我们可以用 \mathcal{V} 标记和定义。

因为是距离空间，所以在一个特定的空间中具有相同动量间的距离就应该是相同的，这意味相邻的这些粒子最容易形成正四面体。或者说正四面体可以构建一个动量场空间。希腊的先哲最早想到的正多面体的宇宙还真是有道理的。新冠肺炎病毒还是正二十面体的。在晶体中也可以看到这些规整的几何体都可以由正四面体正八面体、正二十面体的准晶结构填充而成。只是很少有人会想气体粒子间也可以是动态的正四面体填充而就的。

在盒子空间的均匀的密度场中，这种动量空间又是怎样的构形呢？不同动量的正四面体的距离空间尺度不同，但是可以嵌套在一起，像俄罗斯的套娃一样的动量空间构形，可以保证空间温度和密度处处均匀。这也是有序的，其 S_B 与无壁面空间中理想气体的玻尔兹曼熵在相同的条件下相同。对同样 N 个粒子，这个容器的体积必须有相同的 \mathcal{V} 。这就是系统动量的共轭体积量必须是自身的距离空间，而不能用工定义中任意的绝对空间 V 的理由。

用 $p\mathcal{V}$ 定义的就是真正意义上的位置空间构形势能。是一个可以让热力学变量都能自洽的势能。

动量场的距离空间彻底摒弃绝对空间的概念。使空间概念成为系统自洽的空间。当然系统本征的动量与距离决定了速度，因此最基本的系统动能才是自洽的。与其共轭的时间才是系统本身的时间，由其自身运动决定的时间尺度。这才能保证热力学系统的时空是系统自身的相互作用唯一确定的动量场所可以完备地决定的所有物理量。因此只有在这种动量场中热力学系统才是完备的自洽系统。

8. 改写吉布斯自由能的意义

某种意义上说这本书就是一个改写自由能的工作。即将自由能写为 $G = T + p\mathcal{H} + TS_B$ 这样一个物理量。这个量是系统自身的能量，与环境完全无关。所以不必限于绝热孤立系统中使用。可以用于任何系统。因此是普适性的。原来的自由能极小化原理当然更具有一般性。

考虑对同一种相互作用下的系统的能量，没有了外力和外界的热，(这些可能涉及各种各样的其它动量或能量产生的热)都被排除了。甚至系统中其它共生的相互作用被各自考虑，这样的自由能是守恒的。这样的系统自身的动力学过程和下面将说明的演化过程是可以满足时间和空间平移不变性的。即能量守恒和动量守恒都是可以保证的。

这也就是为什么需要满足麦克斯韦热力学关系方程组得到的更为广义的 $p\mathcal{H} = TS_B$ 的意义。即只应该在同一种相互作用下考虑系统的能量守恒和动量守恒。这样的热力学系统才是自洽的。

热力学方程组的 4 个方程才能求解 4 个热力学变量。因此这样的热力学系统才是完备的。如果方程组还有涉及环境的变量 V 和 S ，这组方程并不封闭。所以现在通常用的热力学系统并不自洽。

9. TS_B 和物理学中的自然辩证法

TS_B 不仅是一种我们重新找回的一种相互作用下动力学系统中的能量。而且它的改变对系统外与和环境之间发生的热效应联结。基于热力学第二定律的玻尔兹曼熵自发减少的趋势，这种势能主导着系统的演化趋势。这与经典物理学将系统动力学过程归于相互作用产生变化截然不同。这种系统本身具有重构动量空间构形的能力指出了自然界自身演化的辩证法。

这种自然界演化中的辩证法可以用流体力学中集中涡的产生和凝聚态气、液、固三相之间发生的间断相变为例作一说明。

集中涡在流体力学中是每天都能见到，但至今无法解释的问题，也是湍流虽经一百多年努力研究仍然止步不前的症结所在。我们仍然只知道龙卷风、台风这样的集中涡，始于粘性产生的质点涡量。完备的流体力学方程组无法说明涡量如何演化为集中涡的。但引入了玻尔兹曼熵减这个判据就找到了这种演化的驱动势。质点的自旋涡量在向负压区汇集时，由于集中涡是一种绕涡轴的公转，就涡量而言集中涡的微观态为 1。无数的质点涡量的微观态对应的系统熵减少到 1，是一个非常大的 $dS_B \ll 0$ 的过程。而无数涡量的旋转动能 T 在此兼并过程释放的 TdS_B 就转变成台风和龙卷风的巨大的旋转动能。这个例子应该能够说明自然界演化源于系统的内因，产生了粘性涡。而负压区是外因。但产生这种演化的根据则是系统自身存在的驱动势 TS_B 势能。没有这个 $dS_B \ll 0$ ，就不会有集中涡产生。这是我们在物理学中熟知的相互作用势能不具备的能力。也是湍流虽经一百多年的努力不得其解的原因。

教科书上对间断相变只是常识性的陈述和实验数据。理论上也仅限相图的分析。我们并不清楚，在气体变成液体，液体变成固体过程中分子行为发生了什么变化。我们对气体、液体和固体也仍然是其对流动性、可塑性、压缩性宏观物性的表述。并没有从这些物态的动量的类型上去分辨。事实上范德华而斯方程的分子间实际相互作用力是非常好的提示，相互作用力的改变对应着动量类型的改变。气体质点是以分子平动动量为主的存在形式，虽然也有旋转动量和振动动量，因为其也能产生涡量，也能有声波的传播。而液体中分子数密度已经达到可压缩性非常小的程度，意味着没有分子平动动量，而应是以质

点中的分子自旋动量为主的凝聚态。因此它仍然具有可塑性，随容器形状可变。当然它仍有分子振动动量，传播声音。它也能流动，但这是作为液体整体的平动运动。当然这种运动可被剪切撕裂。而固体则是一种以质点中分子振动动量为主的凝聚态。通过这种动量分类就可以理解间断相变过程中发生了动量类型的改变。对应的范德华而斯力将气体分子平动动量的冻结时，释放了大量的相变热。在冻结液体分子自旋动量时，释放了凝固相变热。那末这种动量类型的转变是如何驱动的呢？通过分子聚集成簇，微观态数量的减少可以因为分子极性、形成氢键或者数密度的增加到分子距离过小，导致系统内 $dS_B < 0$ 。而系统温度高于环境温度，不断的放热是外因。但这让系统置于 $dS_{B, Sys} < 0$ 的环境中。也就是内外的 TS_B 趋动着相变终于会发生。即发生某种动量类型的转变导致了间断相变。环境温度高于系统温度时，仍然有反过来的 $dS_{B, Sys} < 0$ 。所以间断相变的辩证演化的根据是 $dS_{B, Sys} < 0$ 对具有不同动量类型的分子运动的驱动造成的。而簇的数目与分子数的改变对应的 $dS_B < 0$ 应该对应着相变中的过冷和过热。间断相变是一个很好的自然界自己发生演化的过程。这种辩证演化过程应该可以说明 TS_B 对物理学从动力学方程表现出来的因果关系为何必须向辩证的演化过程转变的理由。

不仅历史上遗留至今的难题都与 TS_B 的缺失有关。现代科学中的生命科学更是离不开这种对自然演化的理解。自然从一种有序向另一种有序演化的观点，本身就打破了无机世界与有序生命之间的界限。

相信 TS_B 一定会被越来越多的科学家和工程师们接受和深入研究。也一定会给人类在与自然共存中创造更多的可能。

10. 结论

1. 由动量按大小在空间产生的空间可分辨性，在改进的 M-B 热力学统计时，引入的空间兼并态，使 S_B 由概率变为定值。它是系统的真实的微观态值。是系统变量。它与克劳修斯熵与环境交换的热量相关不同，原有的热力学系统中的克劳修斯熵是使系统不能自洽的重要原因。

2. 系统相互作用 p 支配的动量产生的系统动量场，由其距离空间 V 界定。它是运动着的系统的内禀空间。它与系统受外力无关，也与由外力改变的绝对空间中的体积 V 无关。因此改造后的自由能 $G = T + pV + TS_B$ 使热力学系统成为完备的自洽系统。其中的热力学变量都是系统本征量构成的函数。

3. 动量按大小在空间按自然律分布对应的动量空间构形势能 TS_B ，不仅是一种缺失的势能，而且基于热力学第二定律的自发表述： $dS_B < 0$ ，它更是解释自然界产生演化过程的驱动力。是自然界辩证演化的根据。应该包括自发对称破缺过程。

参考文献

- [1] Huang, W.M. (2002) What Is TS_B ? NOVA Science Publishers, New York.
- [2] Jinfu, D. and Kangnian, F. (1992) Physical Chemistry. Higher Education Press, Beijing. (In Chinese)
- [3] 吴望一. 流体力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983.
- [4] Huang, W.M. (2010) Order—Geometric Space Configuration of Momentum and Thermal Potential Energy. *14th International Heat Transfer Conference*, Washington DC, 8-13 August 2010, 117-124. <https://doi.org/10.1115/IHTC14-22027>
- [5] 黄为民. 理想气体中的内势能[J]. 工程热物理学报, 2008, 29(1): 1-4.