

走向混乱的世界——熵增定律

1900094619 元培 金镇雄

1. 引言

在物理学中，各种守恒定律至关重要，能解释许多物理现象。在外力不起作用的孤立系统中，动量、角动量、能量等物理量总是守恒的。但是，世界上有很多现象还是仅靠这些物理量守恒的定律难以解释的。最具代表性的例子有热量的流向。在杯子里放一个冰块，倒入热水后等待一段时间，会得到一杯温水。此过程是否可逆是明显的，据经验，我们都知道这一现象是不可逆的，温水总不会自发地分裂而转换成热水和冰块。上述的两个过程中，能量基本上都是守恒的，均满足热力学第一定律，但为什么只会出现冰融化而转换成温水的现象呢？光靠守恒定律是不能充分说明这一现象的。

2. 熵 (Entropy)

热力学第一定律只解释了能量的转换与守恒，没有考虑到转换过程中的条件和方向等问题。而从各种物理现象可看出，热运动有关的物理过程具有一种不可逆性。这就是热力学第二定律，阐明了物理过程中的方向性。而它有一个别名：熵增原理。

2.1 熵的发展简史

理解热运动相关的物理现象必不可少的概念就是熵 (Entropy)。熵的初步概念是在工业革命时期由计算熔炉和蒸汽发动机效率的科学家们首次提出的。当时，大部分科学家都致力于将热机效率最大化的研究，最终他们的热情催生了热力学这一新的物理学领域。1854年，德国数学家鲁道夫·克劳修斯 (T. Clausius) 为了说明热能转换相关现象而提出了一个还未被正式命名的态参量，而后来他在一个论文中将此态参量正式定名为熵。1877年，玻尔兹曼引进了一个如下的关系式来估计熵的大小： $S \propto \ln \Omega$ ，传统的热力学的基础上开启了统计热力学的新篇章。

2.2 熵的定义

熵常被解释为表示物理界无序程度（混乱度）的物理量。定义熵有很多种方法，各领域的定义大同小异。而其中最简单易懂的是统计力学中的定义，即对系统的状态进行统计。举例来说，假设在书桌上摆放了宽度为书桌的1/10大小的笔筒，并且10支铅笔无规律地摆放在书桌上（铅笔可以在笔筒内），若无视铅笔的长度或宽度，那么10支铅笔在笔筒内的概率如下： $(\frac{1}{10})^{10} = \frac{1}{10,000,000,000}$ 。如果10支铅笔中任意2支铅笔不在笔筒里，散落在书桌某处的概率如下： $C_{10}^2 \times (\frac{9}{10})^2 \times (\frac{1}{10})^8 = \frac{3645}{10,000,000,000}$ （其中 C_{10}^2 为组合数），比前面的情况高于3645倍。通常来说，如果10支铅笔都在笔筒里，我们就把这种情况认为是有序的；而如果两支铅笔凌乱地摆放在笔筒外面，就会认为是无序的。假设10支铅笔摆放在书桌的任意位置上，这时，不是所有铅笔都在笔筒里的概率比所有铅笔在里的概率要高得多。像这样，如果一个系统可取的状态的个数比另一个系统的状态数多，那么我们称此系统的无序程度高，即其熵是更高的。

2.3 熵的微观意义

若我们将上述铅笔可能状态的例子中的铅笔替换为分子，书桌替换为孤立系统，我们就能得出熵的微观意义：熵是孤立系统内分子热运动混乱程度的一种量度。德国科学家玻尔兹曼运用了统计的概念，提出了表示系统无序性大小的表达式，即玻尔兹曼公式： $S = k \ln \Omega$ 。其

中 S 是熵，在统计热力学中是分子运动排列混乱程度的量。 k 为玻尔兹曼常量，是普朗克引进的比例系数。 Ω 是可能的微观状态数。基于传统物理学考察系统中每一个分子的运动和排列实际上是不可能的。因此，我们使用统计热力学中熵的概念以及玻尔兹曼公式，只考察整体分子运动排列的概率（即微观态数目），就能够解释系统宏观特性。

3. 熵增与热力学第二定律

从经验来看，随着时间的流逝，书桌更倾向于变得杂乱。也就是说，随着时间的推移，书桌的熵会增加。这种熵增加的倾向不仅仅发生在我们书桌上，而其为自然的根本定律之一。而这样的熵增现象与著名的热力学第二定律有关。

3.1 热力学第二定律：孤立系统的熵不会随着时间而减少

德国数学家克劳修斯总结了前人的结论，提出了热力学第二定律，即热量不会从低温物体传向高温物体。温度的本质是分子的运动。我们可以认为温度是一个宏观量，而分子运动是与其相应的微观量。如果将上述例子中的铅笔替为分子，我们就能得出热力学第二定律的另一个定义，即孤立系统的熵不会随着时间而减少。

在冰与热水相遇后融化的过程中，最初冰块中的 H_2O 分子是相互紧密地挨在一起的，几乎固定而不动，因此，对 H_2O 分子的分布而言，可能处于的状态数量是有限的，也即其熵很低。加入热水而冰融化后，这些水分子可以在杯子中四处游荡，因此 H_2O 分子可能处于某一状态的概率会增大，即熵会增加。相反，温水随着时间的推移，一部分变成冰块，一部分变成热水，这样的过程就像把铅笔扔到桌子上时铅笔全部进入笔筒的情况类似，是熵减少的过程。根据热力学第二定律以及熵增原理，熵减小的过程是不可能发生的，因此，我们看不到温水自发转换成冰块和热水的现象。

3.2 熵减需要外界做功

熵增定律以及热力学第二定律是仅限于孤立系统的定律。因此，在不孤立的开放系统中，熵可能会减小。但这时需要付出一定的代价。若想减小某个开放系统的熵，外界必须为该系统做物理上的“工作”，也就是做功。正像我们整理杂乱的桌子，我们必须下力气工作。虽然桌子系统的混乱程度减小了，但是这不意味着世界的熵减小。熵减只是局限于书桌系统的。整理书桌的过程中，身体会发热，熵随之增加，整体来说熵没有减小，反而增加了。

4. 熵与世界

熵的增加是最基本的自然规律，也是人类的历史。

任何生命体可视为一个系统，根据热力学第二定律以及熵增定律，生命体系中的熵是不断增大的。随着时间的流逝，脸上的皱纹和头上的白发逐渐变多，是熵增定律的必然结果。老化、腐蚀、崩溃、分解等现象都是熵增的结果。熵增的必然性注定了任何生命体系最终走向老化、死亡，从有序向无序发展。而奥地利伟大的物理学家薛定谔在《什么是生命》一书中如是说：“所有生命体系都是通过不断从周围环境中汲取自由能量而生存的。如果不破坏周围秩序，吸收其能量，就无法生存下去。”换句话说，生命的意义在于具有从周围环境中不断汲取“负熵”来抵抗自身熵增的能力。

地球作为一个开放系统，从几十亿年前地球诞生的时刻起，不断接受太阳能并将其以各种形式转换、储存。相应的能量会形成具有结构的、有序状态的自然资源，从而使得地球的熵值减小。人类为了维持生命以及社会，从周围环境中汲取能量。世界正以越来越多样的形式

耗尽资源。现代文明正通过将石油、煤炭、天然气等物质转换为热能或机械能量的形态而不断进化、发展。人类在资源的开发利用的过程中，会不断向周围环境散热，破坏自然资源的无序状态，使地球的熵不断增大。

实际上，在人类历史上经常可以看到因资源枯竭而繁荣的文明衰败的过程。以古希腊和罗马为例，由于建筑和战争，耗尽了其周围的全部树木，最终导致了饥荒和传染病的发生。为了维持国家，古希腊和罗马只能不断地砍伐树木。人类社会得以生存和发展，需要从周围环境汲取能量和物质。在此过程中，人类以周围环境的更大熵增为代价来减少本身的熵。而人类耗尽周围环境的有效能量，无法使其本身的熵减少时，会面临衰败与崩溃。这就是古代人追求永动机、现代人类不断开发新能源的原因。如果人类无法从地球获取有效能量，就无法以能量和负熵抵抗熵的增大，社会不能维持内部的有序性。

5. 结语

英国天文学家亚瑟·埃丁顿就热力学第二定律表示：“我认为，熵总会增加的定律则是在自然定律中占据着至高无上的地位。……如果你创立的理论违反热力学第二定律，建议你不要再留恋，放弃。即使坚持这种理论，也只会带来惨痛的失败。”熵增定律是所有科学定律的第一定律，它既可以解释微观分子的宏观特性、人类历史的方向性等世界中许多现象，既可以给人类很多启示。

参考文献

- 【1】 Sethna, James P. (2006). *《Statistical mechanics : entropy, order parameters, and complexity》*. Oxford: Oxford University Press
- 【2】 Schrödinger, Erwin (1944). *《What is Life - the Physical Aspect of the Living Cell》*. Cambridge University Press