

协同学的产生与现状

Emergence of Synergetics and Its Present State

李湘洲

(长春建筑材料工业学校, 高级讲师 长春 130022)

协同学是德国物理学家赫尔曼·哈肯在研究激光理论的基础上,于70年代初提出,1977年正式问世的。

协同学也叫协合学,是一门新兴的学科,它横跨自然科学和社会科学,适应范围非常广泛。协同学研究的是一个系统从无序到有序转变的规律和特征。

一、自然界中的有序和无序

系统的有序和无序,往往能够决定系统的性质。例如,水在不同的温度下,分别以水蒸汽、水和冰这三种状态存在。在高温下,水是以水蒸汽的状态存在的,这时水分子运动是不规则的,属于无序状态。当温度降低,水蒸汽变成了水,这时水分子之间就保持着一个平均距离,它们的运动有一定的规则,即无序度降低了;再降低温度,当水变成冰后,水分子就以一定的次序排列着,成为有序状态。由此可见,随着无序度的降低,水由气态变成液态,再变成固态。因此,物质的相变伴随着无序度的变化而变化。

分子的热运动是紊乱无序的,但可以转换为宏观的定向移动,即“热”转换成“功”。众所周知的蒸汽机车就是根据这个原理制成的。

静电学里面谈的金属导体中的大量自由电子原本是做无序的热运动,但在导体两端加上电压之后,即在电场力的作用下,这些分子却十分顺从地向一个方面运动,即定向运动。磁学中通常见到的铁磁质不表现磁性。主要因为铁磁质的内部的磁畴也是杂乱无章的排列,方向不同而处于混沌无序状态。当铁磁质接触或靠近永久磁铁时,磁畴在磁场作用下按南(S)北(N)极形成整齐有序的排列,就会显示出磁性,这是电磁理论中磁畴协同动作的一个典型例子。

激光的产生跟激光器里粒子有序和无序有很大关系。当外界输入激光器的能量不高时,激光器里粒子的运动状态是无序的,它们彼此独立地发出

一系列不相干的光波,这时,激光器就像一只普通的灯,发出的光是相位和方向都没有规则的自然光。当外界输入激光器的能量达到一定强度以后,激光器里粒子的运动状态变成有序状态,原来发出的波长不同、方向各异的自然光转换成波长相同、方向一致的激光,这是德国著名理论物理学家哈肯研究发现的,从而使古老的光学焕发异彩,成为近代物理中协同动作的又一典型实例。

由此可见,研究一个系统的有序和无序,以及它们的变化规律,是一项很有意义的工作。

二、研究对象与渊源

哈肯教授在研究激光的过程中,发现其内部有许多合作现象,从而得出了协同作用的概念。协同学指出,一个稳定的系统,它的子系统都是按照一定的方式协同地活动,有次序地运动的。

例如,一个由老鼠、蛇、三叶草和土蜂构成的系统,开始时,该系统处于老鼠多、土蜂少、三叶草少、蛇少的状态。老鼠多,大量的土蜂窝就会被破坏掉,造成土蜂减少,因而削弱了三叶草花粉的传播,造成三叶草减少,三叶草减少又使得蛇的生存环境恶化,造成蛇减少。蛇是老鼠的天敌,蛇减少了对老鼠的威胁自然减少,老鼠增多。这样,这个系统中的各个子系统之间相互作用的结果,构成了一个老鼠多、蛇少、三叶草少、土蜂少的一个稳定结构。

那么,如果系统中的各个子系统不那么协调呢?协同学指出,当一个系统受到外来因素的影响时,原来的次序被破坏了以后,系统里各个子系统就会相互作用,最终会使系统在另一种次序下稳定下来。

仍以老鼠、蛇、三叶草、土蜂这个系统为例。如果给这个系统加进大量的猫会怎么样呢?因为猫吃老鼠,原来系统的稳定结构就被破坏了。老鼠数量的减少,会造成整个系统的一连串变化。老鼠一减少,被老鼠破坏的土蜂窝也就减少了,这就是说土蜂增加了。大量的土蜂传播三叶草的花粉,又会使

三叶草增加,三叶草的增加改善了蛇的生长环境,蛇的数量也就增加了,而蛇是吃老鼠的。蛇数量的增加又会使老鼠的数量更加减少。这样,整个系统就处于不断地改变之中,最后,系统将被调整成新的结构:老鼠少、土蜂多、三叶草多、蛇多。这种新的结构也是一种稳定的结构。

大约在 200 万年以前,北美洲和南美洲还是两个分开的大陆。这两个大陆可以看成是两个孤立的系统,它们上面各自不同的哺乳动物之间相互作用,使每一种哺乳动物都大致稳定在一定的数量上,这是一个稳定的状态。由于地质运动,北美洲和南美洲两块大陆连在一起了,这两个系统间产生了相互影响,哺乳动物在这两个大陆上开始迁移,这就打破了这两个系统原来的物种稳定结构,许多年之后,迁移基本结束。哺乳动物物种的数量又在新的次序下稳定下来,系统进入了新的稳定状态。

协同学的研究对象,是由大量子系统组成的系统。如激光系统,其子系统包括原子、光子;生物系统,它的子系统包括动物、植物;社会系统,它的子系统包括党派和团体等等。由子系统组成的大系统总有一个相对稳定的宏观结构,这个宏观结构是各个子系统相互竞争、作用而形成的模式,正是各子系统之间的协同作用与竞争决定着系统从无序到有序的演化过程,这正是协同学的精髓所在,也是协同学中协同的真正含义。

本文所谈的协同,就是协同学(协同论)的一个最基本的概念。协同,使无序转化为有序,使离心离德转变为同心同德,使三心二意转变成同心合力。协同揭示了自然界的协同性及和谐性。它是把多种不同学科中共同存在的综合现象或协同现象抽象出来作为研究对象,甚至用共同的数学模型加以描述、分析的科学。因为协同现象在宇宙间的一切领域中存在。没有协同动作,人类就不能生存,生产就不能发展,社会就不能前进。

协同学自问世以来,在许多学科领域中得到了广泛的应用。用协同学原理可以很好地说明自然科学中一些系统由无序到有序的变化过程,同时,还能够运用数学的描述得出定量的结果。

协同学是哈肯教授在发现了完全不同的系统之间都有极其相似之处这样一个原理的基础上,采用类比的方法建立起来的。由于无论什么系统都是大量子系统之间相互作用而又协调一致的结果,所以都可以用这种理论和数学模型进行处理。正因为如此,协同学才具有普遍的意义和广泛的用途。

三、研究体系与内容

协同学在研究有序和无序转化规律时,采用了当代最先进的理论方法和数学方法,如信息论、控

制论、非平衡统计等。在数学方法上,采用著名法国数学家托姆(Thom)创立的“突变理论”来描述有序和无序的转化。

协同学有自己一系列的基本概念和基本方法,从而形成一个科学的体系。

首先,协同学用概率论和统计方法,把有序和无序变化的偶然性与必然性加以统一,从大量的偶然性中寻求这种变化的规律。

其次,协同学用系统的结构,也叫“序度”的概念和方法,来描述事物有序和无序的变化。知道了系统的“序度”,就可以确定系统的秩序状态。

第三,协同学还试图用各种数学模式,描述有序和无序转化的不同类型,通过对不同数学方程求解,从而定量地描述有序和无序的转化。

前面提到,每一个系统以内,都包括多个子系统。子系统既有自发的、无规则的独立运动,又有由于子系统之间一定的关联所形成的协同运动。这是协同的第一层含义。每个子系统对协同运动的贡献总和,称为序参量。在相变点之前,子系统呈现无序的独立运动。随着控制参量的增加,序参量由零很快增大,这是由协同产生有序的过程。

系统在临界点附近时,有几个序参量存在(序参量是由计算者自己选择的),每个序参量包含一组微观组态,对应一种要实现的宏观结构,当各序参量衰减常数接近时,不能互相取代,就只能协同合作产生系统的有序结构,这是协同的第二层含义。

随着控制变量的变化,越过临界点,由一个序参量占主导地位,单独决定系统的宏观结构。这时的有序,又是各子系统之间协同产生的高一级有序。

在各个参量当中,有的参量从非平衡回到平衡的时间即弛豫时间较短,有的则较长,较长的一个就是主要序参量。

协同学主要说明两个问题,一个是涨落问题,另一个是自组织问题。所谓涨落,就是由于系统内部子系统的独立运动和环境条件的随机干扰,宏观参量会偏离平均值而出现不断的波动。当接近临界点时,涨落现象更加强烈,一旦超过某种阈值,就会发生相变。

所谓自组织,就是系统本身具有的,从不平衡状态恢复到平衡状态的能力。当控制参量超过临界值时,一种自组织破坏了,从而进入新一轮自组织形式。

总之,协同学将统计力学和动力学有机地结合起来,提供了处理相变问题的数学模式,这是一套很有实用价值的理论。

四、广泛的应用与发展前景

协同学创立的时间虽然不长,但获得了广泛的

应用,从自然科学、工程技术到社会科学,都有它的用武之地。

在物理学领域中,诸如在激光、无线电、流体力学等方面都有它广泛的应用,并取得了可喜的成就。

它在化学和生物学领域,诸如生物进化、化学振荡、化学耗散、化学非平衡相变等研究方面也都得到应用。

在军事上,协同学的应用也很广泛,如排兵布阵,海、陆、空各军兵种的主体综合协同作战等。

一个人生病了,往往需要各科会诊,即医院中各科的协同。

在地质勘探领域中,采用地球物理勘探方法,在地表面寻找某种深部矿体的综合方法的应用研究,以及我国卫星上天、原子弹爆炸和先进国家的太空航行,均为协同的结果,是集中了理论物理、实验技术、辐射化学、宇宙科学、冶金、爆炸工程、精密仪器等科学技术进行大规模、有组织的协作的结果。

近年来,协同学越来越多地被用于社会科学领域,如经济领域、城市规划、人口控制等方面。

协同学在社会、经济领域的应用,目前还处于定性研究阶段,虽然也可以用一些数学方法处理,但比物理和化学领域的精确度要差得多。

在经济学领域,其研究重点在于整个经济状态的性质改变,比如从萧条到通货膨胀等。协同学在这方面的应用揭示出了许多规律,这是一个热门的活动领域。社会学是另一个集体行为和集体行为发生改变的领域。在某种意义上,当研究用语言作表达的人类行为模式时,语言学可以看作社会的一个子域。例如,我们观察到有确切含意的语言存在着竞争和共存。有关生物学的研究将会影响到医学,比如怎样调节呼吸和血液循环的协调,以及可以把药物作用解释为控制参量等。人的认识过程可以解释为在我们头脑中不同状态之间的定性改变。

乍看起来,这种解释似乎是牵强的,但是,最近用机器模拟模式识别后认为,这种解释有进一步研究的价值。

认知科学是自然科学的一个很新的分支,它研究人、动物和机器对信息的感受和处理加工。正像人们最近证明的那样,甚至十分复杂的识别任务,也能够通过建立在协同学基础上的计算机来完成,例如在人的感觉中引起振荡的模棱两可模式的识别。研究表明,协同学可以帮助我们了解人进行判断的过程,它往往不以一系列的逻辑步骤为基础,而是一种数据的并行过程——作出过半数的某种判定。

在一个系统中,如果各种要素不能很好地协同或根本不协同,甚至还互相排斥、互相掣肘,呈无序状态,这样的系统就发挥不了整体性的功能,甚至会瓦解。例如,某些离心离德、互相扯皮的单位或集体,在工作上互使反劲,互不协调,结果生产搞不好,管理十分混乱。反之,体系中各个部分如很好地互相配合,协同而有序,就可以把多种力量汇集成一个总的力量,形成卓有成效的整体。

综上所述,协同学的研究有重大的理论意义和现实意义。它不仅系统地研究了自然界中有序和无序转化的规律和途径,同时,还提出了一个系统的各种要素,一个整体的各个部分,以及怎样可以协调一致(有序),怎样会不协调一致(无序)。

总之,协同学揭示出的事物协同与不协同之间的矛盾,具有十分普遍的意义。它为人们解决复杂的科研、生产和社会问题,提出了一条新的途径。同时,协同学从事物的矛盾中,从偶然性与必然性的统一中考考虑问题,还有重大的哲学意义,因而引起了哲学工作者的普遍重视。

协同学诞生的时间还不长,它还在不断地丰富和发展中。正如哈肯在他的《协同学导论》中最后指出的:“协同学是一门很年轻的科学,有许多惊奇的结果还在我们前头。”

(责任编辑 刘先曙)

(上接第 50 页)

不含橡胶的高强度、超高韧性聚烯烃工程塑料,为大品种通用塑料升级为工程塑料以及工程塑料进一步高性能化提供了新途径。

高分子结构材料的刚度(包括强度)和韧性是相互制约的两项最重要的性能指标。以往的研究表明:橡胶能有效地增韧,但造成强度、刚度较大幅度下降;无机材料能有效地增强,但造成冲击韧性明显下降。因此,增强刚度的同时增强增韧的研究一直是高分子材料科学的难题。对此,国家自然科学基金曾把它作为“七五”重大项目——高分子结构材料成型和破坏的基础研究。

项目组以聚烯烃为主要研究对象,用塑料和无机刚

性粒子为增韧剂,通过形态与界面控制,制备增强增韧共混聚合物和复合材料。应用应力分析、断裂力学、分析几何及逾渗模型理论和电子显微镜、计算机图像分析、红外光谱及核磁共振等测试技术,研究宏观力学性能与形态、界面粘结、细观损伤及基本链结构的关系,探索增强增韧的基本规律,提出了聚合物、刚性粒子共混物的脆韧转变判据。该项目突破了传统的用橡胶增韧塑料才能获得高韧性高分子材料的观念,成功地制备出不含橡胶的高强度、超高韧性聚烯烃工程塑料。

(国家自然科学基金委供稿 责任编辑 刘先曙)