

宇宙系列

The Shape
of
Inner Space

大宇之形

[美] 丘成桐 (Shing-Tung Yau) 史蒂夫·纳迪斯 (Steve Nadis) / 著
翁秉仁 赵学信 / 译



第一推动

湖南科学技术出版社

1509813



宇宙系列

The Shape
of
Inner Space

大宇之形

[美] 丘成桐 (Shing-Tung Yau) 史蒂夫·纳迪斯 (Steve Nadis) / 著
翁秉仁 赵学信 / 译

馆藏



淮阴师范学院图书馆 1509813



第一推动

湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

大宇之形 / (美) 丘成桐, 史蒂夫·纳迪斯 著; 翁秉仁, 赵学信 译. — 长沙: 湖南科学技术出版社, 2012. 12

(第一推动丛书. 宇宙系列)

ISBN 978-7-5357-7496-5

I. ①大… II. ①丘… ②史… ③翁… ④赵… III. ①宇宙学—研究 IV. ①P159

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 273835 号

The Shape of Inner Space

© 2010 by Shing -Tung Yau and Steve Nadis.

All rights reserved.

湖南科学技术出版社通过美国 **Brockman Inc.** 获得本书中文简体版中国大陆出版发行权。

著作权合同登记号: 18-2010-291

第一推动丛书 宇宙系列

大宇之形

著 者: [美] 丘成桐 史蒂夫·纳迪斯

译 者: 翁秉仁 赵学信

责任编辑: 吴 炜 孙桂均

文字编辑: 唐北灿

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印 刷: 长沙宇航印刷有限公司

(印装质量问题请直接与原厂联系)

厂 址: 长沙市河西望城坡航天大院

邮 编: 410205

出版日期: 2012 年 12 月第 1 版第 1 次

开 本: 880mm×1230mm 1/32

印 张: 15.5

字 数: 336000

书 号: ISBN 978-7-5357-7496-5

定 价: 45.00 元

(版权所有·翻印必究)

总 序

科学，特别是自然科学，最重要的目标之一，就是追寻科学本身的原动力，或曰追寻其第一推动。同时，科学的这种追求精神本身，又成为社会发展和人类进步的一种最基本的推动。

科学总是寻求发现和了解客观世界的新现象，研究和掌握新规律，总是在不懈地追求真理。科学是认真的、严谨的、实事求是的，同时，科学又是创造的。科学的最基本态度之一就是疑问，科学的最基本精神之一就是批判。

的确，科学活动，特别是自然科学活动，比较起其他的人类活动来，其最基本特征就是不断进步。哪怕在其他方面倒退的时候，科学却总是进步着，即使是缓慢而艰难地进步，这表明，自然科学活动中包含着人类的最进步因素。

正是在这个意义上，科学堪称为人类进步的“第一推动”。

科学教育，特别是自然科学的教育，是提高人们素质的重要因素，是现代教育的一个核心。科学教育不仅使人获得生活和工作所需的知识和技能，更重要的是使人获得科学思想、科学精神、科学态度以及科学方法的熏陶和培养，使人获得非生物本能



的智慧，获得非与生俱来的灵魂。可以这样说，没有科学的“教育”，只是培养信仰，而不是教育。没有受过科学教育的人，只能称为受过训练，而非受过教育。

正是在这个意义上，科学堪称为使人进化为现代人的“第一推动”。

近百年来，无数仁人智士意识到，强国富民再造中国离不开科学技术，他们为摆脱愚昧与无知做了艰苦卓绝的奋斗。中国的科学先贤们代代相传，不遗余力地为中国的进步献身于科学启蒙运动，以图完成国人的强国梦。然而应该说，这个目标远未达到。今日的中国需要新的科学启蒙，需要现代科学教育。只有全社会的人具备较高的科学素质，以科学的精神和思想、科学的态度和方法作为探讨和解决各类问题的共同基础和出发点，社会才能更好地向前发展和进步。因此，中国的进步离不开科学，是毋庸置疑的。

正是这个意义上，似乎可以说，科学已被公认是中国进步所必不可少的推动。

然而，这并不意味着，科学的精神也同样地被公认和接受。虽然，科学已渗透到社会的各个领域和层面，科学的价值和地位也更高了，但是毋庸讳言，在一定的范围内，或某些特定时候，人们只是承认“科学是有用的”，只停留在对科学所带来的后果的接受和承认，而不是对科学的原动力、科学的精神的接受和承认。此种现象的存在也是不能忽视的。

科学的精神之一，是它自身就是自身的“第一推动”。也就是说，科学活动在原则上是不隶属于服务于神学的，不隶属于服务于儒学的，科学活动在原则上也不隶属于服务于任何哲学。科学是超越宗教差别的，超越民族差别的，超越党派差别的，超越

文化的地域的差别的，科学是普适的、独立的，它自身就是自身的主宰。

湖南科学技术出版社精选了一批关于科学思想和科学精神的世界名著，请有关学者译成中文出版，其目的就是为了传播科学的精神，科学的思想，特别是自然科学的精神和思想，从而起到倡导科学精神，推动科技发展，对全民进行新的科学启蒙和科学教育的作用，为中国的进步做一点推动。丛书定名为《第一推动》，当然并非说其中每一册都是第一推动，但是可以肯定，蕴含在每一册中的科学的内容、观点、思想和精神，都会使你或多或少地更接近第一推动，或多或少地发现，自身如何成为自身的主宰。

《第一推动丛书》编委会

时空统一颂

时乎时乎 逝何如此

物乎物乎 系何如斯

弱水三千 岂非同源

时空一体 心物互存

时分时分 时不再软

天分天分 天何多容

亘古恒迁 黑洞冥冥

时空一体 其无尽耶

大哉大哉 宇宙之谜

美哉美哉 真理之源

时空量化 智者无何

管测大块 学也洋洋

——丘成桐，2002年写于北京

希望年轻人能理解数学之美，以及我做学问的精神

中文版序

十多年来，我花了不少时间到世界各地做通俗演讲，向听众解释数学的美妙。每次演讲完后，总觉得意犹未尽，后来又因为一些机缘，激发我的兴趣，想写一本给一般大众阅读的科普书。《大字之形》(*The Shape of Inner Space*)就是这样的一本书，是我和纳迪斯先生(Steve Nadis)合写的，写作过程并不容易，前后花了我们四年的工夫。

2002年，浙江大学数学所成立，我邀请了一批有国际声望的数学和物理学家来参加学术会议，其中包括霍金(Stephen Hawking)，大卫·格罗斯(David Gross)、威滕(Edward Witten)等闻名遐迩的大师。其中最引人注目的是霍金的演讲，当时整个浙江都轰动起来，有超过三千听众在大球场上听讲。后来在北京的国际弦理论大会上，我们决定霍金的演讲不收入场费，但要凭入场券入场，没想到一票难求，黄牛票竟卖到人民币二百元以上。当时中国国家主席江泽民在中南海接见上述来宾时，很高兴地表扬了“霍金热”，媒体更是一致称颂。但是有些物理学家并不满意媒体的报道，认为他们未能好好解释霍金在科学上的成就，大多数人无从了解霍金这位物理大师的为人和学问。

当年，国际数学家大会（ICM）也在北京举行，知名的诺贝尔经济学奖得主数学家纳什也参加了这次大会。我在开会前与他共进晚餐时，谈到一本描述他生平的书，以及该书改编的电影（即《美丽境界》[*A Beautiful Mind*] 及其同名电影。大陆及香港则译为《美丽心灵》），纳什向我抱怨这本书的作者和电影的编剧，从来没有跟他交谈过，写出来与演出来的内容许多都跟事实不符。

到了2006年，我在北京再度召开国际弦理论大会，邀请许多物理和数学家与会，当然也邀请了上述2002年访问中国的大师。为了减轻大会的经济负担，我得到霍金教授的同意，让他的团队经过香港一行。但由于他的团队人数众多，香港中文大学无法支应经费，所以我请香港科技大学的郑绍远在科大举办一场霍金的演讲，没料到香港媒体极为兴奋，大肆宣传。后来在北京的大会上，更有六千多人在人民大会堂听霍金的演讲。当时湖南科学技术出版社已经翻译了霍金教授的畅销科普书。而在同一段时间，媒体也对当时数学庞加莱猜想的解决极感兴趣。然而无论中国或外国的媒体，都未能把握到这些科学成果的真意，殊为可惜。

这些经验让我体认到科普工作的重要性与难度，其中尤以撰写数学科普书更为困难。大部分数学科普作者太注重描述数学家个人的个性或轶闻，很少能真正触及数学吸引人之美与内在的真实。许多作者更因为害怕读者读不懂，往往将最精彩的地方一笔带过。甚至明知自己的解释有误，但为了读者容易阅读，就模模糊糊、将就过去。我很希望能写出一本数学科普书来矫正这种毛病。

于是，我找了纳迪斯来合写这本书，阐述我在毕业后十五年



内的重要工作，并描述我在解决这些问题时所遇到的困难，以及克服问题后的喜悦感受，同时也在字里行间带出我与朋友和学生的交谊点滴。

一般来说，数学家很少会写出自己创作的经验，再加上我做的研究与物理学密切相关，所以写这本书时，自己觉得很有意思，希望年轻人或年轻学者能理解我做学问的精神。纳迪斯的文笔极好，他是一位擅长用通俗语言描述天文学的职业作家，虽然不很懂数学，却满怀学习的热情。这样的合作伙伴最是难得，因为我需要借比较简单的语言，描述深奥的数学内涵。通过纳迪斯的领会，总算能将这些想法向大众表达出来。从美国读者的反映知道，我们获得了一定程度的成功。而且如今，纳迪斯也成为数学专家了。

犹记得当年解决卡拉比猜想时，我心中的感觉可以用两句宋词贴切表达：

落花人独立

微雨燕双飞

我希望这本书的中文译本，能够将数学家、物理学家这种和大自然融成一体的美妙感觉表现出来。翁秉仁是我从前的博士生，精通数学，文笔很好。我感谢他与赵学信先生花了这么多宝贵的时间将这本书翻译出来，得其神韵，实在不易。

我衷心感谢给我们帮忙的人，除了英文序中提到的数学家和物理学家、纳迪斯、翁秉仁和赵学信外，我还要感谢远流出版社和湖南科学技术出版社出版这本书的中文译本。

英文版序

数学，是一场波澜壮阔的冒险！

大家常说，数学是科学的语言，或至少是物理科学的语言。显而易见的，想要确切描述物理定律，只能使用数学方程式，无法诉诸日常书写或口语的文字。但是只把数学当成一门语言，对这个学科全然不公平，因为语言这个字眼让人有错误的印象，以为数学除了挑挑叙述的毛病、并稍微改正之外，就清清楚楚、了无新意。

但这其实谬误之极。虽然数学家在数千年的历史过程中，为数学打造了坚实的基础，但今天的数学仍然兴盛与活跃如昔。数学并不是静止稳定的知识体系，而是充满活力、不断在演变中的科学，和其他科学一样，每天都有崭新的洞识与发现。只是，除非解决几个世纪的难题，数学的发展鲜少能登上头条新闻，不像其他科学，经常有发现新基本粒子、新星体，或新抗癌疗程等热门议题。

但是对于能欣赏数学真谛的人，数学绝不只是一种语言而已，而是通往真理最确定的道路，是整座物理科学大厦所依凭的坚实磐石。这个学科的力量，并不仅止于解释或彰显实在的物理世界，因为对数学家来说，数学就是实在的世界。我们证明的几



何形体与空间，其真实性绝不亚于构成所有物质的基本粒子。不过我们认为数学结构比起大自然的粒子更为基本，因为除了厘清粒子行为之外，数学还能解释形形色色的日常生活现象，从脸部轮廓到花朵的对称性等。面对现实世界的熟悉模式与形体，或许最能令几何学家兴奋的，正是其背后抽象原理的力量与美感。

对我而言，研究数学——尤其是我的专长几何学，真的就像探险家去勘探未知之地一样。我仍然清楚记得，当我读研究所一年级，作为初牛之犊的二十岁新手，初接触到爱因斯坦引力论时，所感受到的震撼与悸动。我非常惊讶引力和曲率这两个概念，竟可视为一体的两面，毕竟我在香港的大学时代，早已着迷于曲面的理论。这些形体就这样沁入胸臆深处，我不清楚原因，却无法将它们逐出脑海。听到曲率位于爱因斯坦广义相对论的核心，不禁让我期盼某天，也能以某种方式对宇宙知识做出贡献。

《大宇之形》这本书描述我在数学领域的探索，并特别聚焦于一项协助物理学家建立宇宙模型的发现。没有人能断言这些模型最终是否正确，但是作为这些模型基础的几何理论，却无疑蕴涵着我无从抗拒的美感。

我研究几何学与偏微分方程，显然比用非母语的英文写作更在行，因此写这样一本书无疑是一项挑战。数学方程的清晰与优雅，经常难以用口语表述（甚至有人说这不可能），这点颇令人感到挫折，就像没有任何实景照片，却尝试描述珠穆朗玛峰，或尼加拉瀑布的壮阔气势一样。

幸运的是，在这方面我获得了绝佳的臂助。尽管这整个故事是通过我的双眼，以我的口说来陈述，但我的合作者却帮我将抽象与深奥的数学，试着转译成流利的文字。

当我证明了卡拉比猜想（本书的中心主题）后，我将该篇证

明的论文献给我的父亲丘镇英先生，他是一位教育家与哲学家，教导我抽象思考的力量。现在我将这本书，献给他与我的母亲梁若琳女士，他们两人深刻影响了我智识上的成长。此外，我特别要感谢我的妻子友云，她的气度与容忍，使我在甚为繁忙纠缠的研究与访问行程中，还有余裕来写这本书。另外也感谢我颇为骄傲的两个儿子，丘明诚与丘正熙。

我也要把这本书献给卡拉比 (Eugenio Calabi)，他是前述猜想的提出者，我们相识将近四十年。卡拉比是一位很有原创性的数学家，我和他通过某些几何空间彼此相系，已逾四分之一世纪，那就是卡拉比-丘流形 (Calabi-Yau manifolds)，也是本书的主题。Calabi-Yau 这个词自从 1984 年出现之后，使用者极多，我几乎都快觉得卡拉比是我的名字了。而如果这真的是我的名字，或至少在公众的心里如此，我将引以为荣。

我的研究工作，大部分往来于数学与理论物理交汇的领域。我很少孤立完成这些研究，经常大量地受益于与朋友或同僚的互动。在这许多人里，我底下将只提到与我直接合作，或曾予我启发的少数人。

首先，我要感谢我的老师与长辈们，这一长串名单中包括了陈省身、莫瑞 (Charles Morrey)、劳森 (Blaine Lawson)、辛格 (Isadore Singer)、尼伦柏格 (Louis Nirenberg)，以及卡拉比。我也很感谢 1973 年时，辛格在一次斯坦福大学的学术会议邀请格罗赫 (Robert Geroch) 来演讲，这促成我和孙理察 (Richard Schoen) 在正质量猜想方向的研究工作。我后续与物理相关的数学研究，辛格都经常予我鼓励。

我十分感谢在访问剑桥大学时，和霍金与吉朋士 (Gary Gibbons) 讨论相对论的谈话。我的量子场论是从这个领域的大师大



卫·格罗斯学来的。记得 1981 年当我还是高等研究院的研究员时，戴森 (Freeman Dyson) 带了一位新任物理组研究员到我办公室，这位刚到普林斯顿的新人就是威滕，他告诉我他有一个简洁的正质量猜想的证明，这个结果我和孙理察已经用非常不同的方法证明过了。我非常惊讶于威滕的数学能力，而且这绝非唯一的一次。

在这段研究岁月里，我十分享受和一些人的紧密合作，除了前述的孙理察，还有郑绍远、汉米尔顿 (Richard Hamilton)、李伟光、密克斯 (William Meeks)、赛门 (Leon Simon)，以及乌兰贝克 (Karen Uhlenbeck)。其他以各种方式参与这段旅程的朋友，还包括多纳森 (Simon Donaldson)、罗勃·格林恩 (Robert Greene)、奥瑟曼 (Robert Osserman)、杨宏风 (Duong Hong Phong)，以及伍鸿熙。

我觉得自己很幸运，过去 20 余年能在哈佛大学研究讲学，这是能让数学和物理产生互动的理想环境。在这期间，我从与哈佛数学系同事的交谈中，获得许多数学上的看法，其中包括伯恩斯坦 (Joseph Bernstein)、艾尔基斯 (Noam Elkies)、盖茨郭利 (Dennis Gaitsgory)、迪克·格罗斯 (Dick Gross)、哈里斯 (Joe Harris)、广中平祐 (Heisuke Hironaka)、杰菲 (Arthur Jaffe，他也是物理学家)、卡兹当 (David Kazhdan)、克农海默 (Peter Kronheimer)、梅哲 (Barry Mazur)、马克穆蓝 (Curtis McMullen)、曼弗德 (David Mumford)、史密德 (Wilfried Schmid)、萧荫堂、史滕伯格 (Shlomo Sternberg)、泰特 (John Tate)、陶布思 (Cliff Taubes)、泰勒 (Richard Taylor)、姚鸿泽，以及 2005 年过世的波特 (Raoul Bott) 与马凯 (George Mackey)。当然，我与麻省理工学院数学系的教授们也有许多值得回忆的交谈。另外

在物理方面，我和史聪闵格（Andy Strominger）与瓦法（Cumrun Vafa）则有着数不尽的丰饶对话。

在过去十年，我曾经两度荣任哥伦比亚大学的爱林伯格访问教授，和数学系的教授有许多令人兴奋的讨论，尤其是哥费德（Dorian Goldfeld）、汉米尔顿、杨宏风以及张寿武。我也曾任加州理工学院的费尔柴客座教授与莫尔客座教授，从索恩（Kip Thorne）和史瓦兹（John Schwarz）那里学到许多物理知识。

在过去二十余年，我曾获得美国政府的大力补助（通过国会、能源部以及国防高等计划局）。我大部分的博士后研究人员都是物理博士，这在数学领域中殊属异类。但这样的安排让双方都受益，他们跟我学数学，我则从他们身上学到一些物理知识。我很高兴许多这些有物理背景的博士后，日后成为大学数学系的杰出教授，包括布朗戴斯大学、哥伦比亚大学、西北大学、牛津大学、东京大学等。我的一些博士后在卡拉比-丘流形上有重要贡献，其中许多人协助完成这本书，包括爱梭耳（Mboyo Esole）、布莱恩·格林恩（Brian Greene）、赫罗维兹（Gary Horowitz）、细野忍（Shinobu Hosono）、贺布胥（Tristan Hubsch）、克雷姆（Albrecht Klemm）、连文豪、史巴克斯（James Sparks）、曾立生、山口哲（Satoshi Yamaguchi），以及札斯洛（Eric Zaslow）。最后，我之前的一些研究生也在这个领域里有杰出的贡献，包括来自中国大陆的李骏、刘克峰，以及来自中国台湾的王慕道、王金龙、刘秋菊，其中一些成就将在书中叙述。

丘成桐，麻省剑桥，2010年3月

人的运气就是这样，当初如果不是康奈尔大学的物理学家戴



自海（Henry Tye，丘成桐的朋友）介绍，我根本不可能知道这个著作计划。他当时给我建议，说我未来的合著者或许能指点我一两个有趣的故事。戴自海说得对，他一向都对。我很感谢他，让我踏上这段意料之外的旅程，并且在沿途许多岔口提供协助。

就像丘成桐经常说的，在数学上选定一条路，根本无法预料最后会通往哪里。其实写书也一样，当我们第一次见面时，就十分同意要合写一本书，然后花了很长一段时间，才确定这本书的主题。就某种意义而言，你也可以说，直到这本书完成了，我们才真正知道这本书的主旨。

对于这项合作的结晶，我想先说明几点，以免造成阅读时的混淆。我的合作者是一位数学家，他的研究和本书的多数故事紧密相关，书中凡是身为主要参与者的章节，经常采用第一人称行文，其中的“我”指的一定是丘成桐。不过尽管这本书相当程度涉及个人叙事，却不适合归类为丘成桐的自传或传记，因为他并不全认识书中讨论所牵涉的人物，有些人更早在他出生前就已过世。而且有些描述的内容，例如实验物理与宇宙学，也超出他的专业领域，在这样的章节，我采用的多半是第三人称观点，内容的来源大部分是访谈，以及我曾做过的一些资料研究。

本书称得上是一项特殊的产物，结合了我们不同的背景与观点。最好的合作方式，似乎就是说出一个双方都认为值得一谈的故事。而将故事落实成书的工作，相当依赖于我的合作者对数字的非凡掌握，同时希望我的文字能力也能不辱使命。

关于本书是否应该视为一本自传，还有一点要谈。虽然本书的确绕着丘成桐的研究打转，我仍然要提醒读者，本书的主角并不是丘成桐自己，而是他参与发明的几何空间，也就是卡拉比-丘流形。

广泛来说，本书的主旨是如何通过几何学理解宇宙。20 世纪以几何学描述引力而获得惊人成功的广义相对论，即是此中典范。弦论则是另一个更具野心、走得更深远的尝试，不但几何学活跃其中，六维的卡拉比-丘流形尤其占有特定的地位。本书试图呈现一些几何与物理的必要概念，以理解卡拉比-丘流形的渊源，以及数学家和物理学家认为这些流形重要的原因。本书将聚焦于这类流形的不同面向：作为定义的特色、导致发现的数学理论、弦论学者迷上它的理由，以及这些形体是否真的掌握了通往我们的宇宙（乃至于其他宇宙）的钥匙。

至少，这就是《大字之形》这本书想要阐述的，至于是否真的达成这项使命，只能由读者来决定。

但我心中很明白，如果没有许多人提供专业、编辑，或者情感上的支持，这本书绝对无法完成。这份名单实在太长了，恐怕不可能全部列出来，不过我会尽量试试。

丘成桐前述名单中的人物，给我提供了许多协助。其中包括卡拉比、多纳森、布莱恩·格林恩、贺布胥、史聪闵格、瓦法、威滕以及最重要的罗勃·格林恩、连文豪、曾立生。后面三位朋友在写作过程中，教导我相关的数学和物理课程，他们精辟的解说与非凡的耐性，让我由衷感激。尤其是罗勃·格林恩，他在百忙中仍然一周数天引领我穿越微分几何的荆棘道路，没有他，我早不知道溺毙几回了。连文豪帮我踏上思考几何分析的起点；在我们改不胜改的书稿定稿的最后时刻，曾立生提供了大量的协助。

物理学家 Allan Adams, Chris Beasley, Shamit Kachru, Liam McAllister 和 Burt Ovrut 常常不分昼夜地为我解答问题，引导我度过许多思考瓶颈。其他慷慨拨冗相助的还有 Paul Aspinwall, Mela-