

熵与熵变

周 又 新

(沈阳广播电视大学 沈阳 110003)

在热力学中,为了判断一切不可逆的过程的进行方向,人们引入了熵的概念。熵是一个比较抽象的物理概念,它代表着自然界中所有不可逆过程的一个特有的判断标准。

一、熵所量度的物理内容

我们依据经典统计力学的观点讨论熵所量度的物理内容。

设有一个不受外界影响的孤立系统。这个系统中每个粒子都在做无规则的热运动,粒子间不断地相互作用和碰撞着,大量粒子分布在各自不同的动力学状态。由于这是一个不受外界影响的孤立系统,系统的总能量和粒子数是恒定不变的,变化的只是所有粒子各自不同的动力学分布状态。在不同时刻,系统粒子不同的动力学分布状态对应不同的分布几率 P_i 。那么,当系统达到统计平衡状态时,其宏观态所能包含的所有微观态的数目达到最大值,其 P_i 亦达到最大值 P ,称 P 为系统粒子的最可几分布几率。显然,系统未到达平衡态时,其分布几率 P_i 必小于最可几分布几率 P 。正是为了描述一个不受外界影响的孤立系统总是朝着最可几分布演变而趋向统计平衡这种自然趋势,人们引入了熵(S)这个重要概念。一个系统的熵正比于该系统所处状态的粒子分布几率 P_i 。作为描述系统状态的独立变量,熵是用来量度系统所处状态的粒子分布几率的。换言之,熵是用来量度系统所处状态粒子热运动的混乱程度的;或者说,熵是用来量度系统宏观态所能包含微观态的数目多少的;也可以说,熵是用来量度系统趋向平衡态的程度的。总之,熵是物质系统的状态函数,在系统的某一状态中有完全确定的数值,即熵是状态参量的单值函数。

二、熵变所量度的物理内容

下面我们通过热传递与做功的过程,来具体讨论熵变的宏观意义。

设有3个孤立系统A、B、C,均为热容量足够大的恒温热源,且 $T_A > T_B > T_C$ 。

例1,当有热量 Q 从A传递到B的过程中,A的熵变为 $-Q/T_A$,B的熵变为 $+Q/T_B$,取A与B为研

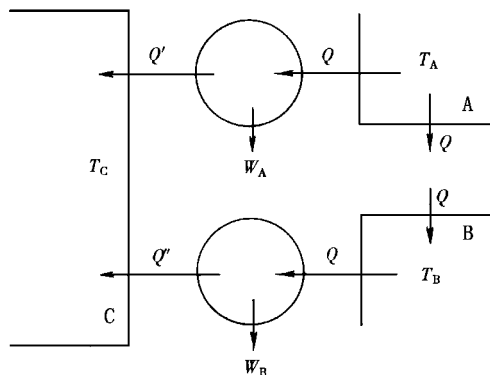


图 1

究对象,则系统的总能量不变,而熵增加了,有

$$S = \frac{Q}{T_B} - \frac{Q}{T_A} > 0。$$

例2,从高温热源A取出热量 Q ,以理想卡诺循环把热量传递给低温热源C,则做功为

$$W_A = Q = \left[1 - \frac{T_C}{T_A} \right] Q。$$

例3,从高温热源B取出热量 Q ,以理想卡诺循环把热量传递给低温热源C,则做功为

$$W_B = Q = \left[1 - \frac{T_C}{T_B} \right] Q。$$

结果有

$$W_A - W_B = T_C \left(\frac{Q}{T_B} - \frac{Q}{T_A} \right)。$$

比较之后有

$$W_A - W_B = T_C \cdot S > 0,$$

$$\text{或 } S = \frac{W_A - W_B}{T_C} > 0。$$

(1) $S > 0$ 说明,熵的增加表示一部分热量丧失了转变为功的能力,有能量 $W_A - W_B$ 由于热传递而不能转变为功了。能量是守恒的、不灭的,但能量的转化率降低了,这就是熵增加的宏观意义。

(2) 熵是热量转化为功的能力的量度。熵越小,热量转化为功的能力越强,熵越大,热量转化为功的能力越小。

(3) 熵是能量的利用价值的量度。在 T_A 时,熵

值小,能量(Q)的利用价值大(W_A),在 T_B 时,熵值大,能量(Q)的利用价值小(W_B)。

三、熵变与温熵图

上面讨论的例 2,我们可以画出其 $T-S$ 图,如图 2 所示:

图 2

长方形 $a_1 a_2 NM$ 的面积代表热量 Q ,长方形 $a_1 a_2 c_2 c_1$ 的面积代表卡诺热机对外界所作的功 W_A ,而 $c_1 c_2 NM$ 的面积代表图 1 中的 Q 。显然,从图 2 中可以清晰而形象地看出总能量 Q ($a_1 a_2 NM$),有效能量 W_A ($a_1 a_2 c_2 c_1$)和无效能量 Q ($c_1 c_2 NM$)三者之间的数量关系。

我们再画出例 3 的 $T-S$ 图如图 3 所示,总能量 Q ($b_1 b_2 GM$),有效能量 W_B ($b_1 b_2 c_1 c_3$),无效能量

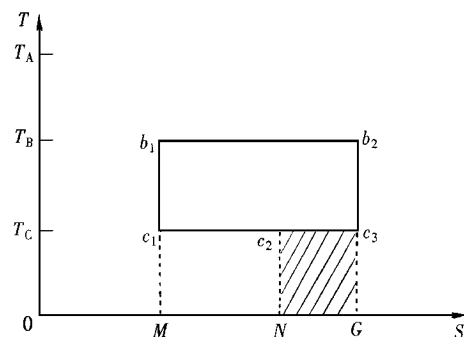


图 3

Q ($c_1 c_3 GM$)。

通过图 2 与图 3 的对比,我们来讨论一下两者的差别。例 2 与例 3 中总能量 Q 是一样的 ($a_1 a_2 NM$ 与 $b_1 b_2 GM$ 面积相等),但有效能量不同, $W_A > W_B$ ($a_1 a_2 c_2 c_1 > b_1 b_2 c_3 c_1$),无效能量也不同 $Q > Q$ ($c_1 c_3 GM > c_1 c_2 NM$)。注意, $Q - Q$ 对应于面积 $c_2 c_3 GN$ (即图 3 中的阴影部分)。显然, $W_A - W_B = Q - Q = T_C \cdot S$ 。图 3 中的阴影面积形象地表明了因熵增加而多出来的无效能量的数量。熵越大,系统能量的可利用性就越差,熵增加就意味着能量的不可利用性加大,故熵是能量的不可用程度的量度,其根源则在于过程的不可逆性。

新 书 介 绍

《高能重离子碰撞导论》

高能重离子碰撞是 20 世纪 70 年代以来形成的一个新的研究领域,其目的是研究在相对论和极端相对论能量下,由核-核碰撞所产生的极端高温、高密度的核物质的性质,探测新的核物质相。这种研究对人们了解物质更深层次的性质,对于粒子物理、核物理和有关宇宙形成及演化的研究都有非常重要的意义。

黄卓然 (Chen - Yin Wong) 先生所著的《Introduction to High Energy Heavy - Ion Collisions》一书 1994 年由新加坡世界科学出版公司出版。哈尔滨工业大学张卫宁教授的中文译本亦于 2002 年 1 月由哈尔滨工业大学出版社出版。这本书从基本概念出发,系统地介绍了高能重离子碰撞研究的各主要方面。内容包括:高能重离子碰撞研究中的常用变量;高能

碰撞下各种粒子产生的理论和模型,以及实验结果;夸克-胶子等离子体系统的性质;格点规范理论的基础和主要结果;核-核多重碰撞;高能重离子碰撞中夸克-胶子等离子体形成的条件;夸克-胶子等离子体的各种信号以及实验数据分析结果等。

本书内容深入浅出,数学推导完备。书中穿插有补充和练习,非常适合做教材供有关专业的研究生使用。本书也很适合有大学本科物理基础的高年级学生以及研究人员阅读和自学。相信中译本的出版能够对国内的大学生、研究生和有关科研人员了解、熟悉和进入高能重离子碰撞这个新的研究领域有所帮助。

(赵维勤 供稿)