

斯人已去 遗泽永存

——纪念胡斑比先生

胡岗¹ 周昌松² 贺达海^{3,†}

(1 北京师范大学 北京 100875)

(2 香港浸会大学 香港 九龙)

(3 厦门大学 厦门 361005)

2016-05-20收到

† email: dhe@xmu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20160607



年轻时代的胡斑比先生(1963年)

胡斑比先生于2015年11月21日因病逝世。作为斑比的多年同事、学术伙伴和学生，我们谨借此文重温胡先生为非线性科学和统计物理所做的贡献，以此缅怀斑比，表达我们对斯人的深切哀思和怀念。

1 胡斑比先生对非线性科学和统计物理的重要贡献

胡斑比早年就读于香港培正中学，这是一所人才辈出的学校，著名校友有崔琦和丘成桐等。中学毕业后，胡斑比远赴美国求学，先在加州大学伯克利分校取得学士学位，后在康奈尔大学从事量子场论的研究，获得硕士和博士学位。完

成学业后，他先后在法国萨克莱核研究中心，巴黎理工大学和布朗大学进行博士后研究。在布朗大学他师从著名物理学家 Leo Kadanoff，转向非线性动力学和统计物理的研究。1978年胡斑比到休斯敦大学物理系任教。1995年胡斑比应香港浸会大学之聘，出任物理系讲座教授兼系主任。1996年他在香港成立了非线性研究中心，先后有200多位海内外学者到中心工作及合作交流，对非线性科学、统计物理在中国乃至亚太地区的蓬勃发展产生了重要的影响。

胡斑比长达近半个世纪的学术生涯中，硕果累累。他曾撰文“A Closed Loop”简单回忆自己的学术经历。胡先生的学术生涯可大致分为两个时段。第一阶段(1969—1995)集中在美国和法国，第二阶段(1995—2010)则主要在香港。胡斑比的三个主要研究方向分别为：量子场论与相变，非线性动力学，及低维热传导的基础理论研究。关于量子场论方面的工作主要是在康奈尔大学完成的。胡斑比虽然当时没有直接参与相变和临界现象的研究，但在康奈尔的所见所闻，特别是那里浓厚的学科相互交叉的研究氛围，对他后来从量子场论转到相变及非线性动力学的研究，产生了重要影响。

1977年，胡斑比结束法国的博

士后研究来到布朗大学作为 Kadanoff 的博士后。Kadanoff 是重正化群变换的主要提出者之一。当时正值混沌理论蓬勃发展的阶段，受 Kadanoff 的鼓励，胡斑比转向关于相变与非线性动力学方面的研究，并在此领域做出了一系列重要的工作。这里扼要介绍他的几项代表性工作。

在相变方面，胡斑比首先考虑了经典伊辛模型对应的量子伊辛模型的临界特性，用基于截断方法与基态投影算子方法的量子重正化群变换计算了临界指数，与精确值一致。接着，他研究了 Blume-Emery-Griffiths(BEG)模型的量子版本并计算了其三临界指数，与经典重正化群方法的结果符合得很好。然后，胡斑比将重正化群方法应用到二维三态的 Potts 模型，发现其不动点精确的位于二元自对偶临界点上。他还计算了热指数值，与 Zwanzig、Ranshaw 的低维级数展开结果及 Elitzur, Pearson 和 Shigemitsu 的强耦合展开结果相吻合。这是一项最早用重正化群来计算三临界指数的工作。

在非线性动力学方面，胡斑比将重正化群方法应用于二次方映像，取得了一系列重要成果。首先，他和学生一起采用 Derrida, Gervois 与 Pomeau 的重正化群方法，将

PHYSICS REPORTS (Review Section of Physics Letters) 91, No. 5 (1982) 233-285, North-Holland Publishing Company

INTRODUCTION TO REAL-SPACE RENORMALIZATION-GROUP METHODS IN CRITICAL AND CHAOTIC PHENOMENA

Bambi HU

Department of Physics, University of Houston, Houston, Texas 77004, U.S.A.

Received July 1982

Dedicated to my parents:
Mr. and Mrs. J-Ping Hu

Contents:

1. Introduction	235	3.3. Quantum renormalization-group methods	259
2. Phenomenology of phase transitions and critical phenomena	235	4. Bifurcations and transitions to chaos	270
2.1. Singular behavior and critical exponents	236	4.1. Feigenberg bifurcation and period doubling	270
2.2. Scaling and universality	237	4.2. Universality	277
2.3. Mean field theory	238	4.3. Chaotic and critical phenomena	280
3. Real-space renormalization-group methods	242	4.4. Tangent and Hopf bifurcations	288
3.1. Basic ideas of the renormalization group	242	Acknowledgments	293
3.2. Classical renormalization-group methods	248	References	293

Abstract:

The methods of the real-space renormalization group, and their application to critical and chaotic phenomena are reviewed. The article consists of two parts: the first part deals with phase transitions and critical phenomena; the second part, bifurcations and transitions to chaos. We begin with an introduction to the phenomenology of phase transitions and critical phenomena. Seminal concepts such as scaling and universality, and their characterization by critical exponents are discussed. The basic ideas of the renormalization group are then explained. A survey of real-space renormalization-group methods, decimation, Migdal-Kadanoff approximation, consistent and cluster exponents, is given. The Hamiltonian formulation of classical statistical systems into quantum mechanical systems by the method of the transfer matrix is introduced. Quantum renormalization-group methods of truncation and projection, and their application to the transcribed quantum mechanical Ising model in a transverse field are illustrated. Finally, the quantum cumulant-expansion method as applied to the one-dimensional quantum mechanical XY model is discussed. The second part of the article is devoted to the subject of bifurcations and transitions to chaos. The three most commonly discussed kinds of bifurcations: the pitchfork, tangent and Hopf bifurcations, and the associated routes to chaos: period doubling, intermittency and quasiperiodicity are discussed. Period doubling based on the logistic map is explained in detail. Universality and its expression in terms of functional renormalization-group equations is discussed. The Liapunov characteristic exponent and its analogy to the order parameter are introduced. The effect of external noise and its universal scaling feature are shown. The simplest characteristics of the Hénon strange attractor are intuitively illustrated. The purpose of this article is primarily pedagogical. The similarity between critical and chaotic phenomena is a recurrent theme that underlines the importance and usefulness of such concepts as scaling, renormalization and universality.

胡斑比先生 *Physics Reports* 文章的首页

Feigenbaum 普适常数的计算推广到三阶。接着，他们研究了映像族 $f(x) = 1 - ax^z$ ($z=2, 4, 6, 8$)，得到的倍周期分岔值为 z 的增函数，且用重正化群方法计算了参数普适常数。随后，胡斑比与合作者得到阵发混沌的 Feigenbaum 重正化群递推关系的精确解，以及与之相关的描述确定论与随机扰动的本征方程。此工作为胡斑比发表于 *Physical Review Letter* 的第一篇文章，胡先生很是看重，在自传中将其选为四篇代表作之一。

由于上述两方面的突出工作，胡斑比应邀为 *Physics Reports* 撰写综述“Introduction to real-space renormalization-group methods in critical and chaotic phenomena”。此文深入浅出地详细介绍了标度、普适性、临界指数等概念及重正化群的基本思想，总结了实空间重正化群的主要步骤：抽样、Migdal-Kadanoff近似、累积与集团展开等，已成为经典文献。

临界指数的普适性是统计物理

学家最为关心的问题之一。胡斑比用重正化群的不动点理论在普适性方面做了若干深入的研究，在 *Physical Review Letter* 上发表了关于层级格子 (hierarchical lattice) 相变普适性问题的研究论文。他考察了众多的层级格子后发现，系统的临界特性实际上依赖于层级格子的具体结构，指出将分形维数及连接度作为普

适性判据不可信，并指出可用“弱表述”与“强表述”区分普适性。进而，胡斑比讨论了 Sierpinski 地毯的相变，考察了具有不同几何因子的临界指数的变化及电阻网的标度，发现此类系统不具有通常意义下的普适性，需要发展刻画普适性的新方法。

在动力学映像方面，胡斑比首先将重正化群方法用于圆映像来讨论外噪声在准周期通向混沌的相变中的普适标度行为。相对于以前的泛函无理取样方法，胡斑比用重正化群方法来推导随机本征值方程要简单许多。然后，他考虑一维平方映像与二维保面积 Henon 映像，将本征值匹配的重正化群方法用于计算多个标度因子。计算精度对一、二维映像高达 11 阶和 8 阶，这并不多见。接着，胡斑比与同事一起讨论了四维辛映像中的倍周期分岔，发现存在普适的自相似倍周期分岔序列。不同于二维情形，这里的不动点有两个不稳定方向。这项工作以快报的形式发表在 *Physical*

Review A 上。四维辛映像的分岔现象非常复杂，胡斑比等人成功地找到一个完整倍周期分岔序列，并给出了参数平面中低周期稳定性的相图，进而推广到包含参数 z 的整个耗散的近标准映像族。胡斑比以上贡献在混沌动力学研究的早期澄清了一系列的概念，提供了有效的方法。

20 世纪 80 年代初，Per Bak 和 Serge Aubry 等人关于公度一无公度相变的工作，引起了工作在相变与非线性动力学这两个领域的胡斑比教授的注意。这类相变的一个最具代表性的模型便是由 Y. I. Frenkel 与 T. Kontorova 于 1938 年提出的 Frenkel-Kontorova(FK)模型。FK 模型描述受到周期势调制的一维弹性链，它可展示一系列公度一无公度相变及被称为“魔鬼阶梯”的复杂零温相图。自 90 年代初起，胡斑比结合自己的场论和非线性动力学的背景，开始研究广义 FK 模型基态的普适律和相变动力学行为。广义 FK 模型舍弃了简谐的近邻原子间耦合或周期外势而代之以其他典型的耦合或外势，但保留了不同尺度竞争的核心本质，在许多情况下也更接近于实际系统。胡斑比与合作者对广义 FK 模型的公度及无公度基态得到了一系列富有意义的结果。

在香港浸会大学非线性中心成立初期，胡斑比带领中心的一群年轻人及来访学者，系统地开展了 FK 模型的驱动动力学、拓扑动力学和量子 FK 模型基态的研究。在外力驱动下 FK 系统会表现出复杂的动力学行为，若不考虑粒子的惯性效应且动力学存在耗散，则常外力下系统整体可有定向运动，并随外力增加会出现“钉扎—脱钉”转变，对应于动力系统的鞍结分叉。若再

增加周期力驱动, 系统运动会出现简谐和亚简谐共振台阶。非线性中心在这方面的研究持续了十年左右, 并有许多独特的影响重大的成果。在量子FK模型方面, 胡斑比与合作者成功引进了压缩态方法研究基态的量子涨落, 并迅速推广到广义量子简谐振子模型。基于转移矩阵方法, 他们得到了量子无公度FK模型两种基态构型对应的电子能谱和扩散行为。进而, 他们成功地应用密度矩阵重正化群方法研究了量子FK模型, 更精确地确定量子FK模型基态的性质如基态能量、壳函数、关联和纠缠等, 并得到系统的动力学演化行为。

对FK模型动力学及相关问题的研究, 自然地引出了低维非线性系统不同模之间的能量交换及热传导问题, 该方向成为非线性中心持续10年的核心课题, 胡斑比倾注了主要精力, 取得了一系列重要突破, 引起学界关注, 并推动了实验和应用研究。傅立叶热传导定律微观机理是物理学领域至今没有搞清楚的一个基本问题。非线性中心在其成立的第二年即1997年, 就开展了一维系统热传导问题的研究, 于1998年发表了第一篇文章, 掀起了低维系统热传导研究的高潮, 成为中心成立至今引用率最高的文章, 也是中心的标志性成果之一。之前的一维简谐晶格的热传导精确解, 指出热源之间不存在温度梯度, 且热传导系数正比于系统长度, 表明非线性相互作用是傅立叶定律的必要条件。但令人困惑的是, 对一个特殊的一维混沌系统的数值模拟观察到热传导系数不依赖于系统尺寸。然而, 一维FPU非线性晶格系统的运动也是混沌的, 但其热传导系数却随系统尺寸发散。在这样的



1999年胡斑比先生与部分大陆访问学者在非线性中心留影(香港)

背景下, 中心的那篇文章提出将系统动量守恒作为傅立叶定律的判据, 并在2000年发表的另一篇文章中进一步阐述。这个观点虽然还没有解析证明, 现在已被普遍接受。2000年以后, 非线性中心对低维系统热传导问题特别是对热整流、负微分热阻展开研究, 取得了一系列极具创新性的成果, 包括二段结构FK链的热整流现象。2006年中心发表了一系列工作。非线性中心从2008年开始对负微分热阻展开研究, 给出了弱耦合条件下的解析分析, 证实其存在性与系统空间结构的对称性无关, 表明热整流效应与负微分热阻无必然联系, 阐明了匀质和非匀质系统的尺寸效应对负微分热阻的影响, 得到存在性的判定条件, 取得其微观机制的基本认识。

胡斑比先生与其合作者还在混沌同步、冷原子、非线性光学等领域做了大量深入的研究。胡斑比发表的学术论文总计超过320篇, 直到2015年仍笔耕不辍, 实为年青学者的楷模。胡斑比建立的非线性研究中心为内地相关学科的学者提供了相互了解、相互学习和交流的机会, 锻炼了一批青年学者, 促成了多个有影响的研究团队, 推动了我

国非线性科学、统计物理等学科的发展。斑比虽然离我们而去, 但他在学术研究和人才培养教育活动中的不倦努力和杰出成就将永远铭记在我们心中!

2 胡斑比先生与亚太地区的非线性科学

胡斑比先生于1995年出任香港浸会大学物理系主任, 除延请世界一流的学者杨振宁、陈鸿渭、朱经武、沈吕九、沈元壤和崔琦等担任物理系国际学术委员会成员外, 甫一到任就着手创立非线性研究中心。非线性与复杂性科学始于20世纪60、70年代的混沌现象研究, 从物理、化学、生物及社会经济等学科抽象出复杂现象的共同核心问题, 如分岔突变、自组织涌现、同步等问题, 集合统计物理、数学和计算机数值模拟, 寻求千差万别现象背后的共性。到90年代, 非线性与复杂性研究在欧美已蓬勃发展, 相继成立了很多研究中心, 极大地推动了跨学科交叉研究。而在亚太地区特别在大中华区域, 非线性研究则处于发展之初, 所以胡斑比先生决定成立非线性研究中心, 其目光是极其敏锐和有远见的。在时任



2006年胡斑比夫妇与香港浸会大学校长吴清辉夫妇在非线性中心成立10周年国际会议上

校长谢志伟博士的鼎力支持下，非线性研究中心于1996年正式成立。中心的宗旨是推动非线性研究在亚太地区的发展，并把中心建设成国际上非线性科学研究交流和年青学者培养训练的中心和枢纽。创立之初，浸会大学成员包括汤雷翰、汤涛及胡先生本人，得到浸会大学的极大支持，胡先生担任主任的1996—2010年间，每年大学都提供数目相当可观的经费，支持中心极其活跃的访问学者项目。

浸会大学非线性中心一成立就吸引了大批学者前来访问和研究，其中不仅包括当时内地的资深研究者郝柏林、顾雁和胡岗等，更多地，胡先生把机会给了年青学者。在他担任中心主任期间，有近200位青年研究人员以研究助理或访问学者的身份在中心做过短则几天、长达数年的访问研究。这些学者大部分来自亚太地区，如中国大陆、台湾及香港等地，也包括多位欧美访问学者。如今，他们绝大部分都已成长为相关学科研究的学术带头人和中坚力量，活跃于国际学术舞台。

胡斑比先生在非线性中心为访问学者创造了非常宽松和活跃的研究气氛。一方面，胡先生鼓励年轻学者勇于开拓新的研究方向和领域，另一方面他非常注重在一些重要课题上集中力量，深入研究以达突破。除了鼓励大家认真总结发表研究成果外，胡先生还极力敦促中心成员完成一批高质量的论文。1996—2010年胡先生担任主任期间，超过230篇研究论文发表在《物理评论快报(PRL)》、物理评论PR系列等物理学和非线性科学的核心期刊上。该中心推动了非线性科学与统计物理的结合，包括后来热传导的研究，开拓了一片新的研究领域。

胡斑比先生致力于亚洲不同国家与地区间的学术合作交流。在他的倡导下，北京—香港—新加坡非线性与复杂系统联合研究中心(BHS, Beijing-Hong Kong-Singapore Joint Centre for Nonlinear and Complex Systems)于2004年正式成立，成员包括北京大学、北京师范大学、香港浸会大学和新加坡国立大学，成为亚

洲首个非线性及复杂系统研究联盟，推动了该领域的合作与发展。

为了加强亚洲与世界各国之间的学术交流，胡斑比先生很早就着手创立亚太非线性动力学会议(DDAP)，第一届亚太非线性动力学会议于1999年7月在香港浸会大学顺利召开。之后，在亚太国家和地区每两年轮流召开一次，迄今为止已在大陆(杭州, DDAP2, 2002)、新加坡(DDAP3, 2004)、韩国(Pohang, DDAP4, 2006)、日本(Nara, DDAP5, 2008)、澳大利亚(Sydney, DDAP6, 2010)、台湾(Taipei, DDAP7, 2012)和印度(Chennai, DDAP8, 2014)等地举行，吸引着众多资深学者和青年才俊。每次胡先生或参与会议的组织或担任国际学术顾问，或与会议做邀请报告，为会议的成功举办尽心尽力。如今亚太非线性动力学会议与美国、欧洲、南美的非线性会议一起，成为世界四大非线性动力学国际系列会议之一，影响卓著。

2016正值香港浸会大学成立60周年及非线性研究中心成立20周年。在2012年台北举办DDAP7时，胡先生就建议和推动DDAP9能于2016年回到香港举办。曾经在非线性中心工作过的成员们原本满心期待胡先生回港参加DDAP9，不幸先生突然辞世，让大家悲痛不已！胡先生对亚太非线性科学发展的巨大贡献有目共睹，我们将铭记他在我们学术生涯及成长过程中给予的教诲、提携和指导，继续胡先生未竟的事业。

致谢 本文由汤雷翰、何大韧、李保文、刘宗华、赵鸿、郑志刚等人共同参与完成，感谢他们的辛勤劳动。