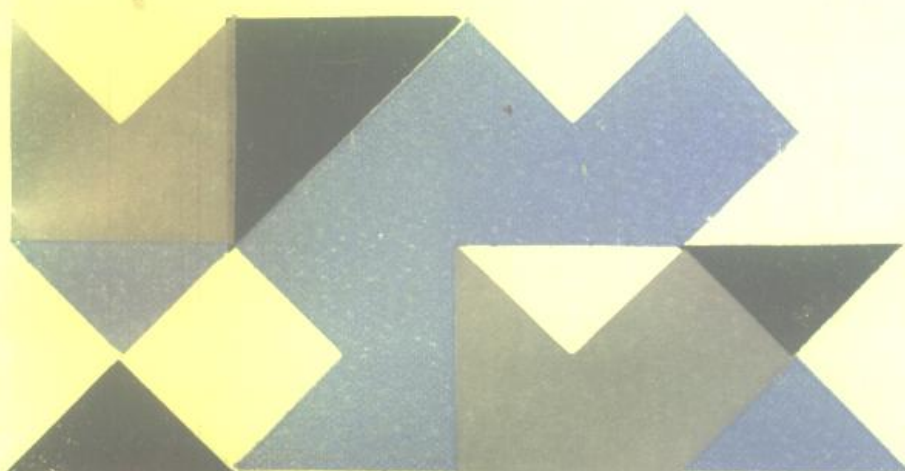


新科学知识小丛书



一种统一的进化学说 ——耗散结构理论概述



陈克晶 编著

湖北人民出版社

新科学知识小丛书



2 020 7783 0

一种统一的进化学说 ——耗散结构理论概述

陈克晶 编著

湖北人民出版社

责任编辑：马 清

封面设计：李泽霖

一种统一的进化学说

——耗散结构理论概述

陈克晶 编著

•

湖北人民出版社出版、发行 新华书店湖北发行所经销

湖北人民出版社蒲圻印刷厂刷印

787×930毫米32开本 3.75印张 3插页 6.1万字

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数：1—1 200

ISBN 7-216-00391-8

G·33 定价：1.50元

编者絮语

本丛书集合科学各界力量，以编、撰、译诸形式推出一系列介绍本世纪以来国内外兴起的各门新学科知识的读本。

本丛书替求知者打开一扇扇明净之窗，使你扩展视野，汲取新知识，开启新观念，永远跟上时代的脉动，更让你体会新奇世界的美。

本丛书以中等文化层次的青年为主要读者对象，选题侧重于与之思想、学习、生活相关较切的社会科学、自然科学以及两者融汇而成的新学科。任何一人，都可从中找到关切的问题。

本丛书力图减少读者的经济负担并便于阅读，故以通俗的知识性小册子形式出版。一门学科一册，每册字数一般不出五万。一册在手，你无论怎样繁忙，都可于片暇间将它阅读完毕。

本丛书无意采用学术著作的沉闷结构和过多使用专业性的术语，而尽量做到行文流畅、通俗生动，既具知识性，又备趣味性，你能读懂，也能感兴趣。

本丛书介绍各个学科的起源、发展、现状、流

派及代表人物、研究对象、内容、方法等等。由于小的特点，它可有选择性地介绍尚未完全形成系统的新学科，以推动这些学科的进一步发展。

收藏这套丛书，若干年后你的书架将有光彩。

翻开这一页，你走向新天地。

湖北人民出版社

青年编辑室

1987.1.6.

目 录

【1】 引言

【7】 演化观念进入了物理学

〔8〕 热力学第二定律

〔13〕 熵

〔19〕 热寂说

【22】 玻氏有序原理不适用了

〔23〕 玻尔兹曼有序原理

〔27〕 一个蛋白质分子

【31】 非生物界也存在自组织

〔32〕 贝纳德花纹

〔36〕 B—Z反应

【41】 理解自组织现象的关键

〔42〕 球在哪里最稳

进
化

- [44] 系统、状态
- [46] 平衡态的稳定性
- [49] 局域平衡假设
- [50] 广义的流和力

【55】 平衡态附近总是稳定的

- [56] 近平衡区和远平衡区
- [59] 最小熵产生原理
- [62] 近平衡区定态的稳定性

【65】 远离平衡才会有不稳定

- [67] 李雅普诺夫稳定性理论
- [73] 普适发展判据
- [76] 超熵产生
- [80] 非线性区定态的稳定性

【84】 自组织还要有反馈步骤

- [85] 自动催化
- [89] 酶促反应
- [92] 耗散结构
- [95] 控制参数

【99】 通过涨落形成有序结构

- [99] 涨落的两种命运
- [103] 大数定律的破缺
- [106] 环境噪声的影响

【110】 结语

引 言

19世纪的中叶，几乎同时出现了两种截然对立的关于自然界演化的学说，这就是英国科学家达尔文提出的生物进化论和德国科学家克劳修斯、英国科学家汤姆逊建立的热力学理论。达尔文在1859年出版的《物种起源》中，以自然选择学说为中心，全面系统地说明了生物从简单到复杂、由低级到高级的发展过程。而克劳修斯、汤姆逊则以他们总结出来的热力学第二定律为根据，描绘出了物理世界演化的另一幅图景。按照热力学第二定律，任何一个热力学系统，其自发过程总是朝着增加混乱程度

的方向变化的。克劳修斯和汤姆逊据此认为，自然界将演变得愈来愈简单，直至最后达到没有任何秩序、任何差别的热均一状态。达尔文的进化学说肯定自然界的演变是愈来愈有序，组织化程度愈来愈高；而克劳修斯和汤姆逊的热力学理论则完全与此相反。自然界到底朝着哪个方向演变？是愈来愈混乱还是愈来愈有秩序？半个多世纪来，进化论和热力学第二定律的矛盾一直困扰着自然科学家，同时也促使他们去研究去探索。经过几十年的努力，终于在经典热力学的基础上发展起来了非平衡态热力学，建立了耗散结构理论。克劳修斯、汤姆逊同达尔文的矛盾在普利高津的耗散结构理论中得到了统一。

耗散结构理论是普利高津1969年在一次“理论物理学和生物学”的国际会议上首次提出来的。在此之前，他进行了多年的潜心研究。在一篇题为《我的科学生活》的文章中，普利高津介绍了他的科学生活经历和建立耗散结构理论的基本过程。

普利高津1917年1月25日生于莫斯科，父亲是一位化学工程师。1921年普利高津一家移居德国，1929年定居比利时。普利高津在读完中学后，进入布鲁塞尔自由大学攻读化学。在求学期间，他阅读了大量哲学著作，特别是柏格森在《创造进化论》中关于时间的自然性质的分析，给了他深刻的影

响。1941年普利高津获得博士学位。大学毕业后，他就开始从事化学热力学的研究。化学热力学中不可逆现象所表现出来的“时间的单向性”，引起了强烈的兴趣。当时一般都认为不可逆现象是一种消极的因素，它耗损能量，只能起破坏作用。而普利高津却在生物有机体中看到了不可逆现象的主导作用，因此认为研究不可逆现象可能会给科学带来重大成果。基于这种认识，他开始集中精力研究近平衡区的不可逆过程，1945年得出了最小熵产生原理，指出系统在近平衡区的某个定态的熵产生取最小值。最小熵产生原理是线性非平衡态热力学的奠基性原理之一。这是普利高津早期对建立非平衡态热力学的一个重要贡献。

普利高津在得到了最小熵产生原理之后，试图在它的基础上扩大战果，将它拓延到远离平衡的区域。然而经过多年努力，未能获得成功。从失败中他认识到，系统在远离平衡态时可能同在平衡态和近平衡态有完全不同的性质，最小熵产生原理只是在不可逆过程的线性区即近平衡区有价值。要揭示系统在远离平衡态即不可逆过程的非线性区的性质，需要重新确定研究方向。在新的研究思想的指引下，他和他的合作者们找到了确定系统在非平衡态下稳定性的准则，揭示出了在什么样的情况下系统会失去稳定性，而在系统失去稳定性的临界状态

中，必须具备什么条件才可能改变原有的状态和性质，出现新结构，实现系统的进化。这样，普利高津经过长期的艰苦努力，终于探索到了系统演化的一般规律，建立起了耗散结构理论。

耗散结构理论进一步阐发了热力学第二定律的含义。热力学第二定律所指出的，系统的熵不断增加，无序和混乱程度愈来愈大，这是系统在同外界环境无任何相互作用即系统为孤立系统时的情形。一切同外界环境隔绝的孤立系统，其自发变化的方向都是指向平衡态的，也就是朝着最混乱、最没有秩序的方向变化的。一个生物有机体当把它同环境隔绝开来，断绝食物、水、空气等的供应，它就会死亡、解体，从一种结构和功能有序的状态，变为无序、混乱的状态。生物有机体同样是服从热力学第二定律的。不过，任何活的有机体都不是孤立系统。一个远离平衡态的系统（有机体就是这样的系统），当其不断地同外界环境进行物质和能量的交换时，它就有可能维持自身有序的组织结构，不向无序的平衡态变化，而且还可能向着更加有序的组织结构方向进化。普利高津把一切在远离平衡的条件下通过不断地同外界环境进行物质和能量交换而形成和维持的有序结构称之为耗散结构。一切生物有机体都是远离平衡态的开放系统，是一种耗散结构。生物的进化并不违背热力学第二定律，耗散结

构理论揭示了它们内在的一致性。生物进化是在不可逆过程中实现的，而过程的不可逆性正是热力学第二定律的实质所在。

耗散结构理论是直接从热力学的延伸和扩展中发展起来的。从经典热力学（平衡态热力学）到线性非平衡态热力学进而产生非线性非平衡态热力学的发展，奠定了耗散结构理论的热力学基础。同时，普利高津把对系统的热力学考察同动力学考察结合起来，把宏观过程的决定论分析同微观组成元素随机过程的分析结合起来，全面描述了系统形成和维持有序结构的机制。因此，耗散结构理论不单是一种非平衡态热力学理论，而且是一种关于系统进化的学说。它以一切开放系统的自组织过程为研究对象。而自组织现象不论在自然界，还是在社会，以至思想文化领域中，都是普遍存在的。耗散结构理论具有广泛的适用性。自从1969年普利高津正式提出以来，它受到了各种不同科学家的普遍重视，已被应用于物理学、化学、生物学、生态学、医学、神经生理学、农学、工程技术以及社会经济文化领域，取得了多方面的可喜成果。普利高津本人也由于创立了耗散结构理论，对科学发展作出卓越的贡献，而被授予1977年诺贝尔化学奖。

在这本介绍耗散结构理论的小书中，我们把它定名为“一种统一的进化学说”，这是因为，除了

上面说的它把热力学和进化论统一起来之外，还由于普利高津在说明系统进化时试图把决定论和随机论统一起来，把系统进化看做是一个必然性和偶然性相结合的过程。不仅如此，普利高津在他的研究中，还试图通过耗散结构理论把关于自然界存在的学说和关于自然界演化的学说统一起来，这就是他一直努力进行的关于时间、关于复杂性的探索，他要寻找一座“从存在到演化的桥梁”。在本书中，我们不可能全面介绍耗散结构理论的丰富内容，只能对它的一些基本观念作初步的说明。

演化观念进入了物理学

力学是近代自然科学中最早发展起来的一门学科。标志着近代自然科学诞生的哥白尼的太阳中心说，实际上是对太阳系天体所作的运动学描述。对天体及地球上物体运动的研究，经开普勒、伽利略等人到牛顿，终于总结出了系统的力学理论。20世纪初的物理学革命诞生了相对论和量子力学，变革了牛顿力学的时间空间观念及能量连续性的观念，使得包括力学在内的整个物理学理论发展到一个新的阶段。不论是牛顿力学还是相对论、量子力学，在实践中都得到广泛的运用，获得了巨大的成功。然而

就这些理论本身来说，还只是对存在着的自然界的描述，它们提供的仅仅是一幅没有演化的自然画，尚未反映出自然界的完整图景。普利高津把它们称为“存在的物理学”。19世纪50年代，英国物理学家汤姆逊和德国物理学家克劳修斯先后总结出热力学第二定律，最先把演化观念带进了物理学。热力学第二定律的提出，不仅为热力学的建立奠定了基础，对物理学的发展产生了巨大影响，而且把人类对自然的认识带进了一个新天地，从一个存在着的物理世界进入到了一个演化着的物理世界。

热力学第二定律

在被普利高津称之为存在的物理学里，物质运动的时间是没有方向的。过去和未来都一样，物质运动的变化是可逆的。就是说，一种物质运动从过去的状态变到了现在的状态，沿着同一条道路，它可以毫无差别地回复到过去。但是实际上，绝对可逆的变化在自然界是找不到的。任何由一定初始状态出发的变化和过程，都要对它周围的环境带来某种影响，绝对不可能做到即使这一变化和过程回复到初始的状态，又消除它对环境产生的一切影响。例如，一个单摆，在它摆动的过程中要作用于周围

的空气，因而空气对它也要产生反作用，阻碍单摆的运动。同时，支点的转动必然有摩擦发生，使转轴及其周围温度升高。所以，空气的阻力、转轴的摩擦使得单摆的摆幅不断减小，每次摆动都不可能回复到先前的状态。要使它的摆幅不减小，就得对它做功。这样，环境的影响又加大了。严格说来，自然界不存在可逆的变化和过程。只是在人为限定的条件下，忽略空气的阻力和摩擦，单摆的变化过程才可以近似看作是可逆的。

自然界自发发生的过程都是不可逆的。水总是从高水位流向低水位，而不会自动地从低水位返回来再流上高水位。李白诗曰：“黄河之水天上来，奔流到海不复回”。流入渤海的黄河水绝不会沿同一河道返回到青海高原上去。一滴墨水滴入清水，墨水微粒会均匀地分布到清水分子中去，使清水变黑，变黑了的清水不会自动地将墨水微粒聚集拢来，使水再变清。不可逆过程在我们的生活里到处都可以见到。而把不可逆过程作为物理学研究的对象则是从19世纪考察热机效率开始的。

自1768年瓦特第一台蒸汽机问世，到19世纪20年代，热机的效率一直只有3—5%，就是说，热机只把3—5%的热量转化成了有用的机械功，95%以上的热量都无谓地损失掉了。是什么原因造成热机效率这样低呢？当时工程师们考虑，可能是因为

热机在运转过程中的摩擦、散热、漏汽等无谓地消耗了许多热量。提高热机效率就要尽量减少摩擦、堵住漏汽，防止热量散失。然而这样作并没有能够使热机效率提高多少，可见除了技术上不可能实现无摩擦，不散热无漏汽外，还一定存在影响热机效率的其他原因。法国年轻的工程师卡诺设计了这样一台理想的热机，分析了一切热机做功的基本过程。热机做功的基本过程是：工作物质（水）在高温热源（锅炉）吸热（水变成高温高压蒸汽），一部分热量用于推动活塞做功，一部分热量则由高温的水和汽带入到冷凝器中放掉。卡诺发现，理想热机的效率是由高温热源的温度 T_1 和低温热源冷凝器的温度 T_2 决定的（ T_1 、 T_2 为绝对温度值）。理想热机的最大效率是 $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 就是说，理想热机的最大效率决定于高温热源同低温热源的温差，温差愈大 $\frac{T_2}{T_1}$ 愈小，热机效率愈高。

从卡诺发现的理想热机效率的关系式中，可能会提出一个问题：如果低温热源的温度为零（ $T_2 = 0$ ），热机效率岂不是可以达到100%了吗？事实上，要想使低温热源达到绝对零度是绝对不可能的，因为绝对温度为零就意味着组成物质系统的微观粒子（分子、原子、基本粒子等）全都静止不动，