

简论热力学熵、信息熵及熵的泛化

魏 环

(河北理工学院基础部 唐山 063009)

热力学熵 熵是克劳修斯于 1865 年定义并命名的一个热力学系统的状态函数,它严格应用于系统的热运动,故又称“热力学熵”。熵的英文为“entropy”,是克劳修斯用两个希腊字拼合而成,“en”是能量的词冠,“tropy”意为转移和变化,因此,熵是一个与热力学过程中的能量变化有关的量。根据热力学第一、第二定律,有

$$dA \leq - (dU - TdS) \quad (1)$$

式中 U 、 S 、 T 分别为系统的内能、熵和温度, dA 为系统对外做的功。式(1)表明:在热力学过程中,系统被消耗的内能分为两部分,能用来对外做功的能量为 $(dU - TdS)$,而另一部分能量 TdS 则不可利用,它失去了做功的潜力,是退化了的能量。并且,这部分不可利用能在量值上与该过程中系统的熵增成正比。因此,是熵将能量再分为两类:熵从反面量度系统的运动转化潜力,熵是系统能量品位的量度。系统的

人数字助理机(PDA)和大容量电子存储器方面都有良好的应用前景。特别是抗辐射性能,在军事目的和在航天航空中的应用有重要的意义。

目前,各国在政府资助下正在积极开展 MRAM 的研究工作,预测到 2000 年,容量达 $15.5\text{TB}/\text{cm}^2$,存储时间减少到纳秒级的 MRAM 将进入市场。

总之,从 1988 年发现 GMR 效应到 1994 年 IBM 宣布制成高性能 GMR 硬盘读出磁头和现在 GMR 在各领域中的应用研究,对 GMR 的研究正以惊人的速度从基础研究进入实际应用,这也体现了目前各国对有应用前景的科研项目支持远大于对其他一般性研究课题的支持水平。在市场经济中,谁走在巨磁电阻研究的前沿,谁就将领导一个新的技术革命,谁就会拥有

熵越高,其能量的品位越低、对外做功的潜力越小、可用性越小。在自然界中,一切真实的过程都是不可逆的过程,也是熵增加的过程,因此,一切真实过程的进行都会导致能量的退化、贬值。熵的这种性质,也使其为一切热力学过程发生的条件、进行的方向及进行的限度提供了普遍的判据。

从分子运动的观点看,熵是系统内分子运动紊乱程度的测度,即

$$S = k \ln W \quad (2)$$

式中 W 为系统的微观态数,又称为热力学概率。式(2)表明:分子运动越是无序,系统的熵就越高。玻尔兹曼对熵做出的这一统计解释,为熵的泛化奠定了理论基础。

信息熵 从通讯的角度看,由于随机性的干扰(即噪音)是无法避免的,因此,通讯系统具有统计的特征,信号源可视为一组随机事件的

市场。因此 GMR 技术的应用研究将会给我们带来丰厚的经济利益。

5. 学科意义及启示

磁电子学的兴起有重要的意义。从科学发展史上看,各学科间的相互促进也是很有意义的。在本世纪初,由于现代物理学的两大基础——量子论和相对论的建立,铁磁性理论才从唯象理论进展到微观理论。也为从真空电子学发展到固体电子学奠定了基础。到本世纪中期,在现代物理学基础上发展了现代固体物理学和凝聚态物理学,由此又发展了各种技术从而推动了磁性材料从金属到高电阻率的非金属铁氧体的发展。到本世纪后期,由于电子自旋与电子传导结合的磁电子学就是一个证明。从生产力的发展上看,磁电子学的兴起将极大地推动人类文明的发展和创造出巨大的社会财富。

集合。该集合所具有的随机性不确定度,与热力学系统中因大量粒子无规则热运动所造成的微观状态的混乱度或无序度是类同的,所以,信息论的创始人申农(C. E. Shannon)采用了同样的思维方法——利用概率统计理论来定义具有一定概率分布的信号源的平均不确定性测度,即

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中 n 为信号源的信号种数, P_i 为第 i 种信号出现的概率。利用等概率原理可以证明, H 与 S 的统计表述在形式上是可以相互转换的,所以, H 被称为信息熵。同时,信息量 I 作为信息熵的对立面,被定义为信息熵增量的负值,即

$$I = - \Delta H \quad (4)$$

式(4)又称为信息的负熵原理。一个开放系统,获取信息就等同于吸取了负熵,可使系统的不确定度、紊乱度减少并趋于有序;丢失信息时,其熵增加,无序度随之增加。因此,信息与熵彼此是互补的,信息就是负熵,而熵就是系统丢失了的信息的量度。

熵的泛化 信息熵的出现,可视为熵泛化的标志。在自然科学和社会科学的各个领域,存在着大量的不同层次、不同类别的随机事件的集合;每一种随机事件的集合都具有相应的不确定性或无序度(在这里,无序度系指客观事件或系统组成要素之间无规则的联系和转化的程度),而所有这些不确定性或无序度都可以用信息熵这个统一的概念来描述,这正是熵概念能够广泛使用的客观基础。因此, H 又被称为泛熵或广义熵,并用于描述或量度任何一种物质运动方式的不确定度或无序度。据不完全统计,目前至少有 70—80 种熵,应用于自然、生命、思维及社会等各个领域。如模糊熵,量度由于系统运动状态方式的模糊性而引起的不确定性;拓扑熵,量度拓扑维的不确定性;基因熵,描述由于生物群体融合导致的遗传基因的混杂度;各种气象熵,描述大气这一多体系统中各个层次的无序度。此外,如条件熵、社会熵、经济

熵等概念,也已在社会及经济学领域中被采用。对无序、对不确定性的研究已成为现代思维方式的重要内容。

熵概念的泛化,不仅引发了许多新的概念,同时也引发了许多新的交叉学科。将熵理论引入生命科学领域,产生了生物热力学和生物信息论两个新的分支学科;在经济学领域,由于熵增原理为经济增长的自然限界奠定了理论基础,导致了熵经济学、环境经济学和资源物理学的形成。耗散结构理论作为熵概念深化的产物,在热力学和达尔文进化论之间建立起了一座桥梁,它不仅把物理规律和生物发展的规律初步统一起来,同时也为用物理学和化学的方法研究生物学开辟了道路。目前的生物学研究正是沿着这条道路前进的。

熵原理已在许多学科中得到运用,尤其令人关注的是由此而导致的以现代物理学为根基的新的世界观的出现。薛定谔提出的“生命依赖负熵为生”的名言是对生命做出的最为生动、深刻的诠释,至今脍炙人口。熵原理在生态学中的运用,使人类意识到:自然界有其自身的限界,它不能为人类提供取之不尽的资源 and 无限大的生存空间;而另一方面,人类社会以及科学技术的发展又导致了熵的快速增长。熵原理告诫人类,应建立一个对于人类和自然界都合理、合适的最佳生存模式,即建立一个“负熵社会”,要以尽可能少的能耗,求得社会生产力的发展,以抑制、降低熵增长。天体与大气物理学家埃姆登早在 1938 年就对熵与能的关系做出了精辟的比喻:“在自然过程的庞大工厂里,熵原理起着经理的作用,因为它规定着整个企业的经营方式和方法;而能原理仅仅充当簿记,平衡贷方和借方。”因此,熵比能更重要。熵原理代表着新的世界观。

在今天,熵被公认为是当代物理学前沿中的五大重要概念之一。认识和掌握熵原理,对于我们能够用科学的思想及世界观去指导和调整人类的生产及生活行为,是十分必要的。