

VISIONS OF
THE FUTURE
科学展望丛书

天文学与地球科学

Astronomy and Earth Science

主编：迈克尔·汤普森 (J. Michael T. Thompson) (英)
傅德谦 / 译

天文学
地球科学

天文学



地球科学

Astronomy and Earth Science

天文学与地球科学

天文学与地球科学

天文学

天文学与地球科学

VISIONS OF
THE FUTURE

科学展望丛书

P1-49

15

2006

天文学与地球科学

Astronomy and Earth Science

主编：迈克尔·汤普森 (J. Michael T. Thompson) (英)

傅德谦/译

(京)新登字 083 号

图书在版编目(CIP)数据

天文学与地球科学/(英)汤普森主编;傅德谦译. —北京:中国青年出版社, 2006

书名原文: Astronomy and Earth Science

ISBN 7-5006-7201-2

I. 天... II. ①汤... ②傅... III. ①天文学—普及读物②地球科学—普及读物 IV. P-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 111095 号

The Royal Society 2001

This book is in copyright. Subject to statutory exception
and to the provisions of relevant collective licensing agreements,
no reproduction of any part may take place without
the written permission of Cambridge University Press.

First published 2001

北京市版权局著作权合同登记章

图字: 01—2003—6466 号

责任编辑: 彭岩 徐泳

Email: pengyan@cyp.com.cn

*

中国青年出版社出版 发行

社址: 北京东四 12 条 21 号 邮政编码: 100708

网址: www.cyp.com.cn

编辑部电话: (010) 64034350 营销中心电话: (010) 64065904

三河市君旺印装厂印刷 新华书店经销

*

635×965 1/16 19.5 印张 1 插页 200 千字

2006 年 10 月北京第 1 版 2006 年 10 月河北第 1 次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 18.00 元

本书如有印装质量问题, 请凭购书发票与质检部联系调换

联系电话: (010) 84047104

内容简介

本书中这些精彩文章的作者，多为荣获英国皇家学会研究基金支持的首席青年科学家；在他们撰写的文章中，除了分别描述了自己的研究成果之外，还评述了有关学科领域的发展前景。这些文章选自英国皇家学会创办的、全球历史最悠久的权威性科学杂志《自然科学会报》的新千年专辑。该杂志主编、皇家学会会员迈克尔·汤普森(J. M. T. Thompson)教授为本书精心遴选的这些重要文章，包括宇宙大爆炸创生学说；人类对太阳系的探测研究；地球深层结构以及现代对全球变暖与气候变化问题的科学分析。全书充满了这些年轻作者积极献身天文学和地球科学研究工作的信念与热情。本书还另有两册姊妹篇，分别是关于物理学与电子学，以及化学与生命科学的。对于任何关心未来科学发展的读者来说，本书的所有文章，都提供了一些具有权威性的科学见解。

主编简介

迈克尔·汤普森是皇家学会《自然科学会报》(A辑)的现任主编。1958年毕业于剑桥大学力学科学系,获得一级荣誉学位^注(first class honors),并于1962和1977年分别获得科学博士(PhD)与理学博士(ScD)学位。曾担任斯坦福大学(Stanford University)的Fulbright奖学金研究员,并于1964进入伦敦大学学院(University College London,简称UCL)任职。他已发表了的四部专著,分别论述了有关不稳定性、分枝现象(bifurcations)、灾变理论以及混沌理论等方面的诸多问题。1977年被聘为伦敦大学学院教授。1985年被遴选为皇家学会会员,并荣获英国土木工程师学会(Institution of Civil Engineers)授予的Ewing奖章。他曾是科学与工程研究委员会(SERC: Science and Engineering Research Council)资深研究员,并曾服务于国际矿物学协会(IMA, International Mineralogical Association)理事会。1991年,他被任命为非线性动力学研究中心(Centre for Nonlinear Dynamics)主任。2004年他获得国际矿物学协会金质奖章,以表彰他毕生在数学研究方面所作的贡献。

注:英国的大学学位分类制度非常独特,其学士学位分四个等级:最高等级是获得一级荣誉学位,最后能达到这一层次的人很少。接下来是二级甲等荣誉学位、二级乙等荣誉学位和三级学位。没能达到荣誉学位要求的学生被授予“通过”或“普通”学位。

序言

本书所包含的内容，是一批首席青年科学家按照图文并茂的通俗化格调，撰写的十篇文章；其中包括了他们自己的研究成果以及他们对未来科学进展的看法。本书通篇充满了这些年轻作者献身科学的激情与热情，并为那些对于未来科学发展感兴趣的广大公众——其中包括科学研究人员以及具有科学意向的在校儿童，提供一些具有权威性的观点。

这些文章都是在皇家学会《自然科学会报》新千年三本特辑中正式发表过的权威性学术论文的通俗化版本。创办于1665年的《自然科学会报》，是世界上历史最悠久的权威性科学杂志。三百多年以来，它一直都在发表尖端性的科学论文。自从1672年艾萨克·牛顿在本刊发表自己的第一篇论文“光与色彩的新理论”(New Theory about Light and Colours)开始，本刊便一直被他用来说述自己的科学生涯。从1703年牛顿当会长至1727年牛顿去世，英国皇家学会在牛顿的带领下，在欧洲的学者中牢固地树立了科学声望。现在，英国皇家学会成了英国科学院。本书的许多作者都得到了权威的英国皇家学会研究基金的资助。

《自然科学会报》A辑专注于整个物理科学，作为本刊主编，我对所涉及的那些正处于快速增长、并且可能具有长远意义和重要性的课题内容，进行

了仔细挑选。每篇文章都描述了最新的尖端研究结果，比较广泛地说明其来龙去脉，并展望其未来的发展前景。这本文集对于处在千年之交转折点时刻的物理学态势，提供了一幅独具特色快照，而书末的作者简历及其照片，则提供了一些对个人的了解。

本刊新千年的三个特辑，由剑桥出版社分为三本书籍出版。其内容分别包括：天文学和地球科学（具体内容见本书正文）；物理学和电子学（其中包括量子物理学和引力物理学，电子学，高级计算机和无线电通信）；化学与生命科学（其中包括反应动力学，新的处理过程和材料，生物物理技术以及构建描述心脏的理论模型）。

本书所论述的天文学和地球科学题目，包括根据大爆炸理论描述宇宙的创生和演化，人类对太阳系的探测研究，地球深层结构，以及关于全球变暖和气候变化的现代科学见解。

J. M. T. 汤普森

皇家学会《自然科学会报》主编，
非线性动力学研究中心主任，
伦敦大学学院教授

目录

序言

第一章 宇宙的创生与演化

1 大爆炸之谜及其释疑 1

João Magueijo and Baskerville

2 宇宙结构的起源 30

Juan García - Bellido

3 宇宙暗物质 57

Ben Moore

第二章 恒星与行星的探测研究

4 温度最高的太空热斑 85

Malcolm D. Gray

5 新千年对太阳系及其以外天体的探索研究 111

Andrew J. Caotes

6 揭开月球的面纱 158

Sarah K. Dunkin and David J. Heather



第三章 地球剖析

7 地球的深层结构	179
Lidunka Vo ěadlo and David Dobson	
8 动态地球的三维成像	209
Lidia Lonergan and Nicky White	

第四章 全球变暖和气候变化

9 地球物理和天体物理涡流现象	234
N. Robb McDonald	
10 地球未来的气候	263
Mark A. Saunders	

作者简介	285
------------	-----

索引	294
----------	-----

第一章

宇宙的创生与演化

1 大爆炸之谜及其释疑 (Big bag riddles and their revelations)

João Magueijo¹ and Kim Baskerville²

1. Theoretical Physics, The Blackett Laboratory, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Prince Road, London SW7 2BZ, UK

2. London Oratory School, Seagrave Road, London, SW6 1RX, UK

1.1 大爆炸学说的一些谜团(riddles)

大爆炸宇宙学是一种成功的科学理论，它根据广义相对论原理，构建了一个关于我们宇宙的最简捷的人工模型。这一模型认为，原初宇宙是在 150 亿年以前发生的一次大爆炸事件中，从一个单独的点源里创生的。根据相对论进行的动力学分析表明，大爆炸宇宙的性质在空间分布上是均匀的，并且随着时间而不断的膨胀。随后，陆续发现的一系列观测事实，也一再非常精彩地对这些结论提供了各种令人信服的实验证据。

但是，比较严格的分析研究指出，这一模型也存在若干不容易说清楚的难题：比如说，对于宇宙大爆炸之后形成的许多小型区域而言，如果它们相

距非常遥远，以致于光线还没有时间在它们之间传播到对方的情况下，它们彼此将不会察觉对方的存在，也不会发生相互作用。但不可理解的是，这些区域却在诸如年龄和温度方面，具有相同特性，好像这些互不搭界的区域之间突然发生了某种“通灵感应”(telepathic communication)，以致立刻就能互相看到对方的咄咄怪事——这就是大爆炸宇宙论遇到的麻烦之一，即所谓的“视界”(horizons)问题。此外，可观测宇宙实际上具有接近于平直性(flatness)的特征，乃是另一个难题；这是大爆炸模型能否成立的核心问题之一，但遗憾地是，平直性并不稳定。大爆炸模型可以具有三种形状：开放的双曲面、无限平面、以及闭合的球面。闭合大爆炸模型膨胀到极大之后，将会重新坍缩，并将终结于一种大反冲(Big Crunch)状态。开放模型则快速膨胀，并在大爆炸之后很快地就把宇宙掏空。问题在于，平直性即使发生轻微的偏离，就会不可避免地很快导致灾难性的大反冲，或者导致空虚性(emptyness)。但这两种现象实际上并没有发生，这就意味着我们正在成功地行走一条平直的宇宙“绷绳”(tight-rope)之上。平直性的背后，到底隐藏了何种神奇的奥秘呢？除了祈求神灵的干预之外，我们采取什么法子才能够把这种状态长久地维持下去呢？

值得欣慰的是，针对上述难题现已提出了许多合理的分析解释。探讨困扰大爆炸模型的这些谜团，将会为新型物理学研究打开一扇新的窗口。毫无疑问，现代宇宙论中处于领先地位的暴涨宇宙模型

(Inflationary model)，就是在破解这些谜团的过程中脱颖而出的。除了大爆炸模型之外，暴涨模型也许是能够清楚阐述宇宙创生过程的一种最简明的学说。此外，其他的学说还有所谓的“大爆炸前模型”(pre-Big Bang model)。这是受到“弦理论”(string theory)——探讨大爆炸之前宇宙存在可能性的一种学说——的鼓舞而构建出来的模型。宇宙创生之前的情景，现在还是一团迷雾。为对此问题进行探讨而提出来的最激进新见解，将涉及修改狭义相对论。按照这一见解，在这种前期宇宙中，光线的传播会比现在快得多。通过分析、求解暴涨模型和大爆炸前模型，可变光速宇宙论虽然能够解释一些难题，但同时也会带来一些新的谜团。

本文将首先评述大爆炸模型(见 1.2 节)及其遭遇的难题(见 1.3 节)，然后，再分别论述解决这些难题的办法，其中包括采用暴涨(见 1.4 节)、大爆炸前(见 1.5 节)以及可变光速(见 1.6 节)等三类模型，分别进行分析研究的内容。最后，还将对这些问题的研究进展状况提出一些评估意见。

1.2 大爆炸宇宙论的重大成就

对宇宙整体进行研究的宇宙学，长期以来曾经是宗教界探索的神圣目标。这种研究课题后来竟然能够成为物理学的一个分支，确实是一件了不起的重大成就。为什么科学家应当采用经得起检验的科学手段、对于如像宇宙这样显然是非常复杂的天体系统仔细地进行分析研究呢？适值本世纪开端之际，

从某种意义上我们可以说，研究宇宙系统远比研究一种生态系统或动物系统要简单得多。从许多方面看，描述一座悬浮吊桥都会比描述宇宙动力学更加困难许多。

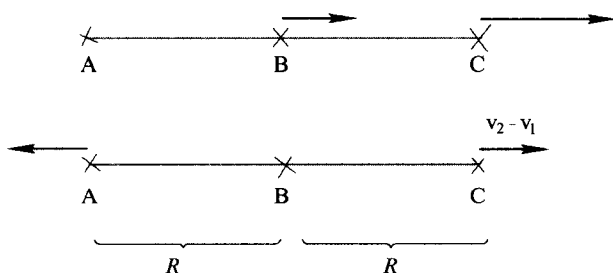
相对论的问世以及天文观测技术上的重大改进，也促使宇宙学研究得以取得巨大的进展。只要我们仰望天空，就会看到多不胜数、绚丽多姿的各类天体：行星、恒星、银河以及我们近处的星系等等。使用具有变焦功能的优质望远镜，我们能够发现大批星系和星系团。但面对宇宙的宏伟规模，即使我们看到的是最庞大的天体结构，它们看起来也好像是盛放在宇宙“汤碗”里的一些小小的“分子”。这种非常均匀的“汤”，称为“宇宙学流体”(cosmological fluid)。宇宙学的研究目标，就是根据其自身引力的作用，阐明宇宙学流体在演化过程中的动力学行为。整体膨胀，乃是宇宙学流体表现出来的最突出特征，它的所有“分子”，都在这种膨胀运动中互相远离。

造成宇宙膨胀的原因是什么？物理学家能够对此做出解释吗？事实上，相对论做出的许多历史贡献之一，就是对这一重大问题提供了一个很有道理的答案。其结果就是构建了一个众所周知的宇宙的大爆炸模型。在此，我们将满怀兴趣地领略一下这个引人入胜的理论模型。

我们首先假设，宇宙流体是均匀的，并且，其中所有方向上的每一点，也都是等效的；这就是说，它们是各向同性的(注意，均匀性并不意味着也就是各向同性)。各向同性要求相对于任何给定的点 ψ ,

惟一可能发生的运动只能是径向运动。让我们设想有一个围绕 ψ 的球，并且考虑这个球上一些点的速度向量。如果我们进行仔细的探测搜索，就会在一个占优势的方向上发现一种令人困惑的略微偏离各向同性的现象。（如果对这个球进行梳理，也就是在这些速度向量上添加一个切向分量），无论怎样精心处理都会留下一个空白点 < a bald patch >。这样一个空白点将使一个占优势的方向背离各向同性。因此，只容许径向运动的各向同性，令人甚感困惑）。实际上，任何观测者至多只能够看到自己周围的各个点发生向外或向内的运动。此外，我们对所讨论之球上的其余部分，将假设各个点的运动都是向外。它们的运动速度依赖于距离和时间，但对于所考虑每一个以 ψ 为中心的点，其作用结果都必须相同。这就对作用结果的形成规定了约束条件。现在，让我们来考虑位于同一直线上三个点 A、B、C，B 和 A、C 之间的距离均为 R（见图 1.1）。相对于 A 点而言，B、和 C 点的速度分别为 v_1 和 v_2 （如图 1.1 上部所示）。从 B 点看来，与之距离为 R 的 C 点的速度，应等于 $v_2 - v_1$ （如图 1.1 下部所示）。根据均匀性条件，从 B 点观看 C 点，应当等同于从 B 点观看 A 点。由此可得 $v_1 = v_2 - v_1$ ，即 $v_2 = 2v_1$ 。回到 A 的视点，我们可以求得：距离两倍的点，也以两倍的速度运动。可以更普遍地表达为： $v = Hd$ 。这就是说，从任何给定点 ψ 向远方的退行速度，正比于至该点的距离 d ；式中，H 称为哈勃“常数”；它虽然并不真的是恒定不变的常数，但其数值却只和时间有关。

图1.1 退行速度必定正比于距离。对于A点而言,假设与之相距 R 的B点的退行速度为 v_1 ,与之相距 $2R$ 的C点的退行速度为 v_2 。则根据均匀性条件,对于B点而言,C点和A点应当以相同的速度退行。由此可知, v_2 必定等于 v_1 的两倍。



这是一条奇特的规律。它指出,从任何给定的点 ψ 观看宇宙遥远天体的退行现象,都表现出天体愈远,退行得也愈快。为了简化讨论,我们暂时忽略引力,并假设这种退行速度总是保持不变。一个与 ψ 距离为 d 的天体,如果以速度 $v = Hd$ 退行,那么,我们把它所经历时间 $\delta_T = d/v = 1/H$ 倒推回去,即可求出该天体最初从 ψ 点被抛射出去的时刻。对于任何距离为 d 的天体,这个倒推回去的时间全都同样地总是等于 $\delta_T = 1/H$ 。该天体愈远,退行得也愈快;并且在相同的时间内从 ψ 点跨越更远的距离。因此,在过去的时刻 $\delta_T = 1/H$,整个可观测的宇宙,都是从 ψ 点被抛射出去的;而且, ψ 可以是位于任何位置的点。这就是说,整个宇宙过去是从一个单一点发生的大爆炸中创生出来的。

引力因素将增大所论问题的复杂性,但并不改变问题的基本性质。读者可以根据以上内容自己做出对于宇宙创生问题的描述。这样,读者就能够体验一下当年爱因斯坦果敢地应用自己的相对论把宇宙作为一个整体进行研究,从而破天荒第一次预见

到宇宙膨胀现象时，所感受到的激动心情。那时，他希望寻求一个静态而永恒的宇宙，用来代替他求解出来的、不停膨胀的宇宙，以便和当时的观测证据符合一致。事实上，爱因斯坦方程揭示的宇宙，乃是一个以大爆炸方式创生、并且必然是处在运动中的宇宙！

也许我们应当强调指出，根据相对论，宇宙并不真的在运动，而是空间自身在膨胀。按照相对论，星系自身并没有彼此分开，它们靠引力被固定在空间；但空间却在膨胀。这好像是在说，假定地球表面会以很高的速度膨胀，则城市之间的距离会随之不断地加大，但城市本身并没有也随之发生分裂。空间膨胀的程度，受一个称为膨胀因子 a 具有的数值的控制。膨胀因子是一把衡量空间扩展程度的标尺。在大爆炸发生时，膨胀因子之值接近于零。自从宇宙在我们称之为普朗克时间 (the Planck time) 的瞬间——此时的宇宙年龄为 10^{-42} 秒——成为标准型 (classical) 宇宙以来，膨胀因子至今已经增大了 10^{32} 倍。

相对论导出的结果，不仅能够确定星系的界面，并且还能描绘出宇宙的几何形状。实际上可以有三种不同的大爆炸模型。我们采用常数 K 代表他们的曲率， K 可以分别取值为：0，1 与 -1 。此常数表征膨胀空间曲率的类型。当 $K=1$ 时，膨胀空间为三维球形；当 $K=0$ 时，为三维平面； $K=-1$ 时则为三维双曲面 (马鞍) 形。图 1.2 示出了它们的二维模拟形态。