

185 宇宙中的熵

主题

物理学中的多数研究并不涉及宇宙。可是，有一天终于在热力学中出现了宇宙这个概念，似乎热力学需要这个概念。这样，我们就能在大学物理教科书中看到含有宇宙概念的热力学第二定律表述：

在可逆过程中，宇宙中的熵变等于零。“宇宙”表示系统和它的外界环境的整体。

在不可逆过程中，宇宙中的熵在增加。没有一个会使宇宙中的熵减少的过程。

在中学物理教科书中有也类似的表述：

宇宙中的熵在不断地增加或不变。

在维基百科中，当你用关键词“放能过程”（Exergonic process）去搜索，能查到：

宇宙中的所有物理和化学系统都遵循热力学第二定律，都朝着衰落（downhill）的方向（即放能的方向）进行。

缺点

1. 关于“宇宙中的熵有多大”的问题是一个很难回答的问题。在学习热力学第二定律这样简单的内容时，最好不要陷入宇宙热力学这样一个深奥的领域。如果要讨论宇宙中的熵，就必须把宇宙中所有区域的熵加起来。然而，这项工作怎么做？你想知道现在宇宙中所有地方的熵吗？问题是，我们如何确定相距遥远的时间点的同时性？

2. 假如这个宇宙是无穷大的。（这是一个有点形而上学的观点，显然对所有人来说都会觉得有问题的一个观点。）现在，问题出来了，宇宙中的熵也无穷大，并一定始终是无穷大。宇宙中的熵还会增加吗？当然会。你必须局域地来分析这个问题，而不要去考虑宇宙。在1897年，普朗克（M. Planck）在他的《热力学》一书中指出，宇宙中的熵是“无法定义的”。^[1]

3. 为什么在表述关于熵的原理时我们一定要提及宇宙，而在表述电荷、动量或重子数守恒时却不需要提及宇宙？

我们为何不这样来表述电荷守恒定律：

没有一个会使宇宙中的电荷发生变化的过程？

答案是显然的：因为还有比这更简单的表述。

4. 这里，“把熵当作一个特别重要的量”的观点又一次出现了。熵在这里又一次要作特殊的处理了。

历史

在一开始，人们就提到出了熵对“宇宙”演化的重要性的问题。显然，这个问题是由 W. 汤姆逊 (W. Thomson) 提出来的。^[2]关于这一观点，克劳修斯(R. Clausius)有过这样的讨论：^[3]

“.....这一定律 (热力学第二定律) 对整个宇宙的应用首先会得出 W. 汤姆逊所提出来的结论。关于这一结论我在刚刚发表的一篇文章中已经提及。在宇宙中发生的所有状态变化中，如果某一感觉的转换在大小上超过其相反感觉的转换，则宇宙的总状态发生比前一感觉更多的变化，这样宇宙必将朝着一个不会停留在一个极限状态的方向发展。”

(克劳修斯在这里所用的“转换”一词就是后来他叫作熵的物理量。)

从这个观点看来，上面引用的那些话看上去仍没有问题，因为没有人会猜测到广义相对论和现代宇宙学会被放到这样一个复杂的背景中来论述。同样，将热力学第二定律局域地用连续性方程来表述在当时来说仍是很遥远的事。是(G. Jaumann)在 1911 年首次提出局域的熵平衡方程的。

建议

在这里，我同样建议大家来关注(Wheeler)的一句话：“只有当我们局域地来分析问题时，物理学才会变得简单”。

对于物理量熵所遵循的规律，这样的表述就足够了：熵会产生，但不会消灭。人人都能理解这句话的意思。

如果我们想用数学公式来表述这一结论，我们只要写出相应的局域平衡方程 (连续性方程) 就够了：^[4]

$$\frac{\partial \rho_s}{\partial t} + \text{div} j_s = \sigma_s$$

(ρ_s =熵密度， j_s =熵流密度， σ_s =熵产生率)。请注意，上式右边这一项不可能为负值。

[1] M. Planck: *Vorlesungen über Thermodynamik*, Verlag von Veit & Comp. Leipzig 1897, S. 94.

[2] W. Thomson: *On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy*, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science , Series 4, 1852, S. 306.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786445208647126>

“在过去一段有限的时间内，地球曾经是一个不适宜于现代人所居住的地方；在今后一段有限的时间内，地球也将是一个不适宜于现代人居住的地方；除非当时有人对它进行了或即将进行在我们现在所知道的这个物质世界所遵循的定律下不可能发生的操作。”

[3] R. Clausius: *Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*, Annalen der Physik und Chemie, Band CXXV, No. 7, S. 397-400.

[4] G. Jaumann: *Geschlossenes System physikalischer und chemischer Differentialgesetze*, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Mat.-Naturw. Klasse, Abt. IIA 120, 1911, S. 385-530.

Friedrich Herrmann

(陈敏华，2019年8月27日译于浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学)