

郝柏林 著

混沌与分形

——郝柏林科普文集

CHAOS AND FRACTALS

上海科学技术出版社

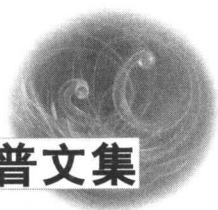
))))))

混沌

与

分形

——郝柏林科普文集



郝柏林 著

**CHAOS
AND
FRACTALS**

上海科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

混沌与分形: 郝柏林科普文集/郝柏林著. — 上海:
上海科学技术出版社, 2004.6

ISBN 7-5323-7527-7

I . 混 ... II . 郝 ... III . 自然科学 - 文集
IV . N53

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第 027563 号

世 纪 出 版 集 团
上海科学技术出版社 出版发行
(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)
新华书店上海发行所经销
常熟市华顺印刷有限公司印刷
开本 850×1156 1/32 字数 276 000
印张 12.625 插页 2
2004 年 6 月第 1 版
2004 年 6 月第 1 次印刷
印数: 1-3 000
定价: 38.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换



作者简介

郝柏林 男，1934年6月26日生于北京。1959年毕业于乌克兰哈尔科夫大学。1980年当选为中国科学院院士，1995年当选为第三世界科学院院士。现任中国科学院理论物理研究所研究员、中国博士后基金会副理事长、陈嘉庚国际学会常务董事。主要从事理论物理、计算物理、非线性科学的研究。在固体电子能谱和声子谱、金属红外性质、高分子半导体理论、统计物理模型、相变和临界现象、临界动力学、闭路格林函数方法、动力电网计算、天线辐射场计算、地震活动性统计分析、群论知识工程系统、计算机程序设计、

混沌动力学和符号动力学、理论生命科学等领域发表学术论文一百四十余篇、中英文书十二种、其最新英文专著为《实用符号动力学与混沌》(1998),中文书为《生物信息学手册》(2000, 2002)。此外,还主编中文《非线性科学丛书》、英文《混沌的方向》丛书。曾任中国科学院物理研究所副所长、理论物理研究所所长、《物理学报》副主编、《中国物理快报》主编和多种中外文学术期刊编委。曾任第 19 届国际统计物理大会(1995)主席。“套磁介质天线的研究”获 1978 年中国科学院重大成果奖、“三维晶格统计模型的封闭近似解”获 1987 年中国科学院科技进步奖二等奖、“实用符号动力学”获 1992 年中国科学院自然科学奖一等奖和 1993 年国家自然科学奖二等奖。1997 年获国防科工委科技进步奖二等奖。“统一描述平衡和非平衡系统的格林函数理论研究”获 1999 年中国科学院自然科学奖一等奖和 2000 年国家自然科学奖二等奖。2000 年获美国 ISI 颁发的 1981—1998 年经典引文奖。2001 年获何梁何利基金科学技术进步奖物理学奖。多年来还从事大量学术组织和科学普及工作、推动国内外学术交流,培养了多位硕士和博士。

郝柏林的个人网页是

<http://www.itp.ac.cn/~hao/>

前言

这本文集选录了一些不纯属科学研究范围的文章,分成科普、短论和自述三部分。《科普篇》多为“高级科普”文章。所谓“高级”,是指写给不是作者的小同行、但有理工专业本科以上数理基础的科学工作者和教师的介绍性文字,多数篇目曾发表在《科学》杂志或其他刊物,在国内学术界有过一些影响。《短论篇》多是关于我国科学研究环境的一些简短评论,它们只代表我个人的观点,但确曾引起过不少共鸣。《自述篇》部分地反映自己走过的人生道路,也顺便告诉年轻人,写作能力要从中学、小学锻炼起。

我同上海科学技术出版社潘友星、吴智仁等诸位同仁四分之一世纪以来在办刊、出书方面愉快合作,这本文集的出版,他们和身边的不少年轻一代出版工作者帮了许多忙,在此一并表示感谢。张淑誉和我 50 年来在科学和人生的一切方面同甘共苦、彻底合作,对她的感激之情绝非文字所能表达。谨以此书作为献给她 70 寿辰的礼物。

郝柏林

2004 年春节于北京中关村

目 录

作者简介

前言

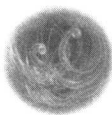
科普篇

统计物理学介绍	2
谈谈统计物理学的对象和方法	11
附录 1: 致《自然杂志》编辑的信	27
附录 2: 管惟炎: 谈谈超导金属中的准粒子——与郝柏林同志商榷	28
附录 3: 关于宏观物体中的“元激发”和“准粒子”——答管惟炎同志	32
自然界中的有序和混沌	36
分形和分维	46
牛顿力学三百年	69
混沌现象的研究	85

世界是必然的还是偶然的——混沌现象的启示	105
究竟是谁发明了无线电	124
关于理论物理与理论生命科学的一些思考	130
非线性科学与地震预测	139
混沌和物理学	149
复杂性的刻画与“复杂性科学”	163
生物信息学	181
怀念优秀的青年物理学家孟宪振	192
20 世纪我国自然科学基础研究的艰辛历程	198
物理学和生物学	215
谈谈自然科学和社会科学的“大交叉”	247
分子进化和细菌分类	269

短论篇

科学政策要容得百家争鸣	276
要尊重历史事实——对《“丝绸之路”探险》一文的意见	278
对我国自然科学基础研究的意见	280
由“新学科”热联想到科研道德	283
《非线性科学丛书》出版说明	286
关于一起剽窃事件致《中国科学报》编者的信	290
关于基础理论成果评审的信	291
理论物理学和理论物理所	295

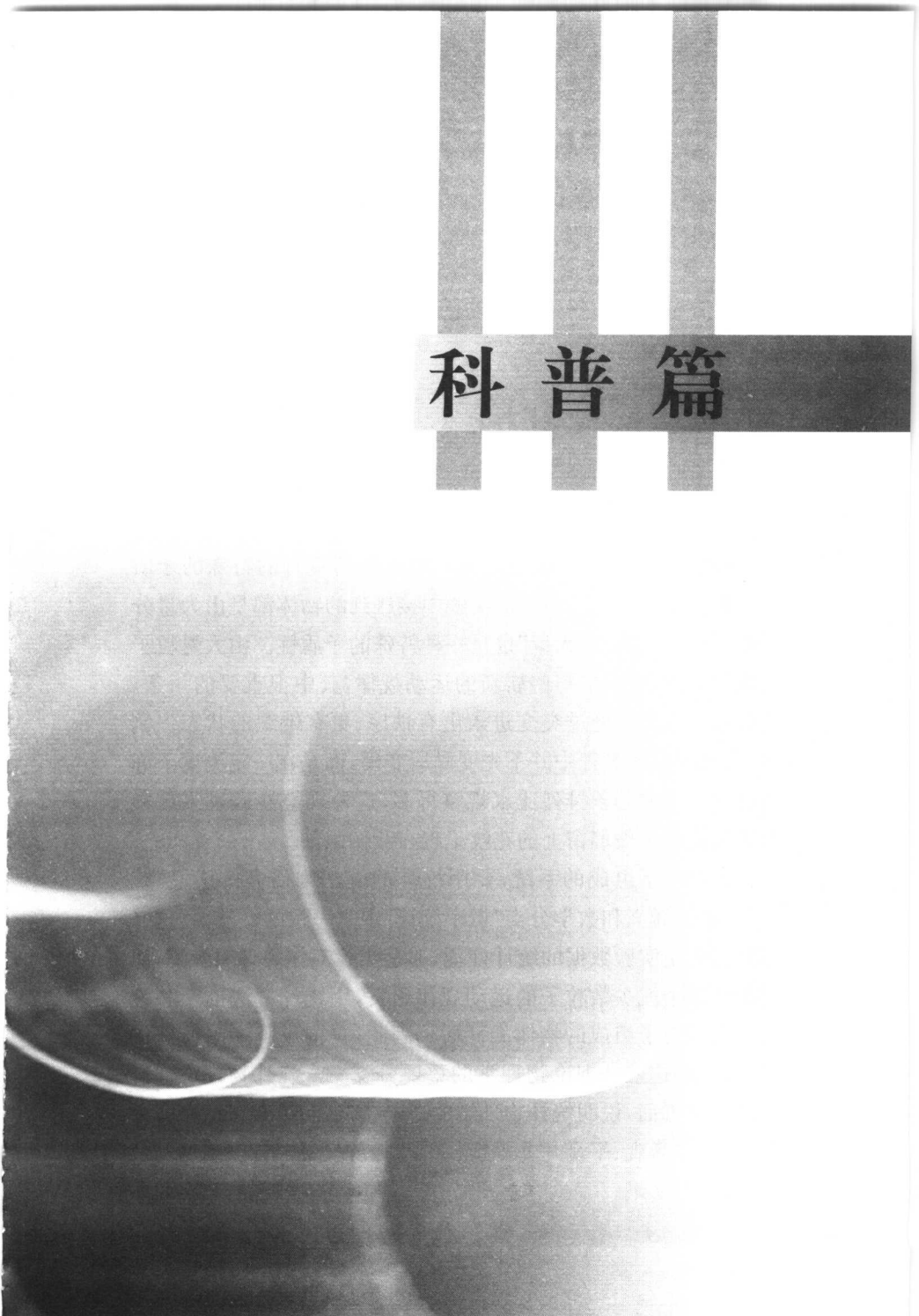


我国物理学研究率先走向世界

——读我国第二号科学技术黄皮书有感·····	298
微观到宏观的桥梁——统计物理学·····	300
杨振宁教授对统计物理学的贡献·····	303
简介国际统计物理会议·····	305
推荐一本优秀科普读物——《从肥皂泡到液晶生物膜》·····	308
我国科技图书馆现状堪忧·····	310
科学书籍为谁出版·····	312
“懒蚂蚁”的故事·····	314
“巴尔的摩事件”平反·····	316
错把极限作终结·····	318
多一些正派学者·····	320
物理学原始创新的动力·····	322
伪科学与赝科学·····	324

自述篇

为捐献飞机大炮和建设首都而劳动·····	328
我们走上新的行程·····	332
自述·····	336
先投入真正的战斗·····	340
顺乎历史潮流 坚持个人奋斗·····	354
郝柏林出版作品目录·····	373

The background of the page features a series of vertical stripes in varying shades of gray. A dark horizontal band crosses the middle of these stripes, serving as a backdrop for the title. In the lower-left corner, there is a faint, circular, textured pattern that resembles a close-up of a lens or a biological structure.

科 普 篇

统计物理学介绍

科学研究的区分,就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。我们在日常生产和生活实践中接触到的物体都是由大量分子和原子组成的。“大量”也是一种特殊的矛盾性。由大量粒子组成的系统,表现出一些崭新的运动规律,其中很重要的一条,就是这类系统会经过突变进入更有秩序、更有组织的状态。例如,水在降温的过程中并不先变黏后变硬,而是在一定温度下冻结成冰。冰的分子排列比水规整得多,这种规整性通过飞雪中的冰晶或冬天玻璃窗上的花纹呈现在我们眼前。

大量粒子组成的系统,要用统计的方法来研究。这里“统计”二字的涵义和数学分支“概率统计”中是一致的。然而,这并不是指大量实验数据的统计处理,那是实验工作的必须步骤,而是指从单个或少数粒子的运动规律出发,用统计方法推断和说明由大量粒子组成的物体的性质。因此,它构成了一门特殊的理论科学,这就是理论物理学的重要分支——统计物理学。以下从几个方面,说明统计物理学的对象、方法和意义。这些方面是:宏观与微观、平衡与非平衡、平衡附近与远离平衡、渐变与突变、有限与无限。



宏观与微观

少量电子在原子核周围运动,组成各种原子,它们与光(电磁波)相互作用,吸收或放射出光波。这些构成了理论物理学其他分支,如量子力学或量子电动力学的研究对象。直接研究微观粒子的运动,通常称为微观描述。

一滴水中含有上百万亿个水分子。每个水分子由两个氢原子和一个氧原子组成,每个原子又有原子核和围绕着原子核运动的许多电子。一小片最“纯”的半导体中“杂质”原子的数目,远远超过地球上人口的总数。即使我们透彻地懂得了单个电子和原子核的相互作用和运动规律,也不可能直接运用这些规律来描述大块物质的性质:用尽人类有史以来生产的全部纸张也写不完一滴水中所有粒子的运动方程和有关条件,任何大型电子计算机也放不下这么多数据。我们必须另寻出路。

其实早在人类认识物质的微观结构之前,就形成了描述宏观物体的科学体系。液体和气体通常用体积、密度、压力、温度等描述。给不同的物体提供相同的热量,温度升高的数值有多有少;同样把物体升温一度,其体积膨胀的程度不一。我们说,这些物体具有不同的“比热”和“热膨胀系数”。体积、密度、温度、压力、比热、热膨胀系数、压缩率等等物理量,不仅可以用实验方法测定,而且还可以发现它们之间的关系。例如,气体体积一定时,压力基本上和温度成正比。这种“就事论事”不追究根源的描述方式叫作热力学。它在现代原子论、分子论被证实之前,就在研究蒸汽机和内燃机的过程中诞生了。热力学并不是一堆经验规律的集合,它具有自己的严谨体系。它从几条源于

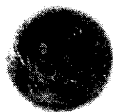
实践的基本定律如能量守恒、各类永动机不可能实现等等出发,以推理的办法把宏观物体的特性联系起来描述。这种宏观描述既很成功、又颇实用,至今仍然是许多技术科学的基础。

然而,那么多粒子组成的系统,微观运动瞬息万变,怎么又可能有热力学这样的简单规律可循呢?这就是统计规律性的表现,于是统计物理学应运而生。就微观描述与宏观描述的关系而言,统计物理学有着理论和实践两方面的意义。从理论上讲,它是从微观到宏观的桥梁,是热力学的理论基础。就实践来说,它给出从组成一定物体的原子、分子的特性出发,解释和预见其宏观性质的途径。因此,统计物理学为固体理论、液体理论、等离子体理论、激光理论等领域提供方法和基础,并且已经在研究化学和生物过程中发挥作用。至于在实验室中还无法实现的条件下,例如一亿度高温时的电离气体,几千万大气压下的固体究竟具有什么性质,就更要借助统计物理的方法来研究。

统计物理突出抓住“大量”这一特殊的矛盾性,因此它对“宏观”和“微观”的划分也更为相对,通常不是指物质结构的层次,而是用以区分描述的层次。例如,用统计物理的方法研究银河系的结构时,每个天体都可以看成“微观”粒子。相反,如果强调微观粒子内部无限复杂的结构,有时可以把单个“基本粒子”或原子核看成宏观系统,采用统计物理的概念和方法加以研究。

平衡与非平衡

自然界中平衡是相对的、特殊的、局部和暂时的,而不平衡才是绝对的、普遍的、全局和经常的。人类首先是从特殊性着眼来认识世界,因此历史上最早发展起来的是平衡态的热力学和



统计物理。直到不久以前,热力学一词几乎当然是指平衡态。非平衡统计问题的提出,固然与平衡态统计有着同样悠久的历史,但是直到近几十年才逐渐形成一些重要概念,开始勾画出理论体系。

平衡是有条件的。热力学首先研究物体处于热平衡的条件,而统计物理最初也是计算处于平衡状态下的物质的性质。最简单的条件是,两个处于热平衡的物体温度必须相同,同一物体的温度应当处处相同。其他情况下还要补充一些新的条件,例如溶液的平衡就涉及到浓度。平衡态还应当是稳定的,不能因为外界的小小扰动而失去平衡,因此热力学同时还阐明热平衡的稳定条件。稳定条件之一,就是比热必须是正数,也就是说,世界上一切物体都必须在吸热时升温,吸热后降温的物体不能存在。这类往往看起来显而易见的条件,有时在科学研究逻辑推理的过程中起决定作用。至于具体说明各种物质的比热如何又是温度的函数,例如低温下固体的比热与温度的立方成正比,而在一定的高温范围内,它又是基本上不随温度变化的常数,这是统计物理的任务。它同时还离不开物质结构的微观模型,因此必须与量子力学等其他分支结合在一起。这些都属于统计物理学中比较成熟的领域。

单纯局限于平衡态之内,不可能全面认识平衡态本身。前面提到的稳定性,就涉及物体受到使其偏离热平衡的扰动时会如何反应。还有一些简单的非平衡系统,可以把平衡态热力学和统计物理的方法稍作推广来加以处理。例如,不平衡的气体或液体,虽然各处温度、压力、密度不同,只要每一个小小的局部都还基本上处于各自的平衡状态,可以用温度、压力、密度等等

宏观量描述,就能用类似热力学的方法来研究。流体力学就是这样的科学,它的基本方程可以用非平衡统计物理的方法从微观的运动方程推导出来。这类“局部平衡系统”是非平衡统计物理中处理得比较好的一部分。

非平衡系统的另一种简单例子,是两个自身几乎处于平衡的系统穿插在一起。晶格中原子振动互相影响较大,使晶格处于热平衡之中。另一方面,格点上的磁矩互相作用也比较强。如果这些磁矩从外界电磁场吸收能量,能量很快就平均分配到各个磁矩,使它们基本上达到热平衡。但是磁矩与晶格间的相互作用很弱,磁矩得到的能量要经过慢得多的过程才能转交给晶格,于是我们得到有两个温度的系统:晶格温度和磁矩温度。许多磁共振现象(电子顺磁共振,核磁共振)的研究中,都遇到这类系统的实例。

平衡附近与远离平衡

非平衡现象千变万化,本来不能期望建立像平衡态热力学和统计物理那样比较完整的科学体系。但是近几十年的研究工作表明,非平衡现象也不像乍看起来那样头绪纷纭,它们有一些深刻的内在规律。

平衡附近的主要倾向是趋近平衡。如果对处于平衡的系统施以局部或短暂的小扰动,它还会逐渐恢复到平衡。系统基本上回到平衡所要求的时间称为弛豫时间,这一过程通常叫作弛豫过程。如果强行维持一定的外界条件,例如使物体两端温度不同,物体中就会有热流通过。广义地说,维持某种“力”(温度差、电位差、浓度差……),就会引起某些“流”(热流、电流、质量

流……),形成热传导、电导、扩散等过程,通称为输运过程。输运过程伴随着一定的能量损耗,它们也是耗散过程。一个与周围环境保持热平衡的系统,它的宏观物理量并不是一成不变的。如果在局部和短时间内做测量,就会得出在平均值上下摆动的不同结果,这叫涨落过程。

弛豫过程、输运过程、涨落过程这些平衡附近的现象,都由趋向平衡这一总的倾向决定。因此,有一些共同的规律把它们联系起来,其中最重要的是输运系数对称原理和涨落耗散定理。

输运系数对称原理是说,如果甲种“力”和乙种“力”都引起甲、乙、丙……等各种“流”,则甲种“力”引起的乙种“流”和乙种“力”引起的甲种“流”,它们对应的比例系数是相等的。这个原理的一般形式虽然是在 20 世纪 30 年代才证明的,但是 19 世纪用热力学方法为热电现象建立的一些普遍关系早是它的先声。

涨落耗散定理是说,一定物理量的涨落与相应输运(耗散)系数成比例。1905 年爱因斯坦(A. Einstein)把布朗运动与扩散系数联系起来,1929 年发现电路中热噪声与电阻成比例,都是这一定理的特例。它的一般形式是在 20 世纪 50 年代初证明的。

平衡附近的热力学和统计物理到 20 世纪 50 年代已经发展得比较完备。由此再往离开平衡的方向前进,各种物理过程的个性表现得更加突出,难于建立普遍的理论。于是非平衡统计物理的发展稍显沉寂。

但是如果离开平衡再远些,反而又出现带有普遍性的现象。许多物理系统会突然进入新的有“结构”的状态。这些状态与平衡态下的“结晶”不同,必须靠不断由外界提供能量才能维持下

去,因此称为“耗散结构”。其实,耗散结构是日常生活中常见的。例如,质量不好的日光灯管会进入一种辉纹放电的状态,黑白相间的条纹就是新的“结构”。由于生物体本身可能就是一种高级的“耗散结构”,这方面的进展正在引起广泛的注意。1977年度的诺贝尔化学奖金,就给予了与此有关的工作。

远离平衡的热力学和统计物理正处在迅速发展时期,有许多尚待阐明的问题。例如,涨落过程对于形成耗散结构的作用,就是正在研究的问题。

渐变与突变

自然界是辩证法的试金石。大量粒子组成的系统中出现的突变现象,正是量变转化为质变这一辩证规律的典型表现。早在一百年前恩格斯(F. Engels)就曾经指出:“……每种气体都有其临界点,在这一点上相当的压力和冷却能使气体变成液体。一句话,物理学的所谓常数,大部分不外是这样一些关节点的名称,在这些关节点上,运动的量的增加或减少会引起该物体的状态的质的变化,所以在这些关节点上,量转化为质”。恩格斯在这里说的,是气体凝聚为液体的“相变”点。

自然界中的相变多种多样:磁铁在加热到一定温度时突然失去磁性,许多金属在极低温下突然失去电阻,成为“超导体”,晶体会从一种对称突变到另一种对称。各种物理对象在它们处于渐变阶段时,表现出很强的个性,引起突变的原因也各不相同。但是,一旦很靠近突变点,各类宏观物质的个性就退居次要地位,机理颇为不同的相变表现出极大的相似性。例如,比热随温度的变化会在相变点附近出现一个尖峰,恰当选择比例,可以

