

生活中的热力学

钟立新

(浙江师范大学数理学院 浙江 313200)

在我们的日常生活中,常常会遇到这样的情况:有些看似平常的事,要做到却很难,有些甚至是不可能做到的。这是为什么呢?实际上,这与许多物理学规律是紧密联系在一起的。

一、热力学定律

热力学第一定律是能量守恒定律在涉及热现象宏观过程中的具体表述。

一般说来,在一个热力学过程中既做功又传热,这时系统内能的增量为: $U = A + Q$,式中 A 是外界对系统所做的功, Q 是外界传递给系统的热量, U 为系统内能的增量。由于系统内能是态函数, A 和 Q 之和即 U ,只由系统的初态和末态决定,与过程无关,上述表达式就是热力学第一定律的数学表达式。在这里我们看到,内能和热量的重要区别,是内能是态函数,而热量不是态函数,热量的数值依赖于过程。在一定的体积或压强下,我们可以说某温度的气体具有多少内能,但不能说它具有多少热量。在上式中, A 和 Q 分别代表外界对系统所做的功和外界传递给系统的热量,它们都是代数量,可正可负。外界对系统做负功,表示系统对外界做正功,外界传递给系统负热量,表示系统传递给外界正热量,反之亦然。

热力学第一定律和能量守恒有关,而热力学第二定律则与可逆和不可逆过程有关。在物理学中我

们这样定义可逆过程和不可逆过程:一个系统由某一状态出发,经过某一过程达到另一状态,如果存在另一过程,它能使系统和外界完全复原(即系统回到原来的状态,同时消除了系统对外界引起的一切影响),则原来的过程称为可逆过程;反之,如果用任何方法都不可能使系统和外界完全复原,则原来的过程称为不可逆过程。上述不可逆的论述表明,自然界的过程是有方向性的,沿某些方向可以自发地进行,反过来则不能,虽然两者都不违反能量守恒定律。克劳修斯于 1850 年提出热力学第二定律的一种表述之后,第二年开尔文提出了另一种表述,两种表述是等价的。热力学第二定律的克劳修斯表述(1850 年)为:不可能把热量从低温物体传到高温物体而不引起其他变化。热力学第二定律的开尔文表述(1851 年)为:不可能从单一热源吸取热量使之完全变为有用的功而不产生其他影响。

二、热力学定律与永动机

历史上曾有人幻想制造这样一种机器:这种机器能够在循环过程(即从初态出发经过一系列状态后又回到初态的过程)中对外界做功,而无需外界供给能量。这种机器叫作第一类永动机。这种幻想曾经是很具有吸引力的,但一切制造这类机器的尝试都失败了,其失败的原因就在于它违背了热力学第一定律。实际上,对于循环过程,由于末态和初态相

也可以由某些非热过程引起。X 射线辐射机制的研究还导致对天体的一种重要产能机制的重视,使吸积理论成为当代理论天体物理的一大支柱,促进了对致密天体的深入观测和研究。X 射线天体物理学已经和基本的物理概念联系在一起,它的研究促进了我们对黑洞、宇宙暗物质、致密天体和极端条件下物理过程的了解,在宇宙中找到了天然的实验室,用于对基本的物理理论进行检验。另一方面,在天体的极端条件下,基本的物理过程和规律将起着更为显著的作用,通过对这些天体的研究,有可能发现新

的物理过程和规律。我们有理由相信,在未来物理思想变革的过程中,高能天体物理将扮演重要的角色。贾科尼创建了 X 射线天文学,实际上,也开创了蓬勃发展着的高能天体物理学。

目前,X 射线天文学已经发展成为一门可以与光学天文学和射电天文学相媲美的学科,是目前最活跃的研究领域。随着一系列天文卫星的升空,大量的观测资料将使我们宇宙的认识更加深入,我们相信高能天体物理学将在人们了解宇宙的进程中发挥更大的作用。

同,应该内能相同。若系统吸热为零,则系统对外做功必定为零。这就是说,在循环过程中,若没有外界以热量的形式供给的能量,系统不可能对外界做功。所以,根据热力学第一定律,第一类永动机是不可能实现的。人们有时将热力学第一定律直接表述为“第一类永动机是不可能的”。

19世纪初,热机的应用已经很广泛,但热机的效率很低,如何提高热机的效率成为当时迫切需要研究的问题。根据热力学第一定律我们知道,效率大于100%的循环工作的热机是不可能实现的。但是,从理论上讲,效率等于100%的热机是否有可能实现呢?换句话说,是否有可能制成一种循环动作的理想热机,它从一个热源吸取热量,并将此热量全部转化为功,而不对冷源放出热量?这样一种理想热机在当时吸引了许多科学家去进行研究,因为这种理想热机的设计并不违反能量守恒定律,似乎有更大的可行性。如果能制成这样的永动机,那么我们的能源利用就非常有效了。譬如,若有办法不惜以任何代价使处于环境温度的海水温度稍微降低一点,把所释放出的热量全部拿来做功,这就是一种永动机,因为它所提供的能源实际上是取之不尽、用之不竭的。人们把这种从单一热源吸热做功的永动机称为第二类永动机,以别于违反能量守恒定律的第一类永动机。而制造第二类永动机的种种尝试也都失败了,因为它违反了热力学第二定律。所以热力学第二定律的开尔文表述又可以表述为“第二类永动机不可能。”

三、熵概念的引出及其特点

1824年,法国物理学家卡诺就提高蒸汽机的效率问题从理论上进行了概括,总结出卡诺定理:所有工作于两个一定温度之间的热机,以可逆机的效率为最大。在卡诺工作的基础上,克劳修斯和开尔文分别提出了热力学第二定律的两种表述。克劳修斯的表述实质上指的是热传导的不可逆性,开尔文的表述实质上指的是功热转化的不可逆性,这两种表述后来被证明是等价的,这种等价暗示着自然界的不可逆过程之间有某种内在的联系。通过对各种不可逆过程的分析可看出一个共同特点:当给定系统处于初态时,总要发生从初态到末态的自发性过渡;当给定系统处于末态时,则不可能发生末态向初态的自发性过渡。这说明系统的末态与初态相比,两者在状态的属性上存在一种不可逆性。也就是说,系统存在某一状态函数,它的变化与过程的方向

之间有着确定性的对应关系,这个状态函数就是熵,它是克劳修斯于1865年首先提出来的。

熵是系统弥散度的表征。在热传导过程中,热总是自发地从高温向低温传递,不均匀的温度分布总是向均匀的温度分布过渡;在扩散过程中,物质总是自发地从密的地方向稀的地方迁移,不均匀的密度分布总是向均匀的密度分布过渡;在功热转化过程中,分子的有规则运动总是自发地向无规则运动转变,分子运动方向的不均匀总是向均匀化的运动方向转化。在上述基本热过程中,从一个方面看,热力学系统的能量(物质或结构)发生了弥散;从另一方面看,热力学系统的状态函数——熵增大了。因此,可以认为熵是表征热力学系统的能量弥散程度的物理量。熵大,弥散度大;熵小,弥散度小。因为这种弥散是向着均匀化方向演化,因此,也可以把熵看成表征热力学系统均匀化程度的物理量。

在上述自发进行的过程中,我们说熵是增加的。实际上,这就是熵增加原理。即当系统与外界绝热,对于不可逆过程,系统经由一个平衡态到达另一个平衡态时,系统的熵永不减少;若此绝热过程是可逆的,熵的数值不变;若此绝热过程是不可逆的,熵的数值增加。孤立系统与外界无任何相互作用,自然满足绝热条件,因此孤立系统的熵永不减少。这分两种情形:①若开始时系统处于平衡态,其后将仍保持此平衡态,系统的熵将保持不变。②若开始时系统处于非平衡态,其后系统自发向平衡态过渡,熵随之增加,直到熵达到最大值而不能再增加,系统达到平衡态而不再变化。由此可见,孤立系统中的自发过程总是朝着熵增加的方向进行,并且在熵达到最大值时系统达到平衡态。

我们知道,在固体物质中,粒子按一定次序有规则地排列着。当它熔解为液体后,这种排列就变得比较不规则了。到了气体状态,分子的运动则是杂乱无章,完全没有次序了。从固态到液态,从液态到气态,这种物态变化过程是物质中分子运动的无序程度增加的过程。这是从微观方面看的。另一方面,从宏观上看,在这种过程中,系统要吸收热量,因而它的熵要增加。系统的熵值越大,热力学几率越大,无序性越高;熵值越小,热力学几率越小,无序性越低。熵增加的过程实际上就是混乱程度增加,无序性增高的过程。熵增加原理的意义则在于指出:在一切自发的热过程中,系统的弥散度(或能量或物质或结构或均匀性)都会增加。

四、熵的变化与生命的过程

孤立系统中发生的过程将使它的熵增加,无序性提高,最后达到熵取极大值的状态,无序性最高的状态即平衡态。达到平衡态之后,如果由于某种扰动使系统一时偏离了平衡态,随着时间的推移,它将回到平衡态,这说明平衡态是稳定的。孤立系统不可能自发地降低其无序性,由无序转变为有序。

但是,自然界中大量存在的是非孤立系统,它们的情形并不像以上所说的那样。由于非孤立系统与外界有能量交换,或者既有能量交换又有物质交换,它们不满足熵增加原理的条件,所以它们的熵可能增加,也可能减少。因而这种系统的无序性可能增高,也可能降低,这与外界的作用有关。它可以由有序转变到无序,再到更高的无序;也可以由无序转变到有序,再到更高的有序。

生命的形成就是从无序到有序的过程,开放是产生有序的条件。宇宙中的各种系统,无论是生命的还是无生命的,无论是自然的还是社会的,实质上无一不是与周围环境有着相互依存、相互作用的关系。系统本身由于不可逆过程引起了熵的增加,系统与外界交换物质、能量引起熵流,熵流可增加,也可减少。若随着时间的推移,系统的熵逐渐减少,系统则从无序趋向有序。为了研究从无序到有序的过程,在物理学中引入了耗散结构的概念。耗散结构理论通过开放系统引入负熵流的概念,负熵流的引入使得我们能够从熵变化角度,综合讨论从无序到有序和从有序到无序的过程。

在耗散结构形成的过程中,随机涨落起着十分重要的作用。由于系统内部和外部复杂的相互作用,系统中的温度、压力、浓度、密度、粒子间的相互作用,随时都会发生一些小的涨落,涨落的大小带有一定的随机性。涨落在不同的状态下有着不同的作用。在平衡态,它是破坏稳定的干扰性因素,起着消极作用;而在远离平衡态的非线性区,随机涨落却蕴藏着非常积极的因素。在热力学中,某些随机性的涨落可以通过相干效应迅速放大,形成宏观整体上的“巨涨落”,使无序状态跃迁到一个新的有序状态,从而形成耗散结构。耗散结构的概念是与平衡结构的概念相类比而建立的。平衡结构不进行任何物质或能量的交换就能维持,耗散结构则要与环境进行物质能量的交换和流通才能产生和存在。

生命的形成是从简单的单细胞朝着复杂的多细胞方向演化,生命形成的机制是通过自我组织和自

我复制,把各种从外界输入的无序物质同化,并按一定序列和方式组合起来,形成新的稳定的有序结构。这种由无序变为有序,体现了生命的基本特征。这个过程是熵减少的过程,胎儿的形成就是这样一个过程,在这个过程中,系统由无序变为有序。当卵子受精后,单细胞开始分裂,最后形成完整的胎儿。整个的进化过程是一种按照遗传密码的指令,将输入的各类无序物质变成越来越高级的顺序。同时,在这过程中,系统也在不断增加自身的复杂性。生命可以处于某种平衡的稳定态之中,机体的许多组织可以维持在一个稳定的状态上。虽然机体内的不可逆过程在不断地进行着,但是,从系统的整体来看,平衡态是可以暂时保持不变的,这时机体的熵变为零。当熵增大时,系统将会从有序变为无序,各种无序的物质在细胞和机体中堆积起来,细胞和机体的新陈代谢能力减弱,不能将这些无序物质分解和消除掉。随着岁月的流逝,无序物质的堆积越来越多,生命就越来越弱,并朝着死亡的方向进行。

从科学的研究中发现的热力学第一定律和热力学第二定律,既是物质世界中一般的能量及物质转移、变化过程中所需遵循的,也是生命这种特殊的过程所需遵循的。这两个定律具有各自的独立性。热力学第一定律是涉及到热现象的能量守恒和转化定律,热力学第二定律是与一些具体的过程联系在一起,表示过程发生的方向性的物理定律。自然界中的任何过程都不能违背热力学第一定律,但不违背热力学第一定律的过程并不是都能发生,它们同时还需要不违背热力学第二定律。我们周围的世界就是在这些物理规律的支配下,不断地演化和发展的。

海王星周围新发现 3 颗卫星

科苑快讯 美国和加拿大天文学家在海王星周围新观测到 3 颗卫星,这一发现使海王星已知卫星数增至 11 颗。新观测到的 3 颗海王星卫星个头都比较小,直径约在 30~40 千米之间,轨道亦不规则。天文学家们对海王星等巨型气体行星周围运行轨道不规则的卫星一直颇感兴趣。据认为,这些卫星是行星常规卫星与途经的彗星或小行星撞击后的产物。研究人员之一、美国哈佛—史密森天体物理学中心的霍尔曼指出,新发现的这些卫星开启了一扇窗口,将有助于科学家们研究“行星形成时期太阳系的状况”。