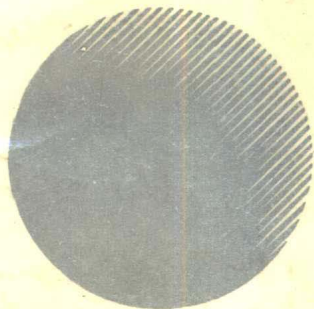


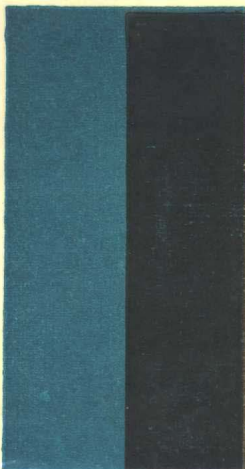
耗散结构论



走向二十一世纪的人需要多维的视野和崭新的知识结构。《新学科丛书》以全方位的态势和准确、快速的信息,向您展示当代国内外引人注目的综合学科、边缘学科、交叉学科和分支学科。



新学科丛书



耗 散 结 构 论

沈小峰 胡 岗 姜 璐 编著

上海人民出版社

责任编辑 何根祥
陈 军
封面装帧 沈蓉男

耗散结构论

沈小峰 胡 岗 姜 璐 编著

上海人民出版社出版、发行

(上海绍兴路 54 号)

新华书店上海发行所经销 常熟兴隆印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 7.25 插页 4 字数 166,000

1987 年 12 月第 1 版 1987 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—15,000

ISBN 7—208—00094—8/B·20

书号 2074·534 定价 1.95 元

《新学科丛书》前言



社会主义中国正在腾飞。

腾飞的时代要求人们具有丰富的知识。

当代知识体系已呈现出多彩的态势、全新的格局——现代科学日趋高度分化和高度综合，自然科学与社会科学相互渗透和结合，出现了许多综合学科、边缘学科和分支学科。

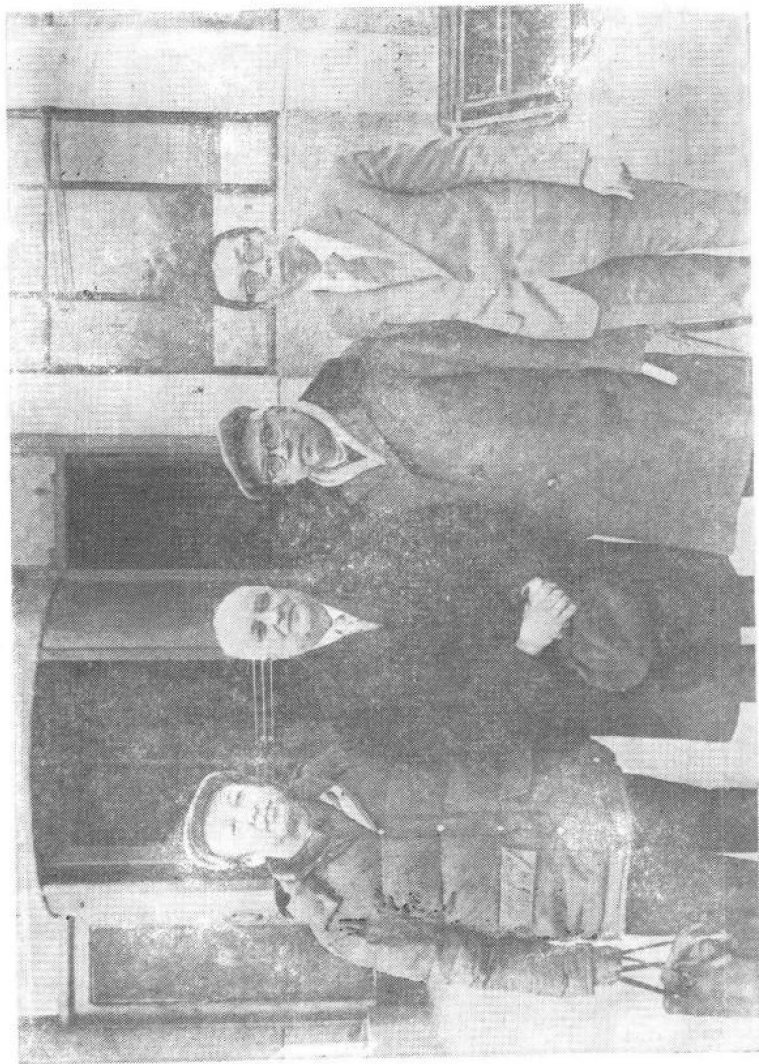
我们正面临着知识的挑战。

为了迎接这一挑战，《新学科丛书》将以马克思主义为指导，依据我国的国情，适应社会主义现代化建设的需要，有计划地、有目的地、通俗地介绍以社会科学为主的各门新学科。

《新学科丛书》，理论性与应用性并重，学术性及普及性兼顾，力求用新思想、新材料、新形式、新语言，提供丰富的新知识和新信息，以帮助人们开阔视野，更新知识结构，掌握科学方法，为繁荣社会主义科学文化事业服务。

编 者

耗散结构理论创始人、诺贝尔奖金获得者、
比利时科学家普利高津教授与本书作者合影。
自左至右：姜璐、普利高津、沈小峰、胡岗。



目 录

上篇 理 论

第一章 绪论	3
第一节 两种物理图象——可逆与不可逆.....	4
第二节 两种时间箭头——退化与进化.....	8
第二章 非平衡热力学	11
第一节 孤立系统与开放系统.....	11
第二节 平衡态与非平衡态.....	14
第三节 熵和不可逆性.....	19
第四节 昂萨格倒易关系.....	25
第五节 最小熵产生原理.....	28
第六节 普利高津和耗散结构理论的创立.....	31
第三章 耗散结构理论	36
第一节 自组织现象.....	36
第二节 稳定性、分叉理论及耗散结构.....	45
第三节 激光.....	59
第四节 化学振荡.....	66
第五节 生物竞争和进化.....	76

第六节	低等生物的社会行为·····	86
第七节	耗散结构形成的条件·····	90
第八节	涨落导致有序·····	98

第四章 耗散结构理论的哲学问题····· 107

第一节	时间：可逆性和不可逆性，对称性和非对称性·····	107
第二节	结构：平衡和不平衡，有序和无序，稳定和不安定·····	112
第三节	系统：简单性和复杂性，局部性和整体性·····	116
第四节	规律：决定论和非决定论，动力学和热力学·····	123

下篇 应 用

第五章 耗散结构理论在社会系统中应用的一般方法····· 134

第一节	社会中的自组织现象·····	134
第二节	社会系统的特点·····	143
第三节	模型 方程 结构·····	148

第六章 几个实际社会经济系统的初步分析····· 164

第一节	城市演化系统·····	164
第二节	美国人口分布的空间结构·····	183
第三节	渔业发展系统·····	194
第四节	能源系统·····	209

小 结····· 225

参考文献····· 227

后 记····· 228

上篇 理 论

第一章 绪 论

20 世纪以来,人们目睹了现代物理学的巨大进步。量子力学和相对论的诞生就是这种进步的最突出代表。现在,在微观范围内,粒子物理学已深入到揭示空间尺度为 10^{-15} 厘米、时间尺度为 10^{-22} 秒的数量级的物理过程;而在宏观方面,宇宙论的研究对象已扩大到空间尺度为 10^{28} 厘米、时间尺度为 10^{10} 年的范围。科学实践表明,人类对客观物质世界的认识无论在广度还是深度上都是无限的。

现代物理学发展的另一个重要方面是朝系统的多样化、复杂化的方向发展。这个方面的研究,涉及到各种不同的空间和时间尺度的运动形式,尤其是着重于人和人们日常生活所处的这一时空尺度。由于这一领域的研究直接与人类现实生活休戚相关,也因为各种科学领域包括化学、生物学、生态学以及多种自然科学以至社会科学的研究对象都是复杂系统,所以,以复杂系统为对象的现代物理学的发展正在引起人们的密切关注,并产生了强烈的兴趣。

在物理学研究的这个前沿上,以研究具有大量粒子和大量自由度的复杂系统为对象的热力学和统计物理学,得到了巨大的成功。特别是在远离平衡的非线性区的热力学和统计物理学的研究方面,近 20 年来取得了新的突破。以比利时自由大学普利高津教授为首的布鲁塞尔学派,联邦德国斯图加特大学的哈肯学派,日本东京大学的久保学派等都为 非平衡热力学-统计

物理学理论的发展作出了杰出的贡献。其中布鲁塞尔学派所建立的耗散结构理论，对阐明远离平衡的自组织现象起了突出的作用。普利高津本人为此荣获 1977 年诺贝尔化学奖。

第一节 两种物理图象——可逆与不可逆

为了阐明耗散结构理论在整个物理学及自然科学中的地位，让我们先从牛顿力学和热力学对时间的不同看法谈起。

1. 牛顿力学的可逆性

时间和时间的演化是非平衡统计物理学研究的中心课题之一。

时间是最珍贵而又最平常的东西。它联系着生命的产生、成长和终止，联系着事业的成功与失败，联系着对历史的回忆和对未来的展望。多少世纪以来，它一直是一代又一代的文人和哲学家赞美和剖析的对象。

然而，在动力学中，时间有着简单得多的意义。它和我们所处的三维空间坐标一样，仅仅被看作描述物理过程的时空行为的第四个坐标，在经典力学中时间 t 出现在牛顿方程

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

里。这个方程描述了质量为 m 的质点在力 $\vec{F}$ 的作用下的运动规律。如果把时间符号改变为： $t \rightarrow -t$ ，这个方程是不变的。也就是说，牛顿方程对时间反演是对称的。利用牛顿方程既可以决定未来，又可以说明过去。

根据牛顿方程，如果存在如图 1—1 中 a 的运动，也必然可以实现如图 1—1 中 b 的运动。换句话说，牛顿方程是可逆的；

在方程中不出现“时间箭头”。不仅牛顿方程如此,在量子力学、相对论力学等各种领域,时间本质上都只是描述可逆运动的一个几何参量。它们的基本方程都是时间反演对称的。传统的动力学给出了一个可逆的、对称的物理图象。

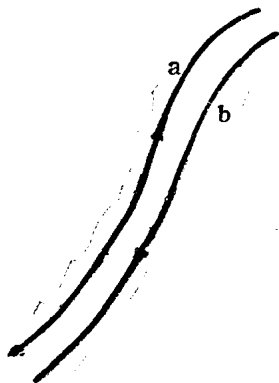


图1—1 牛顿方程的可逆轨迹

2. 热力学与不可逆运动

19 世纪,由于生产的发展,特别是由于蒸汽机的广泛应用,热力学开始建立和发展起来。热力学是研究与物质冷热变化及热量传递有关现象的一门科学。1842—1848 年,由迈尔、焦耳、赫尔姆霍茨等人建立了与热现象有关的能量转化和守恒定律即热力学第一定律。接着 1850—1851 年,开尔文和克劳修斯建立了描述能量传递方向的热力学第二定律,从而奠定了热力学的理论基础。为了从微观角度说明宏观热力学现象,克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼、吉布斯等人又建立了统计物理学。

热力学的产生给物理学带来了革命性的变化,它使不可逆现象进入了物理学的研究范围。一根与外界绝热的金属棒,如果初始时棒上各点温度不均匀(见图1—2a),随时间的推移高温

部分将把热传给低温部分,最后达到棒上温度的均匀分布(见图 1—2b);而一旦达到均匀温度分布,没有外界的传热等作用,棒上温度的分布永远不会回到图 1—2a 的状态。又如,在匣的隔板

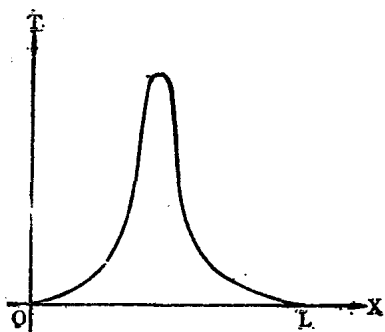


图1--2a 初始温度不
均匀分布

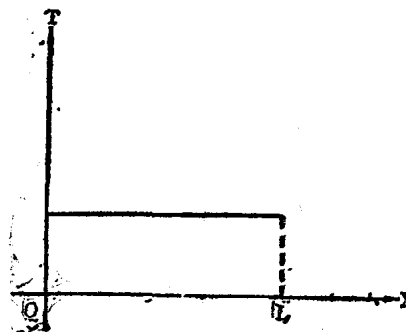


图1—2b 时间 $t \rightarrow \infty$ 时,
温度均匀分布

左边充满了理想气体(见图 1—3a),打开隔板,气体会自发地向右边空间扩散,直到充满整个匣子(见图 1—3b)。这时,倘若没

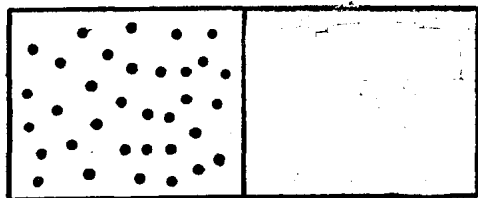


图1—3a

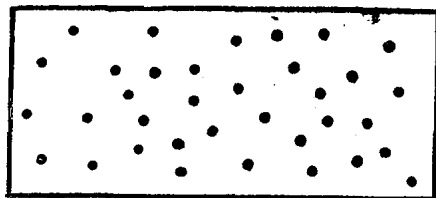


图1—3b

有外加干涉，气体绝不会自动地集中返回到左边。在以上两例中，我们都看到不均匀分布的温度和密度会自发地趋向均匀分布；而反过来，均匀分布的状态则不会自发地返回到不均匀分布。这里我们看到了“时间箭头”，一切演化必须沿箭头的方向进行，而反方向逆箭头的过程是不会自发产生的。

描述图 1—2 过程的方程叫傅里叶方程

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \quad (1 \cdot 2)$$

这里函数 $T(x, t)$ 是在 t 时刻金属棒 x 处的温度，而 λ 是说明热传导速率的一个量，叫热传导系数，它总是正值。对这方程进行时间反演

$$t \rightarrow -t$$

方程变成

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}$$

它和反演前的方程不同，即傅里叶方程不具有时间反演的对称性，这种对称性的破缺产生了图 1—2 的时间箭头。

与图 1—1 牛顿方程的可逆轨道相对照，图 1—4 示意了在傅里叶方程的演化下，初始不均匀的分布都要向共同的均匀分布的状态发展，它不会有图 1—1 b 中的可逆过程。而当温度已达到均匀状态后，人们无法用傅立叶方程求知以前的分布是什么样子，过去的历史被不可逆过程遗忘了。这和牛顿方程的行为完全相反。

热力学和动力学给我们提供了两种不同的物理图象。值得指出的是，尽管金属棒是一个复杂的由大量“微观”小粒子所组成的物体，但小粒子的“微观运动”仍然服从力学方程，即“微观运动”是可逆的。这种可逆的微观力学方程和不可逆的宏观运动之间的矛盾，成了复杂系统物理学所面临的基本问题之一。

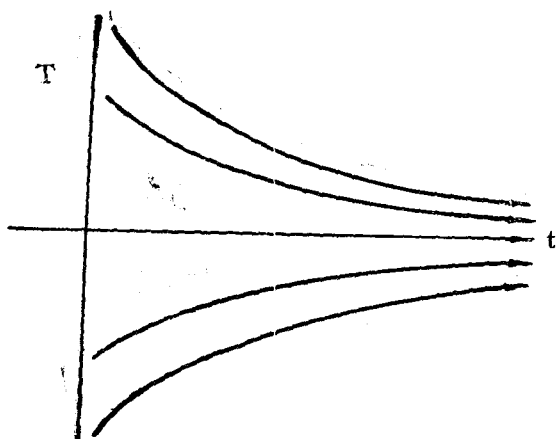


图 1—4

第二节 两种时间箭头 —— 退化与进化

可逆与不可逆、有无时间箭头的问题体现了物理学中动力学和热力学之间的重大间隙，而时间箭头指向的问题则构成了物理学、化学等研究无生命的科学与生物学、社会学等研究生命的科学的另一更为基本的矛盾。

1. 退化与进化

19 世纪的热力学和生物学都涉及到世界运动的方向，即时间箭头问题。热力学第二定律说明一个孤立的系统要朝均匀、简单、消除差别的方向发展，这实际上是一种趋向低级运动形式的退化。克劳修斯把这一理论推广到全宇宙，得出了“宇宙热寂说”的悲观结论。按照“热寂说”的观点，宇宙中的万事万物最终要发展到一种均匀的状态，在这个世界各处温度均匀，压强均

匀,以及各种物理差别不复存在,即宇宙进入了一个死亡、寂寞的世界。而一旦达到这个世界,它就再也不能“活”过来。

在现实生活中,我们的确观察到这种倾向。经验告诉我们,冷热物体相接触,热的会变冷而冷的会变热,最后达到相同温度。然而生活中也到处出现与上述演化相反的倾向,即由简单到复杂,由低级到高级,由无功能到有功能到多功能的方向演化。这是一个进化的方向,生物界的演化以及人类社会的发展是这一进化最典型的代表。

达尔文的进化论告诉我们,从荒漠的地球上产生出单细胞生物,通过长期的自然淘汰,适者生存的竞争和选择发展出了今天各种高级的生物,以至产生了人这样极不简单、极不均匀的机体。人体的各种器官以各自的功能组织成有效的复杂的整体,而归根到底人是从无生物的荒原中破土而出的一枝奇葩。生物发展的历史又给出了一个时间箭头,这就是进化的箭头。它和前面所说的物理学上的退化箭头形成鲜明的对照。这里,就产生了克劳修斯和达尔文的矛盾,即退化与进化的矛盾——生物界(包括人类社会在内)似乎遵循着自己的特殊规律,它与物理世界的规律完全不同,甚至恰恰相反。

2. 复杂系统物理学的基本问题

两种物理图象,产生了动力学与热力学的关系问题;两个演化方向,涉及到物理学和生物学的关系问题。这正是以复杂系统为对象的热力学和统计物理学的两个基本问题。正如普利高津指出的那样:^[3]“19世纪是带着一种矛盾的情况——作为自然的世界和作为历史的世界——离开我们的。”近百年来,讨论这些矛盾的论文不计其数,但问题至今尚未真正解决。著名的当代物理学家魏格纳曾经说:“近代科学最重要的间隙是什么?显

然是物理科学和精神科学的分离。实际上物理学家和心理学家之间毫无共同之处——或许，物理学家为心理学方面较肤浅的研究提供的某些工具可以除外。而心理学家则警告物理学家要小心，以免所隐藏的欲望影响他的思考和发现。”科学史家柯伊莱指出，牛顿用它的经典力学“把分割天体和地球之间的壁垒推倒，并且把二者结合起来，统一成为整个的宇宙。”但他却把“我们的世界一分为二”，即分成一个物理的、量的世界；一个生物的、质的世界。于是形成了两个世界、两种科学、两类文化，二者之间存在着巨大的鸿沟。怎样把二者统一起来呢？能否用物理学家的观点来全面地解释生命的特点及其进化的过程，使生物学成为研究生命系统的“物理科学”，以实现自然科学的大统一呢？这些问题引起了当代科学家们的极大兴趣。非平衡系统的自组织理论正是在探讨这些根本性的问题过程中产生的。