

魅力天文学

Approaching Astronomy

李 莹 编著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

魅力天文学

Approaching Astronomy

李莹◎编著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

魅力天文学/李莹编著. —广州: 暨南大学出版社, 2018. 11
ISBN 978 - 7 - 5668 - 2489 - 9

I. ①魅… II. ①李… III. ①天文学—高等学校—教材 IV. ①P1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 238621 号

魅力天文学

MEILI TIANWENXUE

编著者: 李 莹

出 版 人: 徐义雄
策划编辑: 李 战
责任编辑: 周玉宏 王锦梅
责任校对: 林 琼
责任印制: 汤慧君 周一丹

出版发行: 暨南大学出版社 (510630)
电 话: 总编室 (8620) 85221601
营销部 (8620) 85225284 85228291 85228292 (邮购)
传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)
网 址: <http://www.jnupress.com>
排 版: 广州市天河星辰文化发展部照排中心
印 刷: 深圳市新联美术印刷有限公司
开 本: 787mm × 1092mm 1/16
印 张: 11
字 数: 210 千
版 次: 2018 年 11 月第 1 版
印 次: 2018 年 11 月第 1 次
定 价: 36.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

本书出版获暨南大学本科教材项目（青年教师编写教材项目）经费资助

前言

天文学是一门古老的学科，也是极具趣味性的学科。自古以来，天文学一直在人类科学发展史上占有重要的地位。天文学的诞生可能比文字的产生还要早，辨别方向、狩猎耕耘、确定时间和季节，都离不开观察太阳、月亮和星星，找出它们的变化规律，并编制历法，代代相传。关于天文的研究，最早可追溯到中国的夏商周时期（公元前约 2070 年—前 256 年），可以找到当时细致的天象编年记录，其他各文明古国也有大量关于天文研究的记载。天文学是人类古老文明的重要标志之一，了解天文学知识是现代入应具备的基本文化素养，而天文领域的发展水平更是一个国家科技水平的标志之一。

天文学是与数学、物理学、化学、地学、生物学并立的基础学科。自 20 世纪以来，现代物理学和空间探测技术快速发展，为人类发现各类天体和天文现象提供了强有力的观测手段。如今，我们已经进入辉煌的太空时代：人类通过离开地球登上月球、造访小行星和追寻彗星等科研活动，积极探索宇宙深处的秘密。新发现和新进展频频报喜，使得天文学成为科学前沿最活跃的学科之一。

只是天文学知识晦涩难懂，不易普及，我们希望通过此书将有趣、深奥的天文学知识用生动的语言，深入浅出地呈现给读者，使人人都能读懂天文学、爱上天文学。

本书尽量避免晦涩、生僻的理论概念，内容通俗有趣，图文并茂，希望给读者带来良好的阅读体验。

本书在撰写过程中，引用了中国天文科普网等网站的图片，在此对相关制作者表示诚挚的谢意！

李莹

2018 年 6 月于暨南大学

目 录

前 言	1
专题一 宇宙的起源	1
一、大爆炸理论	1
二、婴儿宇宙	11
三、恒星的世界	12
专题二 星系与银河系	26
一、星系	26
二、银河系	35
三、太阳和太阳系	43
四、地球和月球	64
专题三 黑洞传奇	84
一、黑洞的数学模型与物理机制	84
二、黑洞的奇妙性质	86
三、黑洞的分类	89
四、宇宙深处的 γ 射线暴	99
五、引力透镜	103
六、黑洞奇点、白洞和虫洞	107

专题四 人类认识宇宙的历程 111

 一、古代天文学 111

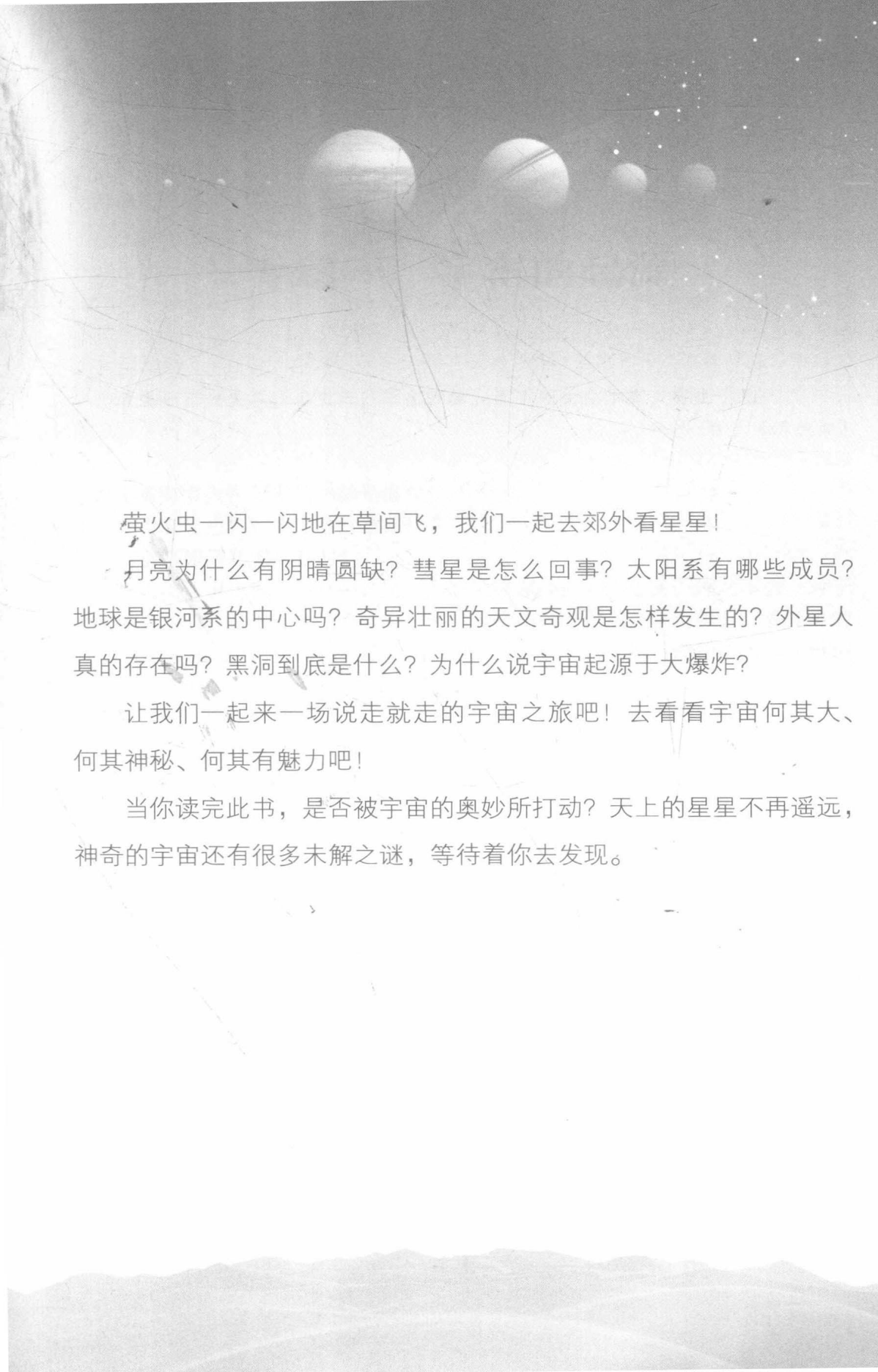
 二、航天事业的发展 125

 三、神舟飞天圆梦 147

 四、探索宇宙的眼睛——望远镜 155

 五、地外文明 162

参考文献 168



萤火虫一闪一闪地在草间飞，我们一起去郊外看星星！

月亮为什么有阴晴圆缺？彗星是怎么回事？太阳系有哪些成员？地球是银河系的中心吗？奇异壮丽的天文奇观是怎样发生的？外星人真的存在吗？黑洞到底是什么？为什么说宇宙起源于大爆炸？

让我们一起来一场说走就走的宇宙之旅吧！去看看宇宙何其大、何其神秘、何其有魅力吧！

当你读完此书，是否被宇宙的奥妙所打动？天上的星星不再遥远，神奇的宇宙还有很多未解之谜，等待着你去发现。



专题一 宇宙的起源

道生一，一生二，二生三，三生万物。天下万物生于有，有生于无。

——老子《道德经》

宇宙有多大？宇宙的年龄是多少？

宇宙有无边界？边界的外面是什么？

宇宙是如何从无到有的？

在人类认识宇宙的过程中，这些问题始终萦绕在人们心头，挥之不去。对于人类而言，回答宇宙起源这个问题仿佛是一个小矮人在和一头巨兽进行着无畏的搏斗，又像是堂吉珂德在自不量力地进攻风车。然而，人类不懈的努力是有价值的，因为他们始终在接近真理……

一、大爆炸理论

（一）早期的宇宙模型

1. 宇宙学与宇宙学原理

宇宙学是研究宇宙整体的性质、结构、运动和演化的学科。宇宙是物质世界的整体，宇宙学集中研究宇宙的主要特征和普遍性质，把宇宙这个复杂的对象化为比较简单的模型，加以比较、分析和研究。

在中国古代，关于宇宙的结构主要有三种学说：盖天说、浑天说和宣夜说。盖天说主张“天圆如张盖，地方如棋局”。浑天说认为天是蛋壳，地是蛋黄，天地是双层球形结构。宣夜说认为根本不存在有形质的天，日月星辰自然地漂浮在太空之中，天色苍苍是因为它“高远无极”。

在古希腊和古罗马，关于宇宙的构造和本源也有过许多学说，如泰勒斯（Thales）的水是宇宙万物本源说，毕达哥拉斯（Pythagoras）的宇宙最外层是永不熄灭

的天火说，菲洛劳斯（Philolaus）的宇宙中心火学说，亚里士多德（Aristotle）的多层水晶球说，托勒密（Ptolemaeus）的地球中心说等。虽然这些学说被教会利用来作为上帝创造人类的工具，但托勒密是第一个将有关宇宙的朴素的哲学思考上升为科学模型的人。教会尊崇地球中心说，使之占据正统地位，并与宗教、政治紧密地结合在一起，桎梏了科学的发展。直至文艺复兴时代，哥白尼（Kopernik）的太阳中心说才推翻了地球中心说这一错误观念。布鲁诺（Bruno）更进一步认为太阳也不是宇宙的中心，宇宙是无垠的，不存在任何中心。牛顿（Newton）最早用古典力学方法和欧几里得（Euclid）几何观念建立了绝对的无限的时空宇宙体系。康德（Kant）和拉普拉斯（Laplace）论证了太阳系行星起源的问题，率先从科学的角度动摇了恩格斯（Engels）的“自然界在实践上没有任何历史”的观念。

哈勃望远镜的观测发现宇宙在膨胀、在变化，从而否定了静态宇宙的理论。这是现代宇宙学的开端。

现代宇宙学的奠基人之一爱因斯坦（Einstein）早期给出了有关宇宙学的爱因斯坦场方程，但它是基于静态宇宙思想的。

现代宇宙学是建立在观测宇宙（观测所及的宇宙部分）和宇宙学原理的基础上的。前者侧重于通过实际观测发现大尺度的宇宙特征；后者侧重于理论上研究宇宙的运动、结构和演化机制，进而建立宇宙模型。宇宙模型主要包括三方面的问题：大尺度上天体系统的运动形态、结构特征和演化方式。

2. 牛顿的无限宇宙模型

宇宙学模型是研究宇宙学的基本框架。最早的宇宙学模型是牛顿的无限宇宙模型。牛顿是最早用科学方法研究宇宙学问题的科学家之一，他建立了包括万有引力在内的完整的力学体系。在牛顿力学体系中，当物质分布在有限空间内时是不可能稳定的。因为物质在万有引力作用下将聚集于空间的中心，形成一个巨大的物质球，而宇宙在引力作用下塌缩时是不能保持静止的。因此，牛顿提出宇宙必须是无限的，没有空间边界的。牛顿在《自然哲学的数学原理》中写道：“绝对空间，就其本性来说，与任何外在的情况无关，始终保持着相似和不变。”牛顿的绝对空间是一个与物质无关的存放物质的容器，它在上下、左右、前后各个方向都是无限延伸的，在这个无限空间里到处都有天体分布。即使所有物质都没有了，空间依然存在。在同一著作中，牛顿还写道：“绝对的、真实的、数学的时间，由于它自身的本性，与任何外界事物无关地、均匀地流逝。”他认为时间是所有事物共同依存而不受任何事物牵连的绝对存在，它无始无终。即使所有物质发展的过程都结束了，时间依然不断地流逝。绝对空间是静止不动的，绝对时间是永远流逝的。空间和时间都永无止境，不存在起源的问题。这就是牛顿静态

宇宙模型的精髓。

在牛顿的宇宙空间中均匀地分布着无限多的天体，相互以万有引力联系。这不仅是牛顿的宇宙图景，也为大多数人所接受。但它不是正确的，而且牛顿的无限宇宙模型与牛顿万有引力定律是相互矛盾的。

德国医生、业余天文爱好者奥伯斯（Olbers）在1823年提出了一个十分有趣的问题，那就是——夜间天空为什么是黑色的？他列举的理由是：如果宇宙是无限的，那么天空将均匀地布满恒星。这样的话，恒星的分布是均匀的，那么任意视线方向上都会有一颗恒星，夜空应该是亮的。他的基本观点是：宇宙是永恒的、稳定而有限的。这就是历史上有名的有关宇宙结构和起源的“奥伯斯佯谬”。

另一个例子是诺曼·西里格谬论（又称为引力谬论）。1985年，西里格（Kiosk）指出，当我们考虑宇宙中全部物质对空间中任一质点的引力作用时，假如认为宇宙是无限的，其中天体均匀分布在宇宙中，那么在空间每一点上都会受到无限大引力的撕拉，这显然不符合在我们生活的宇宙中仅受有限引力作用的事实。

这样看来，牛顿无限宇宙模型的矛盾主要表现在无限宇宙与万有引力的冲突上。要解决这个矛盾，要么修改宇宙无限的概念，要么修改万有引力定律，或者两者都要修改。现代宇宙学正是在对以上两个方面的不断“修改”中成熟起来的。

3. 爱因斯坦的静态宇宙模型

1916年，爱因斯坦在刚建立广义相对论不久，就转向了宇宙学的研究。这是因为宇宙是可以充分发挥广义相对论作用的唯一的强引力场系统。1917年，他发表了第一篇宇宙学论文《根据广义相对论对宇宙学所作的考查》。在这篇论文中，爱因斯坦从分析牛顿无限宇宙的内在矛盾及不自洽出发，提出了一个有限无边界的静态宇宙模型。在这个宇宙模型里，现实的三维空间是一个无界空间，无论向哪个方向运动都永远走不到尽头，也不可能遇到边界。宇宙中所有各处都具有同等地位，处处都是中心，又处处都不是中心，或者说宇宙没有中心。但是，由于宇宙中到处充满着物质，存在引力场，根据相对论提出的宇宙模型，宇宙的三维空间是弯曲的。一个有曲率的三维空间只能是有限空间，因而宇宙是有限的。

为了帮助人们理解这个有限无界宇宙，爱因斯坦本人曾举了一个生动的例子：在一个球的表面上有一只充分压扁的虫子，它是二维的，身体没有任何厚度（图1-1）。这只虫子可能有足够的理智，会写书，能研究二维世界的物理学，但它所处的宇宙是一个二维空间的宇宙。凭它的直觉和想象，不可能理解第三维。它在整个球面上，可以向前、向后、向左、向右爬行，永远都不会有边界，

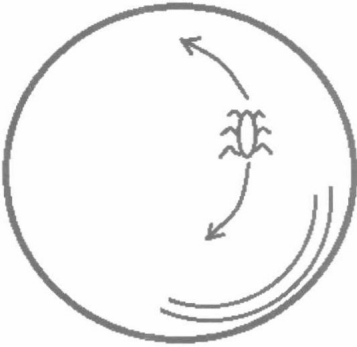


图 1-1 二维有限无界宇宙模型

也找不到哪里是宇宙的中心。但是它所处的宇宙显然是一个弯曲的二维宇宙，从三维上看，它当然是有限的，被限制在三维空间里一个稳定的球面上。爱因斯坦写道：“人就如同这只不幸的虫子一样，处在这样的情况中，只有一点区别，那就是人是三维的。在数学上，人能想象第四维。对于他说来，第四维只在数学上存在着，他的理智不能理解第四维。”

爱因斯坦将宇宙学原理与广义相对论结合起来，提出了有限无界宇宙模型。当然，宇宙究竟有限还是无限，至今尚无定论。爱因斯坦的贡献不在于论述宇宙有限还是无限，而在于为宇宙学的研究奠定了现代科学方法的基础。

爱因斯坦的宇宙模型有一个严重的缺点，那就是它的不稳定性。这个宇宙模型是静态的，它的几何性质不随时间而改变。假如某一时刻宇宙受到一个微小的扰动，比如某种原因使宇宙略微变小了一点，宇宙中所有物体之间的距离都将略微缩短，从而引力增强，又促使进一步收缩，并将一直收缩下去，因而这个宇宙是不稳定的。爱因斯坦为了得到一个稳定的静态宇宙模型，在引力场方程中加入了一个常数项叫作宇宙常数项，来表现一种斥力，以抗衡引力，起到了“负”物质的作用。

（二）现代宇宙模型（大爆炸宇宙学）

科学发展本身就是对未知世界的不断探索。现代宇宙学的发展经历了一个极有趣的历程，从神学和玄学独占的“宇宙创生”观，到科学的宇宙观以及近代科学的严谨理论。宇宙学就是要回答与宇宙起源直接相关的问题——宇宙膨胀是如何开始的。

20 世纪 40 年代，伽莫夫（Gamow）把勒梅特（Le maitre）用物理原因来说明宇宙创生的思想向前大大推进了一步，他把化学元素的形成同宇宙初始的膨胀联系起来，使宇宙的起源问题有可能运用核物理理论来加以解释，从而把宇宙的起源变成一个具体的物理学问题。

1927 年，勒梅特提出“原初原子”爆炸，以此作为解释宇宙膨胀的物理原因。为了说明宇宙膨胀，勒梅特假定宇宙起源于原初的一次猛烈爆炸。这样，勒梅特就把原属形而上学的宇宙创生问题变成一个物理学的问题，并且说明了星系并不是由于什么神秘力量在推动它们分离，而是由于过去的某种物理爆炸被抛开的。但在 20 世纪 20 年代，这一思想一方面没有被重视，另一方面也缺少足够的

物理证明，从而一度遭到冷落。但这正是这一质朴的物理思想成为大爆炸宇宙学理论的直接渊源（图 1-2 和图 1-3）。

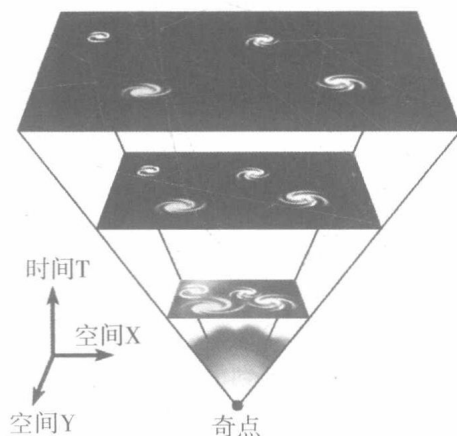


图 1-2 宇宙大爆炸示意图

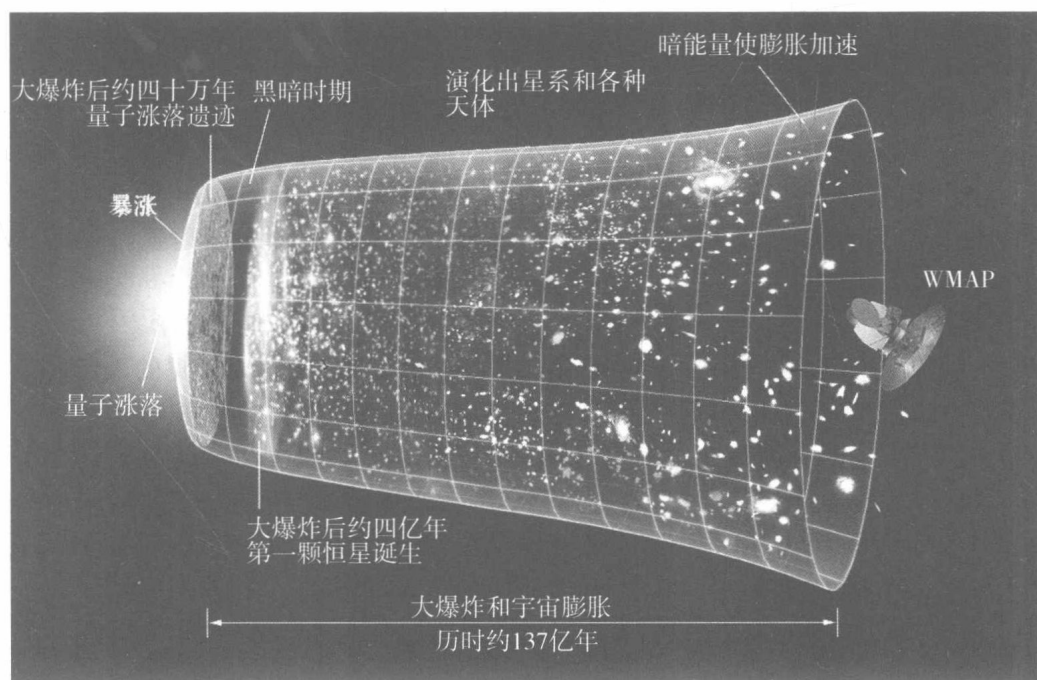


图 1-3 大爆炸宇宙学所描绘的宇宙膨胀的艺术构想图

根据大爆炸理论，宇宙是由一个极紧密、极炽热的奇点膨胀到现在的状态的。

通过对宇宙中的化学元素进行普查发现，许多质量差异很大的重元素，数量却几乎相同。例如铅的质量是铷的两倍，但宇宙中却具有同样数量的铅和铷。另外，观测发现，宇宙中存在最多的元素是氢和氦，而且在各类年龄大不相同的天体上，氦的丰度（丰度是指研究体系中被研究元素的相对含量，用重量百分比表示）差不多相等，约占全部元素的 30%。只有当温度在 107K（开尔文）以上，并且在伴有高压条件下，才有可能将四个氢原子核聚合起来，形成一个氦原子核，同时释放出大量能量。这就是通常所说的热核反应。在太阳和其他恒星内部，目前所进行的就是这类热核反应。但是，如果仅仅按这种方式来产生氦，宇宙天体中就不可能有今天观测到的这么多氦，而且在不同年龄的天体中氦的含量应该大不相同。伽莫夫确信今天所观测到的宇宙中化学元素的相对丰度值必定是由宇宙创生的历史所决定的。伽莫夫在美国碰到一位志趣相投的研究生阿尔弗（Alpher），他们的最后结论是，宇宙中现在的化学元素的丰度曲线是宇宙最初形成时的一次巨大爆炸的结果。

按照伽莫夫这个大爆炸理论，宇宙在开始时全部由中子组成，然后中子按照放射性衰变过程自发地转化为一个质子、一个电子和一个反中微子。宇宙由于大爆炸而膨胀，同时温度降低，当温度降到一定程度，重元素按中子俘获的快慢顺序由中子和质子生成。为了说明轻元素丰度的现代观测值，他们认为必须假设早期宇宙的光子与核粒子比值的数量级为十亿左右。根据对现在宇宙中的核粒子密度估计，他们预言早期炽热宇宙会给我们留下一个微波背景辐射遗迹，温度是 5K。

不过，他们的理论并没有被当时的大多数理论物理学家和天文学家所接受，当时的实测条件也不可能去搜寻背景辐射是否存在。一些持反对意见的人给伽莫夫的理论模型冠以一个含有讽刺意味的名字——“大爆炸”。伽莫夫等却欣然接受了这一名称，“大爆炸宇宙模型”从此有了特定的含义。20 年后，彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）测量到了宇宙微波背景辐射，加上核物理理论的深入发展，使大爆炸宇宙模型重新大放异彩，成为举世公认的“标准宇宙模型”，被载入科学发展的史册，使其他各种宇宙模型黯然失色而退出历史舞台。

将宇宙从奇点中显露出来的时刻定义为时间起点，大爆炸标准模型就能讲出从这一创造时刻之后 0.000 1 秒以来发生的全部故事。在那一刻，宇宙的温度是 10^{12} K，密度是核物质的密度 10^{14} g/cm³。

时间起点之后 0.01 秒，温度降至 10^{11} K 时，只有较轻的电子—正电子对仍

在蹦蹦跳跳与辐射相互作用，质子和中子则逃过了灾难。那时，中子和质子的数量相等，但随着时间的推移与高能电子和正电子的相互作用，使天平稳步朝有利于质子的一边倾斜。

时间起点之后 0.1 秒时，温度降到 3×10^{10} K，中子数与质子数的比降低到 38 : 62。

时间起点之后约 1/3 秒时，中微子除（可能的）引力影响外停止和普通物质相互作用而“解耦”。

当宇宙冷却到 10^{10} K，即时间起点之后 1.1 秒，它的密度降低到仅为水密度的 38 万倍，中微子已经解耦，天平进一步朝质子倾斜，中子数与质子数之比变为 24 : 76。

宇宙冷却到 3×10^9 K，即时间起点之后 13.8 秒时，开始形成由一个质子和一个中子组成的氘核，但它们很快被其他粒子碰撞而分裂。现在，只有 17% 的核子是中子。

时间起点后 3 分零 2 秒时，宇宙冷却到了 10^9 K，仅比今天的太阳中心热 70 倍。中子数占的比例降至 14%，但它们避免了完全退出舞台的命运而幸存下来，因为温度终于下降到了能让氘和氦形成，且不致被其他粒子碰撞而分裂的程度。

正是在时间起点后第 4 分钟这个值得纪念的时期，发生了伽莫夫及其同事在 1940 年概略描述的那些过程，将幸存的中子锁闭在氦核内。那时，转变成氦的核子总质量是中子质量的 2 倍，因为每个氦核含有两个质子和两个中子。到时间起点之后第 4 分钟时，这个过程完成了，只有不到 25% 的核物质转变成了氦，其余的则是独身的质子——氢核。

时间起点之后略晚于半个小时的时候，宇宙中的全部正电子已经同几乎全部电子湮灭了，产生了严格意义上的背景辐射——不过还是有与质子数相等的十亿分之一的电子保存了下来。这时温度降到了 3×10^8 K，密度只有水密度的 10%，但宇宙仍然太热，不能形成稳定的原子，因为每当一个核抓到一个电子，电子就会被背景辐射的高能光子打跑。

光子和电子之间的这种相互作用持续了 30 万年，直到宇宙冷却到 6 000 K，光子疲弱到再也无力将电子打跑。这时，背景辐射得以解耦，与物质不再有明显的相互作用。大爆炸到此结束，宇宙也膨胀得比较平缓，并在膨胀时冷却。由于引力试图将宇宙往回拉到一起，它的膨胀也越来越慢。

在时间起点之后 100 万年前后开始，恒星和星系得以形成，并在恒星内部把氢和氦加工成重元素，进而终于产生了太阳、地球和我们人类。

（三）大爆炸理论的证据

星系红移、宇宙微波背景辐射和宇宙年龄的测定，无疑成为大爆炸理论有力的观测证据。

1. 星系红移和哈勃定律

20 世纪 20 年代，天文学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble）研究了维斯托·梅尔文·斯里弗（Vesto Melvin Slipher）所作的观测。他注意到，远星系的颜色比近星系要稍红些。哈勃仔细测量了这种红化，并作了一张图（图1-4）。他发现这种现象是系统的，星系离我们越远就显得越红。

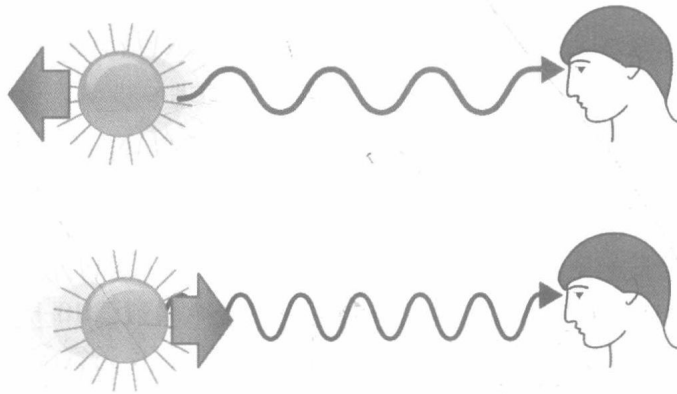


图 1-4 光源

光的颜色与它的波长有关。在白光光谱中蓝光位于短波端，红光位于长波端。遥远星系的红化意味着它们的光波波长已稍微变长了。在仔细测定许多星系光谱中特征谱线的位置后，哈勃证实了这个效应。他认为，光波变长是由于宇宙正在膨胀的结果。哈勃的这个重大发现奠定了现代宇宙学的基础。

哈勃通过观测发现了河外星系的退行现象，并总结出了反映宇宙的膨胀的哈勃定律。观测发现的退行现象则说明了宇宙没有中心。

2. 宇宙背景辐射

1964 年，美国贝尔电话公司年轻的工程师彭齐亚斯和威尔逊，在调试他们那巨大的喇叭形天线时，出乎意料地接收到一种无线电干扰噪声，其各个方向上的强度都一样，而且历时数月不变。他们把天线拆开重新安装，依然能接收到那种无法解释的噪声（图 1-5）。这种噪声的波长在微波波段，对应于有效温度为 3.5K 的黑体辐射出的电磁波。