

11. 孤立系统

主题:

为了表达能量或其他物理量的守恒，我们通常要规定一个孤立系统。我们要想象一个空间区域。所讨论的物理量无法流入这个区域的边界。下面所引用的关于能量守恒的两个例子来自于高中物理教材。这些内容被安排在教材的显著位置来加以强调。

1. “在一个对于热能和机械能来说是孤立的系统，其总能量是不变的。”
2. “在一个孤立系统中，所有能量的总和保持不变，总能量是守恒的。”

$$E_{\text{总}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{常数,}$$

其中 E_1, E_2, \dots, E_n ，是不同形式的能量。”

缺点:

一个广延量或实物型物理量的守恒概念并不是一个难理解的概念。这是因为，事实上我们很容易来描述这些物理量，我们可以把它们想象为一种流体或一种实物。这样，一个物理量 X 的守恒性可以用这样的方式来描述：“ X 不能产生也不会消灭。”

这里，用词的确切性是无关紧要的。对守恒定律，我们甚至可以用日常话语来表达。

我们可以这样来描述守恒定律：在空间某一区域的 X 值只有当 X 从这个区域流入或流出时才会发生变化。用数学公式我们可以这样来表达：

$$dX/dt + I_X = 0,$$

这里 dX/dt 是在所考虑的空间区域内的 X 的变化率， I_X 是通过这个空间区域的边界表面的 X 流。

用孤立系统来描述能量守恒定律是上面这种表达方式的特例。“孤立系统”意味着通过空间区域的边界表面的 X 流为零。然而，能量守恒定律并不需要用孤立系统这个条件来加以限制，一个物理量的守恒性与系统是封闭的还是开放的无关。

为了确认我的学生数是“守恒的”，我们并不需要教室的门是关闭的。如果有人从教室里不时地进进出出，这也没什么关系；只要我查清有人进入了教室，我就知道教室内的学生数增加了；或者只要我查清有人离开了教室，我就知道教室内的学生数减少了。

历史:

我们一直用孤立系统来描述能量守恒定律，这一事实是由于能量一直没有被当作一个实物型物理量来对待。直到 20 世纪初，能量的局域性还没有被人们所认识。因而，人们当时还不可能把它与密度和流密度联系起来。普朗克 (Max Planck) 在 1887 年对能量这个概念作了一个历史性的考察^[1]:

“.....根据这一定义，能量只能用那些外界的变化来加以测量。如果我们把能量想象为一种实物材料，我们就必须从系统的环境来考察能量。只有这样，能量才能得到合理的解释，它的概念才得以存在。.....另一方面，我们从以前导出的能量守恒定律的形式中可以看出，如果系统中的某个过程没有引起外界的任何变化，系统的能量保持不变。这一观察结果告诉我们，我们可以把能量想象为包含在系统中并独立于外界变化而存在的量。”后来他又说：“同时，以下的结论是不会错的.....把能量解释为实物型物理量不但使我们在概念上更加清晰，而且在理解这个概念方面得到了直接的加深.....然而，一旦我们涉及到这个问题，能量本身存在的不确定性就成为一个物理问题，而这个问题原则上是可以得到解决的.....”

几年后，这个问题由米伊 (Gustav Mie) 得到了解决^[2]。他证明，能量守恒定律可以表示为局域的形式，即可以表示为连续性方程 (a continuity equation) 的形式。从此以后，我们再也不需要划分系统和只能从系统周围环境中才能观察到的变化。

这样，人们总共花了 50 年时间才证明了能量的实物型性质。然而，一开始就预言能量具有这一性质的是奥斯特瓦尔德 (W.Ostwald)。他在 1908 年的一本小册子《能量》中曾这样评价迈尔 (Robert Mayer) 的工作：“根据我们的总体观察，迈尔的工作所得出的基本结论是他关于力 (即能量) 的实物型性质的观点。根据他的这一观点，能量是一个经过严格定义的实在，而不可消灭性和不可产生性是这一实在的特点。”

建议:

我们应该这样来描述实物型量 X 的守恒定律：“能量、动量、角动量、电荷量.....既不能产生也不会消灭。”

同样重要的是，我们应该这样来描述实物型量的不守恒性，例如：“熵可以产生但不会消灭。”

参考文献

[1] M. Planck: Das Prinzip der Erhaltung der Energie. B. G. Teubner, Leipzig, 1908, S. 115.

[2] G. Mie: Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. CVII. Band, VIII. Heft, 1898, S. 1113.

[3] W. Ostwald: Die Energie. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1908, S. 59.

(陈敏华 2012 年 2 月 9 日译于豫才中学)