

国家“十一五”重点图书规划项目·迈向宇宙的天梯

科学顾问：陈建生 欧阳自远

# 宇宙暗世界

——21世纪·宇宙科学

孙彤 石雨祺 著



 科学普及出版社

P159/28

2008

国家“十一五”重点图书规划项目·迈向宇宙的天梯  
科学顾问:陈建生 欧阳自远

# 宇宙暗世界

21 世纪·宇宙科学

孙 彤 石雨祺 著

科学普及出版社

·北 京·

## 图书在版编目(CIP)数据

宇宙暗世界:21世纪·宇宙科学/孙彤 石雨祺著.—北京:科学普及出版社,2008.1

ISBN 978-7-110-06714-7

I.宇... II.①孙... ②石... III.宇宙学—普及读物 IV.P159-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 168675 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

科学普及出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

\*

开本:880毫米×1230毫米 1/32 印张:5.25 字数:200千字

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

印数:5000册 定价:18.00元

---

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、  
脱页者,本社发行部负责调换)

# 序

21世纪是人类全面探测太空、深入研究宇宙的世纪,是交叉科学全面兴起的世纪。“迈向宇宙,走向太空”已经成为时代的声音。当代人类的太空探测和宇宙研究,重点是天文、物理和航天探测的结合,这是一个历史的跨越。这种完美的结合极大地推动了人类宇宙研究的进程,并刺激了与之相关科学的繁荣。《迈向宇宙的天梯》系列丛书,为国家“十一五”重点图书规划项目,本人有幸为此系列丛书作出自己的贡献,在感到荣幸的同时,也深感压力,督促我尽全力写好此书。

书中非正式地提到太空科学这个概念,相信在不久的将来会成为现代科学重要的一支。

太空是指地球稠密大气层之外的空间区域,一般认为距离地面200千米之外。研究太空、宇宙的学科很多,简单归纳有以下几种:宇宙学、粒子物理、高能物理、天体物理、天体化学、太空生物学、太阳物理学、太阳系物理学、行星科学、陨石学、空间科学、探测科学、SETI科学(探索地外生命)、航天学(宇宙航行)和月球科学等。书中为了方便起见把这些科学门类统称为太空科学。

21世纪,太空科学以惊人的速度实现着人类对科学极限的跨越!毋庸置疑,其中航空航天已经成为我们这个时代的重点话题!来自太空、宇宙的诱惑如此巨大,具有悠久文明史的中国当然更要作出自己的贡献:“神舟号”飞船的成功升空,特别是载人飞船的一次又一次的成功归来,确立了中国已进入航天大国之列。如今“嫦娥工程”的启动,宣布中国航天将向太空深处延伸,“嫦娥”绕月的成功,更显示我国有能力迈向宇宙,走进太空。

今天,“太空热”、“天文和航天热”正在兴起,然而这并不是科学家们的心血来潮,也并非纯粹是人类对理性的自我完善;我们所说的太空科学也绝不是一门仅仅拘泥于“象牙塔”之中的学科,相反,它对于人类的长远发展来说具有极其重大的意义。人类开发宇宙的意义,一方面在

地球能源不断告急的今天,可设法从太空中获得更多资源;另一方面,人类还可到宇宙拓展新的生存空间,等等。

本套系列丛书主要涉及以下一些话题:宇宙、黑洞、反物质、神舟号飞船、嫦娥工程、超光速、超新星、中子星、夸克星、火星、太阳黑子、中微子、太阳系外行星、暗物质、暗能量、类星体、太空引力波、巨型射电望远镜、地外生命、时光隧道(时间机器)、脉冲星、恒星形成,等等。这些都是过去几十年,特别是最近几年大家都非常关注的话题,书中试图给读者满意的答案。

不积跬步,无以至千里;不积小流,无以成江海。本套丛书的主题是:“迈向宇宙,走向太空!”为了写好本书,笔者从三年前就开始广泛积累素材,建立了天文物理科普资料专业数据库和业余数据库。这几年积累起来的一篇文章、小图片,如今终于形成了这套比较完整的宇宙太空科普读物。

最后谈谈本书的主要素材。本系列丛书的基本素材主要来源于笔者在学习与科学研究期间听取院士、首席科学家、海内外著名学者前沿专题报告的笔记;参加中科院“黑洞物理年”会议中涉及到的黑洞相关前沿内容笔记;还有笔者在投入射电和红外(射电和红外是研究宇宙早期情况的重要手段,同时射电又是深空探测以及地外文明探测的有利工具)方面的近两年时间的专业研究工作,与同行在黑洞质量计算、地外行星方面的专业研究工作积累的素材。笔者在科学研究的过程中,还有幸接触了美国国家航天局、欧洲空间局,这些经历也使笔者深入了解了国际国内宏伟的宇宙太空探测计划及其很多背景知识,这些均为编写这套丛书打下了坚实的基础。

本丛书还得到了众多老师、同学和朋友的帮助,由于他们的支持和鼓励使得本书能够顺利与读者见面,这里要对他们的工作表示衷心的感谢:

首先要感谢的是陈建生院士,陈老师是北大物理学院天文系的主任,笔者在求学期间深受老师培养战略科学家这种思想的影响。还有探月工程的首席科学家欧阳自远院士,我看了很多先生主编的科普作品,先生认真求实的科学态度、对科普事业的热心,令学生深受感动和教

育。甘子钊院士是北大物理系老系主任,是物理学院的前辈,记得新生开学的时候,甘老师的那场讲座,生动地描绘了物理学的美以及其在科技发展中的重要地位,其中飞秒技术、磁共振,是甘老师为物理学院新生上的大学物理第一课。以上三位院士的支持是笔者坚持到最后的强大动力。

为了本书能够让大多数人看懂,引入了另外一位作者石雨祺。小石就读于北京师范大学,已经出版了几部作品,有比较好的文字水平。小石在本书的编写过程中作出了大量的工作。也正因为小石的工作,本书由刚开始的甚至专业人士都难以看懂的文字,到现在只要识字的读者都可以通过浅显易懂的文字去了解神秘的宇宙。

除此之外,北京大学的李新叶、李肇聿为本书的编写提供了大量的资料;清华大学的王少轩、程华为本书的图片收集付出了努力;北大中文系的刘月悦为本书的名字提出了很好的想法;逸思·好方法教育团队的陈强先生为作者提供了与北京、上海和广州等地中学生面对面的交流机会,使得作者能够更好地了解他们在宇宙太空科学上真正感兴趣的地方;还有网易探索频道的徐超编辑在“嫦娥”探月专题中介绍了为配合“嫦娥”1号的发射首推出的两本:《伸出地球的手》和《宇宙暗世界》。

最后要感谢我的导师北大吴月芳教授、探月中心邹永廖主任、嫦娥工程射电望远镜专家张宏波工程师、欧洲空间局赫歇尔计划中方负责科学家黄茂海研究员,以及在北大做过天体物理前沿讲座的那些学者专家们,还有北大天体物理前沿课程的主要组织者刘富坤教授等。书中引用凝练着他们用智慧和汗水取得的研究成果、学术观点、数据和图片资料以及在写作的过程中给予的帮助和指导。作为科普读物难以一一列举他们的名字,在这里谨向他们表示深深的感谢和敬意。人类的进步,科技的发展离不开这些夜以继日,默默奉献的科学工作者。

孙 彤

2007年 北京 未名湖畔

# 目 录

第一章	我所知道的宇宙	
	——宇宙起源揭密 .....	1
第二章	想看你最初的样子	
	——宇宙第一代结构与宇宙再电离 .....	21
第三章	神秘的无形天体	
	——暗能量与暗物质 .....	35
第四章	宇宙中的“黑势力”	
	——宇宙大尺度结构中的暗世界 .....	47
第五章	宇宙膨胀的未来	
	——暗物质与加速的宇宙 .....	59
第六章	宇宙中的三朵金花	
	——宇宙磁场、法拉第旋光与塞曼效应 .....	67
第七章	最激烈的太空表演	
	——伽马射线暴 .....	77
第八章	太空中的弹跳	
	——引力波探测 .....	89
第九章	镜面背后的另一个世界	
	——宇宙中的正物质与反物质 .....	99
第十章	黑洞非洞	
	——从黑洞到全息宇宙 .....	111
第十一章	卓越的大发现	
	——宇宙微波背景与 WMAP .....	121
第十二章	科学巨人	
	——历史上的宇宙人 .....	135

# 第一章 我所知道的宇宙

---

## ——宇宙起源揭密

# 1



银河系的中心为球状密集星团



## 本章科学人物



我们看见了大爆炸后 30 万至 40 万年时宇宙的形象,这看似很长,但大爆炸距今已经有 150 亿年或 140 亿年了。如果将宇宙比做人类,这一时刻相当于一个胚胎形成后几个小时,我们回望到了如此遥远的时刻。

——乔治·斯穆特

2

乔治·斯穆特 (1945— ),1970 年在麻省理工学院获物理学博士,随即在加州大学从事科研工作,开始研究大爆炸的相关问题。目前他参与一项称之为下一代实验的“普朗克探测器”计划,该计划将致力于研究早期宇宙,并将于 2007 年发射升空。

斯穆特和马瑟借助美国 1989 年发射的 COBE 卫星探测发现,为有关宇宙起源的大爆炸理论提供了支持,让我们能够更好地了解恒星和星系的起源,使宇宙学进入了“精确研究”时代。乔治·斯穆特和约翰·马瑟因“发现了宇宙微波背景辐射的黑体形式和各向异性”而最终分享了 2006 年诺贝尔物理学奖。

宇宙科学在现代科学里是最令人神往和激动的科学之一，宇宙的起源更是人们着迷的话题。宇宙间充满了各种尺度的结构：星系，星系团，网状结构，空洞。我们人类在宇宙中只处于一个极其普通的位置。太阳系和地球也一样，它们只是宇宙中数以亿万的天体系统和行星的一种。宇宙发展到今天，太阳系已经产生了高度的人类文明。这个文明如何产生？如何发展到今天？至今还未被人们完全知晓。宇宙如何产生？如何发展到今天？同样也还是一个谜。不过，20世纪的宇宙学关于宇宙起源问题的研究已经取得了可喜的成绩。而且，在21世纪宇宙学更加关注宇宙起源这最基本的问题，各种高科技探测设备相继出现，更多的科学家投入到这个问题的研究中来。到今天，宇宙起源的秘密已经距离真相不远。宇宙是什么？如何形成？带着这样一个问题，让我们开始宇宙起源之旅。

## 宇宙是什么？

宇宙的基本单位是星系，宇宙是一个由星系组成的物质集合体。星系是宇宙的基本单位，是宇宙的细胞，星系又组成了星系团，星系团则是更高级的宇宙单元。人类位于宇宙中的银河系中，更详细的位置是银河系中的太阳系，太阳系中行星之一地球上。在本章中我们将从以下几个方面关注宇宙起源问题：人类在宇宙中的位置；宇宙学基本原理；膨胀的宇宙；大爆炸宇宙学；宇宙学研究现状；结束语。

## 人类在宇宙中的位置

在讨论这样一个问题之前，我们要先了解一下早期人类对宇宙的认识中一些著名的学说和观点。现在的认识都是建立在以前的科学家认识的基础上，通过千百年的发展而来的。科学认识是一个长期发展的过程。人类并不能一下子就认识到宇宙的本质，必须经过一代又一代的艰辛探索。下面让我们从亚里士多德、托勒密、哥白尼等的学说开始。

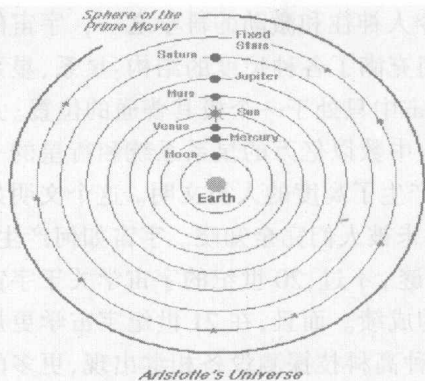


图 1-1 亚里士多德的地心说

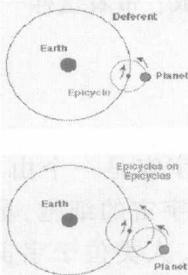


图 1-2 托勒密的地心说

## 亚里士多德的地心说

古代著名的科学家亚里士多德的地心说:地球是球形的,其他星体围绕其做圆周运动。这是最早关于宇宙的学说,也给出了最早的太阳系结构,宇宙结构(图 1-1)。在这个结构中,地球是万物的中心,其他的星体都围绕着地球做圆周运动。这是人类的最初认识,虽然不正确,但已经有了很大进步。

## 托勒密的地心说

托勒密进一步发展了亚里士多德的学说,建立了宇宙地心说(图 1-2)。托勒密提出了运行轨道的概念,发明了本轮均轮模型,且运用数学计算行

星的运动。随着对于行星运动观测资料的增多,所说的本轮已经增加到了 80 多个。托勒密的地心说(托勒密体系)的主要观点是:①地球位于宇宙中心静止不动;②每颗行星都在一个称为“本轮”的小圆形轨道上匀速转动,本轮中心在称为“均轮”的大圆轨道上绕地球匀速转动,但地球不在均轮圆心,它与圆心有一定的距离;③水星和金星的本轮中心位于地球与太阳的连线上,本轮中心在均轮上一年转一周,火星、木星、土星到它们各自的本轮中心的直线旋转一周;④恒星都位于被称为“恒星天”的固体壳层上,日、月、行星除上述运动外,还与“恒星天”一起,每天绕地球转一圈。尽管托勒密体系并不正确,但人类对于宇宙结构的认识毕竟又近了一步。特别四恒星天和绕转运动这些概念,这些对于后来人类对宇宙的认识是有很大帮助。

## 哥白尼的日心说

哥白尼(图 1-3)的日心说的主要观点:太阳是行星系统的中心,一切行星都绕太阳旋转;地球也是一颗行星,有自转也有公转(图 1-4)。哥白尼的日心说在人类认识大自然的历史上是革命性的。大约在 1515 年前,他在论文《浅说》中阐述了天体运动的基本原理,总结了七点:

- (1)不存在一个所有天体轨道或天体的共同的中心。
- (2)地球只是引力中心和月球轨道的中心,不是宇宙的中心。
- (3)宇宙中所有天体都绕太阳运转,宇宙的中心在太阳附近。
- (4)日地距离同天穹高度之比,就如同地球半径同日地距离之比一样渺小,地球到太阳的距离同天穹高度之比是微不足道的。
- (5)在天空中看到的任何运动,都是地球运动引起的。
- (6)在空中看到的太阳运动的一切现象,都不是它本身运动产生的,而是地球运动引起的。地球带着大气层,像其他行星一样围绕太阳旋转。由此可见,地球同时进行几种不同的运动。
- (7)人们看到的行星向前和向后运动,是由于地球运动引起的,地



图 1-3 哥白尼



图 1-4 哥白尼的天体运行图

哥白尼的日心说第一次给出了非常正确的宇宙基本结构图景，以及太阳系恒星、行星和卫星的运动规律。

## 人类的家园

人类位于太阳系一颗美丽的行星——地球上。地球是太阳系的一颗行星，太阳系是银河系中的一个星系，银河系属于本星系团，本星系团又位于室女星系团，室女星系团是宇宙中一个重要的星系团体。这样一个层次结构也从一个侧面刻画出了宇宙的基本构型。下面我们从以上这几个层次来看一个我们在宇宙中的位置。

## 地球是太阳系八大行星之一

地球只是太阳系中一颗普通的行星，围绕太阳做圆周运动。目前太阳系中共有八颗行星（以前是九大行星），围绕太阳在不同的轨道上运动。各行星按离太阳由近到远的顺序，地球是第 3 个行星，它与太阳的平均距离是 1.496 亿千米，是一个天文单位。地球的绕太阳轨道是椭圆形，轨道长半径为 149597870 千米，转轨道运动的平均速度是 29.79 千米/秒。谈到地球不可避免要回答地球起源的问题。地球上产生了人类，地球的起源和演化是宇宙起源和演化的基本问题，同时也是追问人类文明起源的重点。

关于地球的起源和演化比较古老的有两种说法：以康德和拉普拉

球的运动足以解释人们在空中见到的各种现象了。

除此之外，哥白尼还描述了太阳、月球、三颗外行星（土星、木星和火星）和两颗内行星（金星、水星）的视运动。在《浅说》中，哥白尼批判了托勒密的理论，科学地阐明了天体运行的现象，推翻了长期以来居于统治地位的地心说，从根本上否定了基督教关于上帝创造一切的谬论，从而实现了天文学中的根本变革。

斯为代表的“渐变说”和 G.L.L.布丰为代表的“灾变说”。“渐变说”认为太阳系是由高温的旋转气体逐渐冷却而成的；“灾变说”主张太阳系是由此及彼 2 个或 3 个恒星发生碰撞或近距离吸引而产生的。而现在流行的看法认为：地球是一个行星，在 46 亿年以前起源于原始太阳星云。它同其他行星一样，经历了吸积、碰撞这样一些共同的物理演化过程，演变成今天的模样。地球是人类的家园，研究地球的起源也是宇宙起源研究的基本问题。

### 太阳是银河系一颗普通恒星

太阳(图 1-5)体积是地球的 130 万倍，是太阳系的中心天体。银河系中有数以亿计的恒星，太阳只是其中普通的一颗。而太阳系只是银河系中一个普通的行星系统。太阳所统治的太阳系在空间分布上，处在银盘的银道面附近（银盘厚达 3000 光年，而太阳距银道面仅 26 光年），距离银核有 3.3 万光年。也就是说，太阳系距银河系最远的边缘约 8 万光年，到最近边缘为 2 万光年。

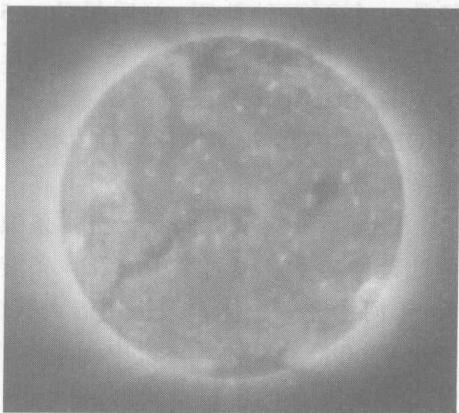


图 1-5 太阳

太阳与地球平均距离 14960 万千米，太阳直径 139 万千米，平均密度 1.409 克/厘米<sup>3</sup>，质量  $1.989 \times 10^{33}$  克，表面温度 5770 开，中心温度 1500 万开。太阳中心区不停地进行热核反应，所产生的能量以辐射方式向宇宙空间发射。其中只有二十二亿分之一的能量辐射到地球，成为地球上光和热的主要来源，也就是这二十二亿分之一的能量孕育了地球生命。在浩瀚的恒星世界里，太阳的亮度、大小和物质密度都只处于中等水平。因为它离地球最近，所以看上去是天空中最大最亮的天体。由于其他恒星离我们都非常遥远，即使是最接近的恒星，也比地球到太阳的距离远 27 万倍，看上去只是一个闪烁的光点。实际中的太阳并不特殊，

它只是银河系亿万恒星中的一个。

## 银河系是本星系团(LocalGroup)重要成员之一

银河系是地球和太阳所属的星系，因其主体部分投影在天球上的亮带，被称为银河而得名。银河系又属于本星系群。本星系团有好多星系成员，银河系是本星系团重要的两个主要成员之一。另外一个核心成员是仙女星系。本星系团是一个非常典型的疏散星系团，没有明显的向中心聚集的趋势。共有成员星系约计 40 个。本星系群的半径约一个百万秒差距，总质量约  $6.5 \times 10^{11}$  太阳质量，其中的绝大部分集中在银河系和仙女星系。本星系团有两个次结构：由银河系与大小麦哲伦云组成的银河系次群，和以仙女星系为中心、包括 M32、NGC205、NGC147、NGC185、仙女矮星系和三角星系(M33)在内的仙女星系次群。

银河系外貌呈旋涡状，有 4 条螺旋状的旋臂从银河系中心均匀对称地延伸出来。银河系中心和 4 条旋臂都是恒星密集的地方。从远处看，银河系像一个体育锻炼用的大铁饼，大铁饼的直径有 10 万光年，相当于 9460800000 万千米。中间最厚的部分约 3000~6500 光年。银河系是太阳系所在的恒星系统，包括一两千亿颗恒星和大量的星团、星云，还有各种类型的星际气体和星际尘埃。它的总质量是太阳质量的 1400 亿倍。在银河系里大多数的恒星集中在一个扁球状的空间范围内，扁球的形状好像铁饼。银河系旋臂相距约 4500 光年。其各部分的旋转速度和周期，因距银心的远近而不同。

## 本星系团处于室女星系团(VirgoCluster)外围

本星系团是以银河系为中心，半径约为百万秒差距(300 多万光年)的空间内的星系之总称。曾有科学家把本星系团的中心定义为银河系和仙女星系(M31)的公共重心。本星系团成员星系有 40 个左右。其中有两个巨型旋涡星系(银河系和仙女星系)，一个中型旋涡星系(三角星系)，一个矮型棒旋星系(大麦哲伦云)，可能还包括一个透镜型巨星系，其余都是矮椭圆星系和不规则星系。

本星系团处于更大的一个层次也就是室女星系团的外围,是室女座星系团的一个成员星系。室女座星系团,目前已经知道包含有 2500 多个星系。这些星系的平均红移为 1180 千米/秒,距离 19 百万秒差距(6000 万光年),是离地球最近的一个不规则星系团。室女星系团占据的天空面积很长,角直径约  $12^\circ$ ,线直径约 1300 万光年。它的中心有一个超巨椭圆星系 M87(NGC4486),是全天最强的射电源之一,也是一个强的 X 射线源,绝对目视星等约 -22 等,质量约  $4 \times 10^{12}$  太阳质量。室女星系团本身又属于本超星系团。本超星系团由包括以银河系为中心的本星系群以及室女星系团等 50 个左右星系团和星系群组成。

## 宇宙中的星系

我们要了解宇宙结构,宇宙的起源,就必须了解宇宙中的星系。星系是宇宙中最大的天体之一。到目前为止,人们已在宇宙观测到了约一千多亿个星系。按照宇宙大爆炸理论,第一代星系大概形成于大爆炸发生后 10 亿年,这些星系都是非常大的星系。其实在宇宙诞生的最初瞬间,有一次原始能量的爆发。之后,随着宇宙的膨胀和冷却,引力开始发挥作用,然后幼年宇宙进入“暴涨”的阶段。这个时候原始能量分布中的微小涨落随着暴涨也从微观尺度急剧放大,从而形成了一些“沟渠”,星系团就是沿着这些“沟渠”形成的。

为了更好地去了解星系,科学家对星系作了分类。著名天文学家埃德温·哈勃开辟了河外星系和大宇宙的研究,被誉为“星系天文学之父”。1926 年,哈勃首次对宇宙中的星系进行了分类,这个分类标准一直被世界科学家沿用到今天。其实星系的形状是多种多样的,根据哈勃分类,可以粗略地将星系划分出椭圆星系、旋涡星系、棒旋星系和不规则星系等(彩图版 1-1)。我们的银河系就是一个典型的旋涡星系,我们就处于一个旋涡星系中。

## 宇宙中星系的相互作用

宇宙中星系又不是孤立的,它们的形成和演化都存在着相互之间的影响:星系之间存在相互作用(彩图版 1-1)。星系之间会发生碰撞,



两个星系通过碰撞形成更大的星系。在这些星系的相互作用中还会产生黑洞等。星系的相互作用在某种程度上讲，也是宇宙演化的一种动力。星系的并和以及碰撞，都会产生新的天体，特别是在相互作用星系中我们就很容易找到恒星形成区。星系相互作用属于宇宙大尺度结构问题，这个文章后面会讨论。彩图版 1-1 是星系的类型及相互作用星系照片。

## 宇宙中星系空间分布

宇宙中星系在空间分布又是怎样的呢？图 1-6 给出了宇宙中星系空间分布图像。我们处于宇宙中极其普通的位置！人类的伟大在于他的智慧。迄今为止，人类对于浩瀚的宇宙已经具有极其深入的理解。带着“我们只处于宇宙中非常普通的位置”这样一个想法，可以使我們更好地去了解宇宙。也正因此，在探讨太阳系生命起源问题的时候，人类不排除宇宙中有其他生命的存在，或许其他星球上也孕育了像人类一样的高等生命体。人类对于有宇宙的认识，已经发展成一门比较完整的学科，这就是宇宙学。宇宙学带领人类去认识宇宙，认识宇宙起源的基本问题。

通过以上介绍，我们不难发现人类在宇宙中的位置是多么的普通。它只是宇宙中一个普通星系集团中的一个普通星系中的一个恒星统治

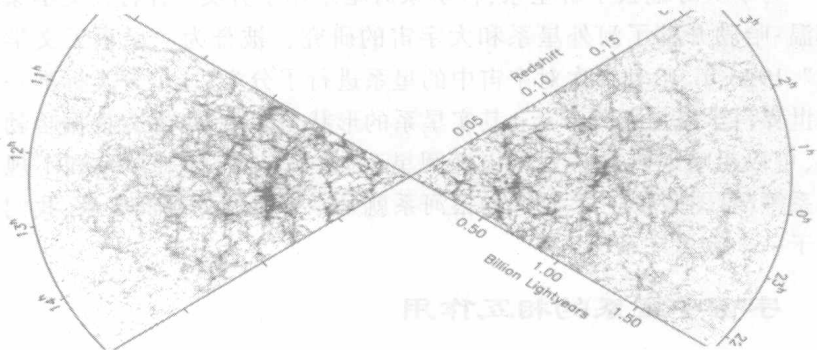


图 1-6 宇宙二维照片