

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

宇宙的结构



序 言

位于索诺兰沙漠中霍普金斯山上的望远镜虽不是世界上口径最大和最先进的,但在哈佛—施密松天体物理中心(Harvard—Smithsonian Center for Astrophysics,以下简称 CfA)工作的我的同事们,却用它对了解宇宙的性质和历史做出了重要的贡献。他们的工作为天文学家们了解宇宙的结构开辟了一条捷径。自从我们的祖先第一次仰观夜空以来,宇宙结构这一千古之谜一直困扰着人们。

赫克拉(John Huchra)是搜寻星系的杰出天文学家之一。赫克拉观测到的大多数星系只不过是些小光斑,但他仍在设法求出这些星系之间的关系:将所观测到的每个星系画在一张图上,慢慢地就揭示出了在邻近我们的宇宙中可见物质分布的情况。

赫克拉和他的合作者盖勒女士(Margaret Geller)是不同性格的两个人,但他们合作得很好。赫克拉热衷于观测,而盖勒则在计划安排和数据分析方面见长。他们的工作对于了解宇宙大尺度结构有着本质上的影响。在盖勒未参加赫克拉的工作以前,所获得的一些星系在空间的分布图都未能提供可信的结果。盖勒建议用一种新的方式来绘制宇宙结构图——巡查一个几度宽但长度超过全天球 $1/4$ 的狭长天区。她相信这种巡天方式将能以最快的速度揭示出在近邻宇宙中星系分布的情况。

赫克拉和盖勒指定研究生拉普兰特(Valerie deLapparent)绘制每个新观测结果,将此工作做为她博士论文的一部分。赫克拉主要致力于完成观测任务,但盖勒为什么对赫克拉收集到的数据没有足够的兴趣亲自处理呢?

据我所知,情况是这样的:前苏联科学家泽多维奇(И. В. Зельдович)曾提出过一幅星系形成的画卷:物质首先坍缩成一个巨大的“薄饼”,然后薄饼碎裂成我们今天观测到的星系。所观测到的星系在空间分布的情形应当提供那些原始薄饼存在的证据。但盖勒的导师、普林斯顿大学的皮伯斯(Jim Peebles)则提出另一幅图像:星系首先形成,然后集聚成为较大的集团。盖勒对于星系的统计研究使她相信导师的学说是正确的。她认为 CfA 巡天的结果一定会用证明宇宙确实没有大尺度结构来“炸毁”巨大薄饼学说的“气泡”。因此,从赫克拉经常拜访霍普金斯山的6个月内所收集到的数据中看到 CfA 巡天所揭示出的宇宙结构的第一个人是拉普兰特而不是盖勒。当拉普兰特向赫克拉报告所得结果时,赫克拉回忆起他当时的第一个反应就是惊疑地认为他和他的同事们所做错了。

CfA 巡天发现了较暗淡的其中有些是更远的星系(因为显得暗淡的星系不是星系本身不太明亮就是它离我们较远)。由于所观测的星系局限在跨越天空的一个小狭长区域内,故这次巡天比以前的 CfA 巡天所得星系的数目要少一多半。但却得出了一个“炮弹壳”,这就是说,巡天结果显示

该狭长天区内存在着空洞，星系大都分布在这些巨洞的薄壳上。最大空洞的轮廓显得很清晰。无疑，这一观测事实与皮伯斯学说所预期的由于引力作用而产生的星系成团现象一致。

当拉普兰特、盖勒和赫克拉在 1986 年发表他们的发现时，“气泡结构”引起了一些轰动。早期研究已有过星系的分布形成大薄片和空洞的征兆，第二次 CfA 巡天无误地证实了这一宇宙结构。这些巨大气泡是如何产生的呢？关于宇宙的历史和命运，人们又能从中获得哪些启示呢？

在保罗·哈尔彭（Paul Halpern）写的这本情节动人且易读易懂的书中，宇宙的气泡结构只是现代天文学诸多发现中的一项。在他的引导下，你还将读到有关宇宙的许多发现，这些发现形成了我们对于宇宙的内涵、大小和历史的观念，还讨论了宇宙的最终命运问题。哈尔彭叙述的一些发现可和那些在 15 和 16 世纪航海家们发现有关地球的新知识相比拟。例如，宇宙的年龄、其诞生方式和最终命运，如同南、北美洲的大陆一样只能被发现一次。睿智的天文学家们今天正在描绘一幅宇宙（那是我们的家园）的引人入胜的画卷。我们确实生活在一个无与伦比的时期，可以预期，几百年后的子孙们在回顾我们这个时期时，一定会认为这是人类发展史上未曾有过的发现最多的年代。诸位读者，你们有幸获得关于宇宙结构的知识并有像哈尔彭这样一位好向导帮助大家了解各个激动人心的时期科学家们所做的工作。

布鲁斯·格雷戈里（Bruce Gregory）
哈佛—施密松天体物理中心

国际天文学联合会第 124 次讨论会于 1986 年 8 月下旬在北京举行。盖勒女士在这次会议上报告了他们的发现。

格雷戈里在此用了 canbediscoveredonlyonce 短句，意思是宇宙的诞生、年龄和最终命运等问题只能有一个答案。但根据现在观测资料，这些问题至今尚未研究清楚。

前 言

设想有一天，你一觉醒来发现自己躺在一条小船上，小船慢慢悠悠地游荡在一个海图上未标明的广阔海域。周围没有任何事物可以提供线索说明你是怎样或者是为了什么事来到这条船上的。你也猜想不出不知何故会独自一人待在船上而且已有很长时间了。

你巡视了船舱，发现许多有用的东西：一副双目望远镜，储存得相当多的食物和水，淡化海水的设备以及其他航海必需的物资。巡视了一会儿，你便拿起望远镜迈出船舱向甲板走去，开始探寻陆地的踪迹。

当你用望远镜巡视海洋时，起初看去是空旷无垠无任何特色的。但当调节望远镜的焦距后，在你周围便开始显露出一些结构的形迹。这里和那里，一块一块的礁石和珊瑚凸出于平静的蔚蓝色海面之上。这些海上奇景多姿多彩，有高而陡的悬崖，也有光滑仆伏的石头，它们的颜色从贝壳白到乌黑发亮的色调，应有尽有。

乍看起来，这些结构是杂乱无章地分布在整个水面上。但当你较细致地巡视海洋时，便会准确无误地注意到有秩序的明证。例如，一些珊瑚团块，组成了长长的起伏的暗礁。它们在大海里形成蜿蜒曲折的复杂结构。你也注意到了一些远方的岩石好像是小岛的边沿和腹地。这些暗礁和岛屿表现出来的景色代替了原先见到的大多是匀称单调的周围的风光。

当你进一步调节望远镜的焦距，延伸了仪器的视程并使其聚焦得更好时，你能看得更远并观察到早些时候遗漏掉的一些景物的特色。原先发现的暗礁的主体沿同一方向排列——由东向西而不是原来以为的由北向南。岛屿的分布也有特色，一簇一簇的岛屿形成错综复杂的群岛，散布在水面上，犹如项圈上的珍珠。

经过一个星期又一个星期不断地搜索，你观察到越来越多的结构的详情，记录了几千个孤立的岛屿、暗礁和许多邻接着的岛屿组成的岛链以及成串的岛链等等。周围的广阔海洋看来是一个比你起初想像的单调宽阔的水面远为复杂得多的场所。

最后，搜索达到极限，你没法看得更远了。但仍有许多未接触到的问题留待以后设法解决。例如，大海是不是一直往远方伸展，或者它是不是被陆地包围着？你周围错综复杂的景色是怎么产生的？为什么岛屿成群地在一起，而暗礁却主要沿同一方向排列？无疑，你会有充分的时间继续工作来发现以上这些谜的谜底。

我们的宇宙航船——地球，在广阔的空间海洋中滑翔得很快。现在，我们被拘束在这条船上，命定地乘坐着它在引力的弯曲河流中航行。茫茫宇宙中，我们非常之孤独，因为最近的邻居——金星和火星，在几百万公里以外。而最近的可能有生命的行星更远在几千亿公里之外。

但总有一天，人类会有能力跨越恒星之间巨大的距离。直到那时以前，

关于宇宙结构的信息主要来自对天空的扫描。这是很不容易做到的。但是，用望远镜和其他照相设备，经过一代又一代科学家们的努力，我们已了解了很多有关空间的性质。

人们对宇宙的看法在变化着。对于宇宙结构的知识随着观测仪器的改进越来越丰富。过去，曾经认为宇宙是不大的（相对而言）、静态的和可以理解的；现在，人们认为宇宙非常宽广、易变和在许多方面难以理解。这种转变如上所述是经过历代科学家们的不懈探索和反复思考才形成的。

受观测仪器不断改进的影响，在天文学的发展上，经历过三次主要的变革。第一次，以伽利略（Galileo Galilei）为首的一些学者，在 17 世纪否定了自古代以来认为地球是宇宙中心的宇宙观。伽利略将他早年自制的望远镜指向恒星及行星，把它们画出来并证明我们的世界只占据了空间的一小部分。18 及 19 世纪的天文学家们，在用望远镜巡视天空的基础上绘制出了众多恒星点缀着天空的详细天图，从而使人们坚信了伽利略的发现。

到 20 世纪初期，另一个里程碑式的变化发生了，这是由于在靠近洛杉矶的威尔逊山上安装了聚光本领更强的胡克（Hooker）望远镜而开始的。一些天文学家猜想宇宙中存在着由众多恒星集合起来的大得多的天体——星系。哈勃（Edwin Hubble）用胡克望远镜证实了这一猜想。我们所在的星系——银河系，只不过是众多星系中的一个。哈勃还发现宇宙中的大多数星系看起来正以较大速度互相分开。

后来，科学家们从哈勃的发现和其他观测事实得出结论：宇宙曾经聚集在空间的一个点上，在一次叫做大爆炸的“爆破”声中，宇宙从这一点向外膨胀。大多数天文学家认为这一爆发事件大约发生在 150 亿或 200 亿年前，这一宇宙年龄大于我们观测到的最老的星的年龄。

今天，在即将跨入 21 世纪的时候，天文学的第三次重大变革在酝酿中——一个前沿课题可能是要重新考虑大爆炸模型。现在的探空仪器规模之大、种类之多，与过去相比，不可同日而语。从安装在夏威夷岛莫纳克亚山顶的巨大的凯克（Keck）望远镜，到新的火箭发射的装置如哈勃空间望远镜（Hubble Space Telescope，以下简称 HST），探空气球，射电望远镜以及大群大群的其他新奇仪器。

这些记录光波的设备不断传来有关宇宙的使人惊奇、有时看上去互相矛盾的信息。1994 年，卡内基研究所（位于加利福尼亚州帕萨迪纳）的弗里德曼女士（Wendy Freedman）和她的同事们用 HST 测量宇宙的年龄。他们应用的技术包括测量地球到一群星系（叫做室女座星系团）的距离，然后用此数据估计目前宇宙膨胀的速率。再从此膨胀速率计算出从大爆炸开

光波，泛指全波段。从波长最长的无线电波（在天文学中常称为射电波），经过红外光、可见光、紫外光直到波长最短的 X 射线和 γ 射线。

始的时刻到今天经历了多长时间。使他们惊奇的是所得结果表明宇宙相当年轻，在 80 ~ 120 亿年之间，这比一些古老恒星的年龄要小。现在，一些研究人员正在争先恐后地发展能够解释这一矛盾的宇宙模型。年龄问题——需要协调的看似有矛盾的天文时间尺度问题——是现代宇宙学中一个有争议的前沿课题。

已被发现但尚需深入研究的问题还有很多：横跨天空的庞大结构——宇宙气泡、宇宙巨壁及巨洞；天空有一个区域，隐藏着一个叫做大吸引体的巨大天体系统，它吸引着该天区的众多星系向它奔去；星系中心的黑洞被记录在案；不清楚其确实内涵的大质量致密晕天体（MASSIVE Compact Halo Objects，简称 MACHOs）已初步在我们银河系的外围被探测到；科学家们估计的宇宙中星系的数目近来增长了 5 倍，从 100 亿个增加到 500 亿个。而且，宇宙的大部分是由探测不到的不发光的物质所组成，这个问题是前几年才搞清楚的。如果古人曾经知道宇宙中的大部分物质是看不见的，他们会说些什么呢？对此，我们只好猜测了。

诚然，从巴比伦的占星术到现代宇宙学，从星盘到哈勃空间望远镜，以及从古希腊的毕达哥拉斯（Pythagoras）到弗里德曼女士，所走过的道路是漫长而又曲折的。沿途有许多迂回、死胡同和众多歧路。因此，在讨论现代科学对宇宙本质的见解之前，让我们从宇宙历史的源头说起，并看看一开始我们的祖先是怎样描绘宇宙的。

第一章 行星和太阳系

行星的英文名称 Planet 源于古希腊语 Planetes，意思是“游荡者”。是哪位古人最先发现行星的，无从考证，而只能设想：在历史上的某个时期，观测者们鉴别出了与“固定不动的星星”的行为不一样的几颗星。他们注意到，当众多的恒星在夜空里日复一日地做着相同的运动时，这几颗星却沿着各自独立的轨道在群星之间游荡。因此，可以认为，正是首先注意到这一事实的不知名的人，才是行星的真正发现者。

诸如北斗七星，七颗星的位置，相对于星空背景来说，至少在几百年内是基本不变的。而像火星、木星这样的行星在天空中的相对位置则有所移动。如果你站在北半球的一处仰望天空，就会注意到在北斗七星的周围出现的总是相同的恒星伴侣，而火星和木星相对于周围恒星的位置以及两者相互间的位置则在不断地改变着，它们有时会挨得很近，而数月后又远离开来。

古代一些文化发展较早地区的人，认为行星的相对位置会影响到地球上发生的事件。他们认为通过认真地分析和破译行星的运动便可以预测诸如战争、火灾、水灾以及饥荒等灾难的发生。因此，古代的占星术家们总是对行星运动做认真的记录，并定期地把将要发生的大灾难向公众作出可怕的警告。当两颗或更多的行星相互靠近呈连接状时，这就被看做是特别强有力的预兆。排成一列的行星数越多，古人就认为这种罕见天象的预兆越是意味深长。

对于行星的运动最详尽的早期科学描述是公元前 6 世纪 ~ 前 4 世纪的古希腊人做出的。那时，古典派的希腊哲学家像毕达哥拉斯、柏拉图（Plato）和亚里士多德（Aristotle）将行星（以及太阳、月亮和恒星）想像为周期性地围绕地球运行的天体。毕达哥拉斯和柏拉图把这种有节律的运动归结为自然的数学法则，也可以用音乐中的音程和平面几何的图形来表示它们之间的和谐关系。亚里士多德则将天体运行看做是钟表般有形秩序的一部分，而且最初是由造物主推动的。在毕达哥拉斯和柏拉图的宇宙学中含有形而上学的成分，而亚里士多德的宇宙学基本上不包含这些成分，但他们的共同点在于都有一套以地球为中心的完整的同心圆轨道。

这些早期的以地球为中心的行星运动模型（地心说）是很不精确的。它们都假设各行星一直不变地在围绕着地球的圆轨道上运动。而实际上，

亚里士多德把宇宙分为 8 个天层。地球居于中心，依次为月亮、水星、金星、太阳、火星、木星、土星和恒星天，在恒星天之外还有一层“宗动天”。亚里士多德认为，一个物体需要另一个物体和它直接接触来推动它，就像钟表的齿轮一样。但宗动天的运动则是由不动的神来推动的。神一旦推动了宗动天，宗动天就把运动逐次传递到恒星、太阳、月亮和行星上去。

形而上学的特点是用孤立的、片面的、静止的观点去看问题。

行星在天空中的运动，看上去是经常在改变方向——向前，然后向后，接着又向前。这种运动方向的改变周期性地发生，是不可能用简单的圆轨道学说来解释的。

为了说明这种叫做逆行的现象，希腊学者阿波隆尼（Apollonius）在公元前 3 世纪提出了一种较复杂的行星模型。他认为行星在围着地球绕大圈子的同时，还沿着较小的叫做本轮的圆轨道在空间运行。把两种运行轨道结合起来考虑，就可以解释行星周期性的方向逆转的现象了。

古希腊人关于天文学的概念在欧洲和北非一直盛行了几个世纪，直到中世纪末期。这些思想被概括在公元 2 世纪由亚历山大学派的托勒密（Ptolemy）所著的《天文学大成》（Almagest）一书中。

该书综合了古典派的天文知识与他本人的一些创见。《天文学大成》被中世纪的学者们视为当时对天体运行的权威性著作：托勒密倡导行星运动的地心说模型，包括阿波隆尼的本轮学说以及额外的叫做偏心圆（行星轨道中心偏离地球的圆）和均衡点（本轮绕其运行的偏离中心的点）的几何概念。加上这些复杂的概念，托勒密便能做到精确地模拟行星的运动了。相对于复杂的行星运动的轨道，太阳、月亮及众多的恒星被认为只是在围绕地球的简单圆轨道上运行。

由于受托勒密思想的影响，在几百年的时间里，地球一直被认为是宇宙的物质中心，围绕着它运转的天体形成了一个复杂的阵列。这种认识一直持续到文艺复兴时代。从那时起，人们对宇宙的看法发生了一场伟大的变革，太阳取代了地球对星辰的统帅地位，我们居住的地球在宇宙中不再扮演重要

（上图）在哥白尼日心说模型中，太阳位于宇宙的中心。

（下图）德国天文学家开普勒（1571—1630）在思考他的行星运动定律。

对伽利略的审判

伽利略在 1632 年出版的天文著作《关于两大世界体系的对话》，从人们心中逐出了地球是宇宙中心的虚假概念。但对意大利教会的权威来说，此书则是一个挑战性的异端文件。他们在 1616 年发给伽利略的一纸轻蔑的命令中就已强调了禁止他讨论哥白尼的见解。因此，对于伽利略不服从此布告的行径，教会提出控告，并在 1633 年开庭审判。

不少历史学家认为如果伽利略在书中不公开地蔑视那些支持地心说的人，他是会被宽恕的。不幸的是，伽利略在《对话》中将反对日心说的人描绘为“智力的矮人”、“吓呆的白痴”以及“不应该称他们为人”等等。自然，这些讽刺的语汇使教会更为愤怒了。

在审判庭上，惶恐而又患病的伽利略说他写的书是驳斥而不是支持哥白尼。审判庭不相信伽利略的辩解，因为说明他有罪的证据无所不在。最后，伽利略被迫承认，允许他的书的

的角色了。

倡导日心说（以太阳为中心）宇宙学的第一人是 16 世纪的波兰天文学家哥白尼（Nicholas Copernicus）。哥白尼为复杂的托勒密学说与柏拉图简单的圆轨道学说之间的矛盾所困惑，当他了解到不太知名的古希腊哲学家阿利斯塔克在公元

被一些读者解释为支持哥白尼的日心说，并对这一“失察”表示道歉，还说要修改其内容。

面对谦恭的伽利略，审问只好到此为止，给了他较轻的判决——遭受终身监禁——在家中度过他一生最后的几年。这期间对于宇宙，他再没有发表片言只字。1992 年，伽利略死后的 350 年，真理终于战胜了邪恶，梵蒂冈教皇约翰·保罗二世（John Paul II）终于代表罗马教廷为伽利略公开平反昭雪。

前 3 世纪曾提出过地球绕太阳转动的学说时，受到很大启发。

经过多年认真的计算和思考，1543 年，哥白尼发表了他的最重要的著作《天体运行论》。这部在他弥留的时刻印好的专著中，哥白尼发展了关于地球以及当时已知的另五大行星水星、金星、火星、木星及土星围绕太阳沿圆轨道运行的理论。为了说明那些表现为“固定的”恒星的运动，他保留了托勒密的“恒星天”，一个远超出行星轨道的以太阳为中心的球壳，只有月亮绕地球转动。

哥白尼学说被教会看作是对神的亵渎。长期以来，教会早已把科学视为眼中钉。基督教的教义认为地球不仅是有形世界的唯一王国，也是代表精神世界的上帝的唯一宠儿，教会已坚定地在地心说，特别是与亚里士多德的宇宙观结下了不解的联盟。哥白尼把我们居住的地球与其他行星相提并论摆在同等地位上，这就意味着其他天体同样也是有形世界的一员，地球在整个宇宙中便不再占有特殊的地位了。这自然是教会所不能接受的。因此，哥白尼的著作被列为禁书。

作为对教会主张的挑战，意大利哲学家布鲁诺（Giordano Bruno）在 1584 年出版了他的著作《论无限、宇宙及世界》一书，表示赞成哥白尼的宇宙学说。并且，比哥白尼更进一步，他认为，不仅太阳周围存在一个行星系，每颗恒星周围也都有一个行星系。他还写道，宇宙中恒星、行星

的数目是无限多的。布鲁诺没有为他的假设提出确凿的证据，而是运用思辨式的对话形式来阐明他的观点。教会对他的思想的仇视更甚于哥白尼，终于在 1600 年将他烧死在罗马。

哥白尼和布鲁诺对宇宙的认识与其说是推理性的，倒不如说是经验性的，两位哲学家都没有为地球和诸行星绕太阳运转提供确凿的证据。建立他们的宇宙体系需要有观测例证，而且，为了对行星的轨道做出详尽的预测，也需要对行星的运行提出数学模型。再者，为了阐明行星运动规律与地球之间的联系，还需要有一整套新的物理定律。以上三项缺憾在 17 世纪分别被伽利略、开普勒（Johannes Kepler）和牛顿（Isaac Newton）巧妙地弥补了。

伽利略于 1564 年出生于意大利古城比萨。青年时代便以科学成就著称。还在比萨大学读书的时候，就有了一些重要的发现。例如，他认为一定长度的摆，不论摆动幅度的大小如何，摆动的周期是不变的。传说伽利略曾在比萨完成了一项简单的引力实验——两个不同重量的铁球，从比萨斜塔的塔顶同时被抛下，两球不分先后地同时坠落到地面。

1592 年，伽利略离开比萨大学到帕多瓦大学，被任命为数学教授。其后的 18 年是他一生中出成果最多的年代。在动力学和运动物体两方面的诸多创见，使他的声名大振。但他在天文学上的发现，则是对科学的最大的冲击。

用他自己制造的望远镜，伽利略绘制了所观测到的一些天体的外貌和若干新发现，开辟了天文学的新时代。他发现了月亮上的山脉和绕木星运转的它的卫星。他辨明了几百颗恒星，记录了金星的具有和月相一样变化的外貌，画出了太阳黑子在日面移动的情况。并把所有发现汇集成《星空使者》一书，于 1610 年出版。

伽利略广泛的研究使他观测到了行星和月亮与地球一样有许多相似的特色，从而坚信这些天体彼此或多或少地处于同一地位——认为每个星球都确实是一个物质的世界。他还认为哥白尼的日心模型要比托勒密或亚里士多德的地心说能更好地说明这种“平等”状态。在 1632 年出版的专著《关于两大世界体系的对话》中，伽利略宣布了他对哥白尼观点的支持。当他在 1642 年逝世时，其专著论点的威力已开始说服了欧洲天文学界中的大多数人：地球绕太阳运行。

德国科学家开普勒是伽利略的忠实信徒，他公开宣称坚

存在第十颗行星吗

至今，还有人猜测太阳系里可能存在第十颗行星。围绕太阳的行星系统差不多可以肯定地说截止于冥王星。

虽然，在冥王星以外太阳系的边界以内还有无数个天体，但没有一个可称为真正的行星的。这些分布甚广的天体主要是彗

星、小行星及其他种类的残留物，它们的个头非常之小，其轨道也很古怪，很难被认为是行星。

对外太阳系，天文学家曾用照相方法做过多次巡查，但一直未出现过有第十颗行星存在的证据。1983年，红外天文卫星（IRAS）发射上天后，用红外光几乎完成了整个天空的扫描，但也未发现在此区域存在行星的迹象。如果确有尚未被发现的行星，它们不是非常之暗，就是非常之远，或两种情况兼而有之。

信哥白尼的宇宙观点，但不同于伽利略的是，开普勒从未动摇过他的信仰。

1571年，开普勒出生于德国南部的符腾堡的一个小镇，此地当时在神圣罗马帝国的统治之下。受过神学和数学训练的他，1601年幸运地继第谷（Tycho Brahe）在布拉格作为皇家的数学家，并获得了第谷生前几十年间积累起来的行星观测资料。这些资料是第谷用较精密的肉眼观测仪器取得的。

经年累月，开普勒整理、分析这些丰富的宝贵数据，寻求对哥白尼所描述的行星运动的证明，特别是设法证明火星的轨道是以太阳为中心的圆。工作越深入，越是找不到与第谷观测数据吻合的圆轨道，但却发现，火星的轨道能很好地符合一个叫做椭圆的几何图形。椭圆是一个接近于卵形的数学图形，但有精确的数学特征，该特征主要由在其内部的叫做焦点的两点所决定：椭圆上任何一点到两焦点的距离之和是一个定值。进一步研究时，开普勒发现每个当时已知的行星的轨道都可以用太阳位于一个焦点的椭圆来描述。这样，他就证明了太阳系中各天体的轨道都是椭圆（太阳位于这些椭圆的一个焦点），而不是形状相似的一系列的同心圆。

虽然开普勒以数学形式完满地叙说了行星是如何运动的，但他未能说明行星的运动为什么会是这个样子的。是大家公认的有史以来最伟大的科学家之一的牛顿回答了这后一问题。

牛顿在伽利略逝世的那一年出生于英国林肯郡的小镇乌尔斯索普的一个自耕农家庭。在他长长一生的科学生涯中，主要在英国剑桥大学当数学教授，在数学、物理学和天文学的领域完成了不少实质性的工作，有些是开创性的。最出名的是他的万有引力理论。传说他是注意到苹果从树上掉下来时才开始了对引力现象感兴趣的。经过思考，不久他就体会到地球把苹果吸引到地面上的力和地球吸引月亮以及太阳吸引地球都是同一性质的拉力。

牛顿把他的引力理论以及其他动力学的原理，写在《自然哲学的数学原理》一书内。在此书中，他证明行星绕日运行的椭圆轨道可以从一简单的数学方程式推导出来。该定律为：物体之间的吸引力反比于两者距离的平方。换句话说，两物体靠得越近，两者间的吸引力越强，强大的倍数与两者距离的平方成比例。将此万有引力定律和他在该书中叙述的运动定律

结合起来，并将这些原理应用于太阳对任何一个行星的作用，牛顿证明了行星必定运行在以太阳为一焦点的简单的椭圆轨道上。

牛顿定律使宇宙学旧貌换新颜。在牛顿以前，对宇宙学的研究被视为一项形而上学的冒险，不能在牢靠的数学原理基础上做出预见。早期的科学家们需要用信心和直觉去说明行星和恒星的运动。牛顿的宇宙学则反之，不需求助于神学，它视宇宙如一钟表装置，在这里各部件之间是通过精确的方程式联系在一起的。

牛顿时代以后，天文学家在太阳系内又发现了 3 颗行星：天王星、海王星和冥王星。与内太阳系的 6 颗行星一样，外行星也大体在椭圆轨道上运行。但科学家们现在知道行星的真实路径并不是精确的椭圆。按照万有引力定律，行星除被太阳吸引外，彼此间也互相吸引。因此，各行星运动的路径受到所有其他行星引力的影响。当行星互相接近时，相互间的引力最强，所以行星轨道显示有“摆动”现象。

这些摆动曾被用来预测尚未发现的行星。例如，在 1781 年英国天文学家威廉·赫歇耳(William Herschel)发现天王星后，法国的勒威耶(Urbain J. J. Leverrier)和英国的亚当斯(John Couch Adams)各自独立地注意到其轨道的不规则性。他们的计算促进了 1846 年伽勒(Johann Gottfried Galle)对海王星的发现。每当海王星接近天王星时，它作用于天王星一个强拉曳；而当海王星远离天王星时，对其吸引力便较弱。这样，由于海王星的影响，天王星绕太阳运行的路径就被轻微地扰乱了(天文学上叫做摄动)。

发现海王星后，由于它轨道的不规则性，许多人猜测它的外面可能还会有行星。经过多年有计划的系统搜索，直到 1930 年初，汤博(Clyde William Tombaugh)终于发现了冥王星。但由于冥王星的质量太小，对海王星的轨道不会引起足够大的摄动。因此，有人认为，这一发现不能看作是根据牛顿定律计算的功劳，而是偶然的巧合。

太阳系中，除九大行星外，还有许许多多其他天体。有的行星有卫星绕着它运行(总计超过 60 个，还有新的正在发现)。这些卫星小的直径不足 10 公里，也有大到数千公里的。九大行星中——木星、土星、天王星和海王星，各拥有较多的卫星；地球和冥王星各有一个卫星；火星有两个；水星和金星没有卫星。

四个最大的行星即木星、土星、天王星和海王星，还有由几十亿颗岩石和冰块组成的带状结构围绕着它们旋转，这就是光环。自从伽利略用望远镜观察天体以来，人们便知道土星有美丽的光环系统。其他三个大行星较暗淡的光环是 20 世纪后期才发现的。

在火星与木星轨道之间的广大天区内，有几千个叫做小行星的石质天体围绕着太阳运行。它们是众多星子(星子由岩石和冰块所组成)的遗骸。星子曾一度充斥在冥王星的轨道以内，除去在火星与木星间的小行星带区

域内，绝大多数星子经过无数次的互相碰撞，最终合并成为几个行星。因此，除少数“迷路”的星子外，在内太阳系区域是很少见到这些天体的。但在木星轨道附近的天区，木星的强大引力阻止了星子大规模碰撞、合并情况的发生，原初的岩石仍作为小行星形式被保存了下来。今天的小行星带可视为整个太阳系在未产生行星以前曾经存在过的形式的化石。

在小行星区域以外的太阳系的领空内，行星从未有过形成的机会。远在冥王星轨道之外的广大天区，那里太阳的引力最弱，温度极低，散布着几万亿个冰块。这一天区最靠近我们的部分叫做柯伊伯带，因 40 年前柯伊伯（Gerard Kuiper）的预见而得名，但直到 1995 年才由 HST 第一次绘制在天图上。这些分散的碎块含有由冰冻的化学物质组成的星子。偶尔这些冰块团中的一个越出了它们的轨道，向太阳和内行星区域猛冲，当它进入这一较温暖的空间中时，其中的一部分冻块蒸发了，形成了气态的尾巴，其结果就是我们见到的壮观的天体——彗星。

虽然太阳系这个小宇宙的情况人们已了解得不少，但仍有许多未解之谜：如冥王星的来源，它为什么是诸巨行星中的一个矮子？它为什么从不被其他行星中的任何一个引力所俘获？为什么土星的光环比其他大行星的光环要亮得多？地球的卫星——月亮是怎样形成的？地球上千姿百态形形色色的生命有可能来自太空吗？地球以外的任何一个行星有生命或至少有生命存在的征兆吗？科学家们希望将来的载人或不载人的宇宙飞船能有助于对我们的行星芳邻有更多的了解，解决上面提到的问题及其他重要问题。

第二章 恒星大观园

伽利略在观天时注意到，如果望远镜指向的是一颗行星，肉眼所见的点状会被放大成一圆盘。而当镜筒对准一恒星，通过望远镜对其凝视时，恒星依然是一个点。他明白这意味着恒星比行星远得多；要不然，恒星的表面就会在望远镜的放大之下比肉眼看得清晰。

伽利略的这一猜想直到 1838 年才被公认。那一年，德国天文学家贝塞尔（Friedrich Wilhelm Bessel）首次（除太阳外）测得一颗恒星的距离。用一种所谓视差的方法，他测定了靠近地球的双星系统天鹅座 61 号星的距离。

视差是一种比较容易理解的距离测量技术。你可以自己来体验一下：举起你的一个手指放在鼻子前面几厘米处，睁一只眼、闭另一只眼来观察手指的位置。注意，当你睁开闭着的眼睛、闭上原来睁着的眼睛再来观察这个手指时，就会发现手指在你面前移动了一点位置。这一视运动就叫做视差。它之所以发生，是因为观察的角度改变了的缘故。

我们立刻可以明白视差如何能用于测量较远物体的距离。将上述你的同一个手指头放在你面前 30 厘米处，然后，和上面说的一样，迅速交替地睁一只眼闭另一只眼，你将发现由于视差而发生的手指的位移大大地减少了。这就是说，当被观测物体与观测者的距离增加时，由视差而产生的位移也成比例地减少。

此原理也能应用于天体距离的测定。首先，计算出在一广阔的距离范围内可能有多大的视差。然后，从两个不同的有利位置观测所求距离的天体，测出所发生的实际位移。最后，用此位移值来估算出到所测天体的距离。

当贝塞尔决定测量天鹅座 61 号星的距离时，他选择了两个相距足够远的观测点，以便能获得可觉察到的视差。这两个点是地球绕太阳运动相差半年的位置。从夏季到冬季，地球在空间走过几亿公里，这一位置的移动对于许多近邻天体来说产生了一个视差效应。

贝塞尔将他的望远镜指向天鹅座 61 号星，并求出半年间该星在天空的角位置移动了约 $1/5000$ 度。用这一视差值，贝塞尔计算出天鹅座 61 号星的距离约为 94.6 万亿公里。

在现代天文学中，天体距离的单位一般用光年，不用公里。1 光年是光在一年间传播的距离，约为 9.46 万亿公里。因此，天鹅座 61 号星距离我们约为 10 光年。

最靠近地球的恒星，除太阳外，不是天鹅座 61 号星，而是半人马座近邻星。它是一个暗红色的天体，距离我们仅 4 光年。虽然，与其他恒星相

比，它离我们较近，但仍比我们到太阳系内最远天体的距离要大 1000 多倍。若以足球场的大小比做地球到半人马座近邻星的距离，则地球到冥王星的距离将是一根火柴棍的长度。

乘坐现代宇宙飞船航行，从地球到半人马座近邻星约需百万年。显然，这对于今天的宇航员来说所需时间太长太长，根本不可能实现。但将来的宇宙飞船的速度会比现在的快得多，经过飞船上众多家庭几代人连续不断地接力赛，星际航行有可能成为现实。

从贝塞尔至今，上百万颗恒星的距离已被测定并记录了下来，但其中绝大多数恒星的距离不是用视差法测出的。因为视差法被证明只适用于距离我们几百光年以内的恒星，更远的恒星必须用比较亮度的方法来测定其距离。

亮度比较法的原理如下：每颗恒星有一个绝对的（也叫做本身的）亮度，此亮度表示恒星真正的发光能力，即它发射出的光的总量。还有一个视亮度，此亮度表示从地球看恒星，它显得有多亮。正如照亮房间的电灯的有效性既与灯泡的瓦数有关，也与房间的大小有关，一颗星的视亮度既与其绝对亮度有关，也与它与观测者的距离有关。因此，如果知道了一颗星的这两种亮度，便能够计算出它的距离了。

恒星亮度与其温度关系的赫—罗图是鸟瞰恒星的一种方便的途径。注意，大多数恒星，包括太阳都落在从图中右下方到左上方的一条主星序带内

恒星的怪癖

大多数恒星位于一条温度与亮度联系密切的主星序带中，主星序星或多或少以一定的速率发光。但对于每一种规律总有例外，如红巨星，恒星中的巨人，燃烧得快，以快速的步伐经过它的庞大表面释放能量。白矮星则相反，发出白热的光，暗弱得像篝火发出的光的余烬，慢慢地冷却。

但还有更奇怪的星潜伏在天空。一类叫做造父变星的黄巨星，在体积和亮度上呈周期性地改变。它们有节律地胀大和缩小，像风箱一样地来回伸缩。收缩时，以爆发形式释放出能量。天文学家发现造父变星发射能量的速率完全决定于变星的绝对亮度。换句话说，造父变星的周期（一个容易测量的量）与其亮

星际飞船的形状将是一个扁平的圆盘，体积大到千公里数量级。之所以要做成扁圆形，是为了提供足够的面积以分布推进器、燃料以及生活区、工厂、商店等，和其他与生活设施有关的建筑，并在航行的正前方拥有尽可能大的表面积，以便增加与星际物质撞击的可能性，同时使撞击时减小受损坏的程度。

造父变星是一类高光度周期性变星。典型星为仙王座星，中文名为造父一，故得名。

度成正比。知道了天体的绝对亮度就等于知道了它离我们有多远。故造父变星是极好的距离指示天体。

一颗星的视亮度比较容易测定，用测光仪器测得其辐射的数据就行了，但求其绝对亮度却是一件较难办的事。显然，我们不可能马上旅行去一颗星，并测量它实际上有多少能量放出来。幸运的是，天文学家发现对于大多数恒星来说，其光亮与其温度之间存在着一个直接的关系。恒星的温度可直接测量，它们由星的颜色显示出来。例如，蓝色比橙色的热，橙色又比红色的热。在大多数情况下，人们能够利用这一性质去测定一颗星发射出多少光。以恒星的表面温度为横坐标，它们的绝对亮度为纵坐标作图，所得曲线叫做赫—罗（Hertzprung—Russell）图，或 H—R 图。在此图上，大多数恒星落在从图中右下方到左上方的一条叫做主星序的带内。沿主星序，恒星的表面越热，发射的光越强。这就是说，在主星序星中，蓝色的星比黄色的星发出较多的光，黄色星的本身亮度要比橙色星的本身亮度大，而橙色星又比红色星要亮。太阳是主星序星的一员。

如果被测恒星落在主星序内，则能立即估算出其距离。首先，用记录在一给定的时间间隔内有多少被测恒星的光到达地球来估计星的视亮度。然后，通过仔细地测定其颜色来测定其表面温度。通常是用光谱仪——一种能测量出一颗星在各个波长发射出的光的仪器。下一步，将所得此星的数据与 H—R 图中具有相同温度的主星序星比较，从而获得该星的绝对亮度。最后，比较该星的视亮度和其绝对亮度得到两者的比值。比值越小，恒星距地球越远。

不是所有的恒星都落在主星序带内。一些叫做红巨星的恒星，它们大而亮。虽然很亮，但其表面温度却很低，故显红色。另一些叫做白矮星的星，是小而暗的白色的热星。天文学家认为这两类星是值得注意的，它们曾经是主星序星，但现在已接近于其生命的末期。

恒星在它们生命的不同阶段，内部燃烧的炽烈程度不是恒定的，有强有弱。最后，所有的恒星都要走向毁灭，但在死亡

氢聚变为氦过程中的几个步骤：首先，两个质子（1）结合成氘核（2）；然后，氘核与质子（3）结合形成氦—3（4）（一个氦的同位素）；最后，氦—3 的核并合产生普通的氦。每一步骤都有能量释放出来

前往往发出惊人的光芒。

赫罗图（H—R diagram），恒星光谱型和光度的关系图，是丹麦天文学家赫茨普龙（Ejnar Hertzprung）和美国天文学家罗素（H. N. Russell）在 1905 ~ 1913 年间研究创制的。

本世纪 50 年代中期以前 科学家们相信恒星是以收缩的方式产生能量的。他们认为在恒星的体积越来越小的过程中，温度也越来越高，不断发射出光。但这不可能是恒星发光的主要机制。果真是这样，它们的寿命将很少超过百万年，但我们知道不少恒星已是几十亿岁的高龄老寿星了。

经过几位科学家的研究，现在我们知道恒星是由核聚变（由较轻元素建造较重元素的过程）提供能量的。能量是作为核聚变的副产品被释放出来的。这一排放到空间的能量就是我们见到的光。

聚变过程从两个氢原子的原子核碰撞并组合成一个叫氘核的粒子开始。氘核是氘（重氢）的原子核，由一个质子和一个不带电的中性粒子中子所组成。氘核立即与另一质子结合成为氦。氦再依次进行聚合形成更重的元素，如碳。在一颗典型的恒星中，原子核逐级合并直到形成可观数量的许多重元素。

太阳中微子之谜

导致恒星发光的核聚变反应的结果之一，是产生出叫做中微子的亚原子粒子。例如，太阳当其核心的氢聚变为氦时，就产生出中微子。因此，证明在太阳内部存在核聚变反应的途径之一，便是计数所释放出来的中微子数。

中微子是“声名狼藉的狡猾的动物”，捕捉中微子非常之困难。它们极少与其他粒子发生作用。要停止一个中微子的运动需要厚达 1 光年的铅。但人们坚持要弄清它们的性质，想方设法来捕捉这些幽灵般的粒子。20 年来，在美国南达科他州霍姆斯塔克废矿井深处安置了一个大桶，里面储存着 38 万升全氯乙烯（ C_2Cl_4 ）的纯净液体来进行探测中微子的实验。该实验的原理是：从太阳释放出来的为数众多的中微子，其中的一些必然要与其他物质起作用。

当太阳中微子射入上述液体后，将其中的一些氯转变为放射性的氚。科学家们可以从记录到的氚的数量推断出太阳发射了多少中微子。然后，将这个数目与理论预期值比较。

但事实是，太阳核聚变模型所预期的中微子数比实际探测到的要多得多，被探测到的太阳中微子大约只有所企盼的 1/4。长期以来，假定中微子的质量为零——因此，它不能衰变为其他粒子——研究人员难以解释上述矛盾。

然而，近来美国洛斯·阿拉莫斯实验室的一物理小组的实验，测定出中微子有一个小而非零的质量。如果确实的话，则这一发现将能解释上述理论值与实测的中微子计数之间的矛盾：太阳内部产生的中微子中，有一些在到达探测器以前便衰变了。一个长时间的谜团看来有可能被解开。

在此，我们必须区分一下两种不同类型的恒星：星族Ⅰ星和星族Ⅱ星。这两类星是按它们的相对年龄来区分的。后者比前者要老得多。也可以从它们所在天区的位置来区分。我们银河系的外形像一个飞碟——一个平坦的盘围绕着中心核球，星族Ⅰ星主要分布在银盘内，星族Ⅱ星大多位于星系的中心核球和包围着此核球的银晕中。

说到星族Ⅱ的星，要回溯到宇宙的早期阶段。当宇宙充满着氢和氦的气体时，这类星就已出现了，它们的体内几乎不含重元素。它们辐射出来的能量来源于氢和氦等轻原子核的聚变反应。到聚变物质耗尽时，这些星就不再发光了。

星族Ⅱ的星死亡时，它们的物质散布到空间。这些尘埃的一部分最终合并到新形成的星族Ⅰ星中。宇宙中的物质就是这样死而复生地往复循环着。

虽然星族Ⅱ星中的大部分物质是氢和氦，但它们也含有重元素（比氦重的元素），约占其质量的1~2%。这些较重物质是从恒星收集来的较轻元素聚变产生的。太阳是星族Ⅰ的一员，它体内就含有曾经属于前一代恒星的物质。

太阳将如何度过其晚年呢？现代天文学的研究认为，几十亿年后，我们的母亲星将比现在燃烧得更猛烈，也亮得多。这将消耗它越来越多的核燃料，直到剩下不多原有的氢。然后，在未来的某一时刻，太阳核心的一切核反应都将停止。

一旦太阳进入其“后原子核”时期，它将实际上分为内、外两个不同的区域。这两个区域由下列情况来区分，不再有较多的氢燃料遗留在内区，但还有少量的氢遗留在外区。很快，内区的核火不再燃烧，在其自身重量的影响下坍缩，最后收缩为一个小而热的、致密而暗淡的核。外区的命运则相反，成为一个物质松散地联系在一起的气体球。内部区域收缩时产生的激波将向外越过死亡中的星球，将太阳的外层物质向外推，越推越远。外包层迅速膨胀，在短时间里胀大几百倍，与此同时冷却下来，温度下降几千开。

最后，太阳将成为一颗冷而亮的红巨星，其体积将扩大到占有地球绕日轨道以内的整个空间。它发出的辉光在几千光年以外都能目睹。这一状态将维持几百万年，在此期间逐渐将其外围的物质抛洒到空间。

等到太阳外层的气体一点也不剩的时候，剩下的只是炽热的白色的核，太阳乃成为一颗白矮星。核将收缩，发射完了它仅存的能量后，寿终正寝。

第三章 迷人的脉冲星

质量稍小于太阳的恒星与太阳有相同的命运。它们的一生经历着与太阳相同的阶段（经历时间的长短与恒星的重量有关），最终都将成为白矮星，并逐渐暗淡到看不见。

较大质量的恒星经历着戏剧性的演化过程，最终成为强力的超新星爆发。在爆发后的一定时间里，它所发出的光比它所在星系内其余恒星发出的光的总和还要多。

1987 年，我们观测到了一次事先未预料到的宇宙焰火的场面——一个现代的超新星爆发。看到其闪光的第一个人是在智利拉斯·康帕那斯天文台工作的技术人员杜哈尔德（Oscar Duhalde）。2 月 24 日凌晨他正喝咖啡时，注意到在天空一个叫做蜘蛛星云附近的一团气云特别地亮。直到清晨遇到同事——加拿大天文学家谢尔顿（Ian Shelton）以前，他并未太重视这件事。

那天早晨，作为多伦多大学在该天文台的常驻观测者的谢尔顿，正在对大麦哲伦云（我们银河系的一个卫星系）做常规巡视。他将照相底片安装在叫做天体照相机的广视场望远镜的终端进行照相，结果在冲洗出的底片上出现了一个巨大的亮点，按常规该亮点是完全不应该出现的。

谢尔顿惊呆了，不是照相仪器上有了瑕疵，就是在大麦哲

1987 年 2 月发生的超新星爆发，有时称为 Shelton—Duhalde—Jones 超新星，是全世界都能见到的一次灾难性事件

伦云的蜘蛛星云附近发生了新事件。他急忙走出户外，仰视黎明前的天空，一点没有错，猛然发现在大麦哲伦云所在天区的中央出现了一个前所未见的明亮的新星。

谢尔顿自信发现了一个重大天象，他走到杜哈尔德和其他同事们的工作场所，大家一致认为见到了一颗在 10 多万光年以外爆发的超新星。杜哈尔德和一位同事迅即向设在美国马萨诸塞州的天文电报中心局——一个天文发现的信息中心，发了电报。

就在智利小组记录到他们的发现短暂时刻以后，在新西兰的业余天文工作者琼斯（Albert Jones），独立地报告了他对该超新星的发现。因此，1987 年发生的这一天文事件有时被叫做 Shelton—Duhalde—Jones 超新星，但一般称之为超新星 1987A。

超新星爆发发生在一个质量极大的恒星（叫做超巨星）的一生中的最后阶段。1987A 超新星属 II 型超新星。在某些方面，这些超巨星相似于

普通的巨星，即两者都有被较冷气体包围着的激烈活动的致密核心。两者之间的区别，在于它们最后的演化途径。巨星中心的温度比足够点燃只产生少数几种重元素的核聚变反应的温度稍高一些。最终，反应过程停止，剩下一个白矮星。

相反，超巨星的核心要致密得多，因而温度也高得多，因此成为一个使较轻原子聚合和锻造出许多重元素的大熔炉。逐渐地，更多更复杂的物质被制造出来——从碳到镁到硅及硫，最终到铁。

一旦铁出现在核心，超巨星便达到其一系列演化过程的终点。铁元素不能自行集合形成更重的元素。因此，在缺乏更大聚变可能性的情况下，核心获得更多能量的途径只能来自简单的坍缩。在 0.1 秒内，核心缩小为不足 100 公里大小的球体。

灾难性的坍缩释放出非常巨大的能量，足以将核心以外星体的其余部分炸飞到数百万公里之外。由激波喷射出去的气体有时淀积为一个纤细的、色彩缤纷的叫做超新星遗迹的天体。蟹状星云就是这种遗迹的一个突出的例子。

无疑，超新星爆发是突然出现的。一眨眼之间，一颗超巨星——天空中最大的恒星之一——便完全解体了。原来的超

射线爆发

高能强烈的 射线爆发的来源是什么？这是二三十年来天文学中的一个未解之谜。这种爆发是 60 年代由美国军用卫星发现的，这些卫星是用于监测核试验的。这种 辐射流看上去来自天空各个方向——平均每天探测到一个爆发。1973 年起，美军将这些反常现象的信息解密，理论工作者立即忙于解开这一难解之谜：是什么天体产生如此经常而又强有力的爆发的呢？

不少研究工作者，包括以色列赫布鲁大学的皮兰（Tsvi Piran），都曾猜测 射线爆发是中子星相碰撞的产物。在皮兰提出的模型中，两中子星开始时是一个双星系统的成员，互绕着运行。最后，这一对中子星变得不稳定，两致密天体激烈地相撞，爆发出大量的粒子，呈现为高频 辐射的形式。另一些理论工作者则认为，当邻近恒星中的物质受中子星强大引力的吸引扑向中子星时产生爆发现象，同时产生洪水般的辐射。天文学家希望通过仔细观察被探测中子星附近的情况来检验这些假说。

巨星只剩下了一个致密的核心：一个超致密的被叫做中子星的天体，取此名称是因为它纯粹由中子所组成（质子和电子被挤压在一起了）。

中子星是通过它们发出的强烈辐射，一般是以射电波的形式，而被天

文学家们探测到的。第一颗中子星是在 1967 年由英国的贝尔女士（Jocelyn Bell）和休伊什（Anthony Hewish）发现的。

绕脉冲星运行的行星

90 年代初期，宾夕法尼亚州立大学的沃斯赞（Alex Wolszczan）和国立射电天文台的弗雷尔（Dale Frail）完成了有关脉冲星的一项发现。当他们用位于波多黎各的阿雷西博天文台的 305 米直径的射电望远镜进行巡天时，发现了一个完整的行星系统，脉冲星 PSR1257 + 12 有行星绕行的证据，该证据为：由于看不见的天体的引力拖曳，来自脉冲星的信号显示有畸变的现象。

这不仅是首次发现脉冲星有行星，也是在太阳系以外发现的第一个行星系统（绕普通恒星运行的行星现在已陆续被发现）。理论工作者认为这些行星是由中子星从毁灭了的伴星残骸中俘获的物质构成的。

当时他们注意到他们观测的一个星座中的发射源的射电波信号有规则地变化。开始，他们怀疑这些周期性的脉冲可能是外星人发来的信息，并惊奇地想到有可能是一个位于遥远行星上高度发达的外星人向地球发送问好的信号。

但很快证实了信号的真实来源：一个直径约为 10 公里的中子星。他们估算出此天体每 1.33 秒自转一周，足够快地产生所观测到的脉冲。因为它快速地产生有规则的脉冲信号，故被称为脉冲星。

今天，“中子星”和“脉冲星”两个名称，常被互换着使用。一般说来，前一个名称用于理论探讨，特别是关于其内部结构，而后一个名称常用于物理描述，特别是关于其旋转性质。

脉冲星为什么会旋转得如此之快呢？答案的依据是角动量守恒这一物理定律。角动量是物体的性质之一，它有赖于 3 个因素：物体的质量、伸展度和旋转的速度。它是自然界的一个恒量，这就是说，对于一个孤立的物体来说，其角动量是恒定的，既不能增加也不会减少。因此，假设一旋转着的物体保持着一个不变的质量，若它向外张开时则转得较慢，当它向里缩紧时则转得较快。同样的道理也适用冰上舞蹈者，当他们将两臂向身体靠紧时其转速将大大加快。

将角动量守恒定律应用于脉冲星，就能说明为什么它们会旋转得如此

PSR 是脉冲星英文名称 Pulsar 的缩写，一般以脉冲星所在天空位置的赤道坐标来命名。这两个脉冲星的赤经分别是 12 小时 57 分和 1 小时 08 分，赤纬分别是北纬 12 度和南纬 14 度 31 分。第一颗被发现的脉冲星被命名为 PSR1919 + 21。蟹状星云中心的脉冲星被命名为 PSR0531 + 21，它的自转周期为 0.0331 秒。

之快。当产生脉冲星的一颗恒星的核心部分缩小时，它必定要转得快上加快以保持总的角动量不变。因此，一个坍缩得极其紧密的脉冲星转得飞快也就不足为奇了。

在贝尔和休伊什的发现公布不久，人们便在蟹状星云中发现了一颗脉冲星。多年前，天文学家就已经认为蟹状星云是一颗超新星爆发后的遗迹，因此，在其中发现脉冲星的事实认可了他们的理论：中子星是在这种灾难性的爆发时产生的。

至今，在我们银河系内已观测到了几百颗脉冲星。无疑，还有很多脉冲星等待人们去发现。一些科学家，如丹麦阿尔胡斯大学的陶里斯(Thomas Tauris)，从理论上估计，银河系内尚有几十万颗脉冲星，由于它们太暗而不易被探测到。

基于此猜测，陶里斯本人在 1994 年用位于澳大利亚帕凯斯的射电望远镜发现了一颗被命名为 PSRJ0108—1431 的暗弱的脉冲星。该星位于鲸鱼座，距离我们仅 280 光年，每分钟旋转 74 次。此星被证明是已发现的许多脉冲星中最近、最暗的一个。

第四章 黑洞的兽穴

在美国许多村社总有那么一二位神秘人物，他们的情况人们知之甚少。这些人过着隐士般的生活，喜欢独居，希望别人不要过多地探询有关他们的事情。

宇宙中也有这样的隐居者。黑洞——天空中大多数大质量恒星的最终演化产物，一个超致密天体——就是宇宙中的神秘隐士。这些宇宙隐士被保护在秘密掩体内，有关它们的信息一点都透露不出来。

“黑洞”这个名词是普林斯顿大学的物理学家惠勒（John Wheeler）在1968年发表的一篇题为《我们的宇宙，已知的和未知的》的文章中首先提出来的。惠勒不愿意用“引力坍缩物体”这样的名词，希望创造一个较简洁、概括性好的词汇，他认为“黑洞”一词响亮，有号召力。

黑洞是在一特殊的大质量超巨星坍缩时产生的。黑洞产生的过程类似于中子星产生的过程：位于恒星中心的铁核在自身重量的作用下迅速地收缩，发生强力爆炸。在中子星情况下，当核心中所有的物质都变成中子时坍缩过程立即停止，被压缩成一个密实的星球。但在黑洞情况下，由于恒星核心的质量大到使坍缩过程无休止地进行下去，中子本身在挤压引力自身的吸引下被碾为粉末，剩下来的是一个密度高到难以想像的物质。

在如此密实的黑洞中隐匿着巨大的引力场，这种引力大到使任何东西，包括光，都不能从黑洞逃逸出去。这就是这种物体被称做“黑洞”的缘故。黑洞不让在其边界以内的任何事物被外界看见。

为了理解黑洞的动力学和理解它们是怎样使内部的所有事物逃不出其边界，我们需要讨论广义相对论。广义相对论是爱因斯坦（Albert Einstein）创建的成功引力学说，适用于行星、恒星，也适用于黑洞。爱因斯坦在1916年提出来的这一学说，说明空间和时间（合起来叫做时空）是怎样因大质量物体的存在而畸变了。

简言之，广义相对论说物质弯曲了空间，而空间的弯曲又反过来影响穿越空间的物体的运动（在科幻小说和影片中普遍使用的“空间翘曲”一词就是对此原理的表达）。

让我们看一看爱因斯坦的模型是怎样工作的。首先，考虑时间（空间的三维是长、宽和高）是现实世界中的第四维（难于在平常的三个方向之外再画出一个方向，但让我们尽力去想像）。其次，考虑时空是一张巨大的绷紧了的体操表演用的弹簧床的床面。

爱因斯坦的学说认为质量使时空弯曲。我们不妨在弹簧床的床面上放一块大石头来说明这一情景：石头的重量使得绷紧了的床面稍微下沉了一些，虽然弹簧床面基本上仍旧是平整的，但其中央稍有下凹。如果在弹簧床中央放置更多的石块，则将产生更大的效果，使床面下沉得更多。事实上，石头越多，弹簧床面弯曲得越厉害。

同样的道理，宇宙中的大质量物体将使宇宙结构受到畸变。正如 10 块石头比 1 块石头使弹簧床面弯曲得更厉害一样，质量比太阳大得多的天体比一个或小于一个太阳质量的天体使空间弯曲得厉害得多。

如果一个网球在一张完全绷紧了的平坦的弹簧床面上滚动，它将沿一直线路径前进。反之，如果将它送到绕经一个下凹的地方，则它将行经一弧形路径。同理，天体穿行于时空的平坦区域

作为时间隧道的黑洞

我们已看到：黑洞畸变了其附近的时空路径。按照爱因斯坦的格言，空间与时间是混杂的，因此，在这种物体附近，时间也是被弯曲了的。据此，一些研究工作者曾建议用黑洞作为时间机器。

确实，若一太空人在飞往黑洞以前在她的飞船上放一只大钟，则一个船外的观测者（例如，在飞船附近的空间站上）在太空人接近于坍缩星的周边时，将发觉该钟走得慢下来。旁观者也会感觉到她运动得越来越慢；从未感觉到她达到了黑洞视界的边缘。最后，她将被看上去在时间上冻结了——发愣了，像鹿被汽车前灯“照瞎”了双眼，一动不动了。

但从太空人看来，这些事件的发生完全是另一种情景。飞船上的钟正常地走着。这样，无法阻止她很快地钻进黑洞深渊里去。她还可能察觉不到她穿越视界的时刻，但她将从那一点起被黑洞粘住。

假定，当她下降时，仍能观察到她上面的空间区域，看飞船外面的景色，倒霉的旅行者将看到所有的事物随时间而加速。未来的历史在她眼前一闪而过。但这种时间旅行是毫无

（较少的重物质）时继续沿直线路径前进，而那些穿越弯曲区域（有较多重物质）的天体将沿弯曲的轨迹前进。

现在再来看看黑洞对于其周围时空区域的影响。设想在弹簧床面上放置一块质量非常之大的圆石头代表这一超密的黑洞，自然，这将大大地影响床面，不仅其表面要弯曲下陷，还

意义的，她不能与宇宙的其余部分相互沟通；取而代之的是她本人及飞船的毁灭（除非她能及时掉转船头）。总之，虽然一个太空人能在黑洞的视界附近经受一种形式的时间旅行，但终将是一个悲惨的——因而是毫无意义的——探险。

将断裂。类似的情形将在宇宙中出现，若宇宙中某处存在有黑洞，则该处

的宇宙结构将被撕裂。这种时空结构的破裂叫做时空的奇异性或奇点。

现在我们来看看为什么任何东西都不能从黑洞逃逸出去。正如一个滚过弹簧床面的网球，将掉进由大圆石头造成的洞那样，一个经过黑洞近旁空间的物体也将被其陡峭的引力陷阱所捕获。而且，在黑洞的情形，将需要无穷大的能量才能挽救运气不佳的物体。

你能向黑洞靠得多近而不被它永远地抓住呢？答案是相当近。被黑洞吸入不能再返回的那一点叫做黑洞的视界，它是距黑洞中心一定距离叫做史瓦西半径的一个球壳。此半径的长短只与黑洞的质量有关。例如，一个太阳质量的黑洞其史瓦西半径不到 3 公里，只要离开其中心 3 公里以外，就没有危险，从黑洞旁边走过去不会被它抓住。

一旦你进入了视界，便逃脱不了被黑洞擒获的命运——你将一直下落到时空奇点所在处——黑洞的中心，不过几分之一秒的一瞬间，你就会被那里无穷大的引力弄得粉身碎骨。

我们已经说过，没有任何进入黑洞的东西能再逃离它，但科学家们却认为黑洞会缓慢地释放其能量。这是怎么回事呢？著名的英国物理学家霍金（Stephen Hawking）在 1974 年证明黑洞有一个不为零的温度，比深空的温度要高一些。一切比其周围较温暖的物体都要释放出热量，黑洞也不例外。一个典型的黑洞将在几百万万亿（ 10^{18} ）年内蒸发光（释放出它全部的能量）。黑洞释放能量有个恰当的名称：霍金辐射。

“黑洞”这个词是公众最熟悉的天文名称之一。但并不能因此而认为对黑洞的存在已无争议了。在一个较长时间里，黑洞只被认为是一个假想的物体和数学的构思，被看成是比大学生聪明的练习题稍多一点的东西。

但近年来，有了在空间存在着黑洞越来越多的证据。这些证明不是直接的——黑洞终究是看不见的——而是通过物质落进黑洞的视界后发出的辐射间接得知的。用这种方法探测黑洞，就好像通过观察火焰的影子，发现在篝火中燃烧着的炭块一样。

天文学家们几年前就猜测位于室女座星系团内，距离我们约 5000 多万光年的星系 M87 的中心有巨大黑洞。1994 年夏天，HST 获得了该星系中心存在着超大质量黑洞的可靠证

据。空间望远镜上的广视场照相机摄取的照片表明在 M87 的中心附近有大量发光的气体以非常大的速度运动着。计算表明，具有这样大的运动速度的原因，是由于存在着一个被压缩在几千亿公里大小区域里的 20 亿倍太阳质量的致密物质。而如此巨大的物质密度强烈地表明 M87 的核心确实隐匿着一个超大质量黑洞。

许多理论工作者都认为银河系的中心也隐藏着一个超大质量黑洞，但至今还未像 M87 那样获得较确凿的证据。科学家们希望 HST 能帮助解决这

一迷人的问题。

第五章 星系的韵律

像 M87 那样的天体（前不久 HST 在其中发现存在大黑洞的证据），在距离地球几百万光年之外还有很多。它们远离我们银河系的周围，因而不是属于银河系的天体，完完全全是独立的星系。

有趣的是，只是在近代，天文学家才知道在银河系之外还存在着其他星系。过去的天文学家们对我们今天知道是星系的天体，他们认为是气体云，叫做星云。认为这些星云位于银河系的边界以内。通过望远镜可以看到这些朦朦胧胧、形态和大小各异的星云散布在整个天空。

直到本世纪 20 年代，年轻的天文学家哈勃测定出这些“星云”的距离时，才证明它们不可能是我们星系领域内的天体。在两次世界大战之间，哈勃利用威尔逊山上的胡克望远镜测定并绘制出许多这类星云在天空的位置。在计算它们距离我们多远时，哈勃应用了叫做造父变星的技术。

造父变星具有在天文测量领域内所希望的特性，它们的光输出量周期性地增减，其变化率与它们的绝对亮度有关。测量其光变周期，便可计算出一颗造父变星的绝对亮度。然后将它的绝对亮度与视亮度做比较便可得出它距离我们有多远。因此，在天文学上常称造父变星为“标准烛光”；它们的可预见的光输出量使得它们成为出色的距离指示器。

打个比喻，我们可以想像站在一条长通风回廊的一头，回廊里排列着许多闪烁的火把——每个火把发出同量的光。突然间，所有火把，除一个外，被一阵风刮灭了。将剩下的唯一火把的亮度与众火把的标准亮度相比较，便可计算出这个仍在燃烧的火把的距离。同理，天文学家用造父变星的亮度来测定它们的距离。

哈勃将造父变星方法应用到那时称做仙女座大星云的一个旋涡状天体。1924 年，他在该星云中发现了一打造父变星，并利用这些变星的光变特性测定它们的距离。其结果是，仙女座大星云距离我们约为 100 万光年，10 倍于我们银河系的直径。这样，哈勃就证明了仙女座大星云必定比过去所认为的远得多，从而也大得多。重新估算它的大小，哈勃计算出它具有星系般的尺寸。由于哈勃的工作，我们将仙女座大星云考虑为离我们最近的在大小和外形都和我们银河系一样的星系。

还有许多比仙女座大星云为小，但却距我们较近的小星系。长期以来，我们便相信有两个分别叫做大、小麦哲伦云的结构是最靠近银河系的“岛宇宙”。大麦哲伦云，两个中较近的一个，是一个小的不规则星系，距离我们约 17 万光年。它和小麦哲伦云都是我们的卫星系，由于引力作用被银河系束缚住，犹如狗被皮带缚住一样。

1994 年，剑桥大学的天文学家伊巴塔（Rodrigo Ibata）、欧文（Mike Irwin）和吉尔摩（Gerry Gilmore）用在澳大利亚的施密特望远镜发现了一个比麦哲伦云还要近的小星系。因其位于人马星座，故被称为人马座矮

星系，距银河系中心只有 5 万光年。由于它靠我们太近，正在向银河系下落并将在几亿年内被银河系吞食掉。

这一近邻星系为什么不能较早地被发现呢？由于此矮星系对太阳系而言位于我们银河系核球的另一侧，在核球中存在着大量的极大质量的恒星，它们隐藏在厚厚的星际尘埃和气体的迷雾内。因此，位于这一拥挤天区那一边的任何天体就很难被发现了。

为了分辨出这个新的小星系，科学家们在望远镜的终端安装了多通道光纤摄谱仪。该仪器可通过测量远方恒星光谱线的频率位移（频移属多普勒效应，在第六章中我们将讨论这个效应）来确定这些恒星的视向速度（离开地球远去的速度）。

剑桥小组用上述装置测定了银河系核球内 100 多万颗恒星的速度。在这些恒星中，一群约 100 颗星看来它们的运动是一致的。加之，这同一群星显得具有同样的基本组成，天文学家们从这些数据得出结论，认为它们不属于银河系，而是一个新的星系——人马座矮星系中的星。

我们已经提到过一些不同类型的星系：旋涡的、不规则的

银河系的形状

我们生活在银河系一个旋臂的外缘。因为天文学家不能超越这一有利地位并从太空俯视银河系，他们只能根据观测资料并凭工作经验从整体上猜测它的外貌。19 世纪的望远镜观测结果，使科学家们认定银河系的形状像一个车轮。

但 1995 年，这一长期以来认为是明白无误的事实经受了一次挑战——一种新的叫做微型引力透镜的分析方法被应用到绘制银河系。由美、英及澳大利亚的一些科学家们组成的一个小组，用此方法发现银河系的核心不是卵蛋形而是棒状的。

引力透镜效应的理论根据是广义相对论，物质的存在使空间发生了弯曲，从而影响着光线传播的路径。这样，大质量物体如同一个巨大的透镜，使来自远方天体的光线被弯折并聚焦形成远方天体被畸变了像。

和矮星系。前两类是就其形状而言，而第三类则是按其大小来说的。因此，可以有矮旋涡星系和矮不规则星系，也有巨旋涡星系和巨不规则星系。

旋涡星系的特征是一个厚中心核球被一个车轮状的盘包围着。它们含有各种年龄的恒星——年轻的星族 Ⅱ 恒星和年

来自大麦哲伦云的光线在其到达地球的途中被中介恒星（我们银河系内的恒星）所弯折，从而稍微改变了大麦哲伦云的形象。这一由一颗恒星所产生的微型引力透镜效应被研究小组用于

绘制我们银河系的形状。

老的星族 恒星。仙女星系（有时仍称其为仙女座大星云）是这类星系中个头较大的一个。

类星体

我们会认为，拥有几十亿颗恒星的星系是宇宙中最明亮、能量最大的天体。其实不然，在宇宙深处，存在着许多能量喷泉——与星系相比，个头很小——但它们释放出来的能量却几百倍于星系。这些致密的光源曾被认为是以射电波形式辐射能量的天体，被称为类星体：类似恒星的射电源之简称（这一名称有时会被误解，因为有一些类星体并不发射无线电信号）。

类星体是荷兰天文学家施密特（Maarten Schmidt）于 1963 年发现的。在威尔逊山天文台工作的施密特在对一特殊明亮、高度聚焦的叫做 3C273 的射电源进行观测。原来，这一天体被认为是银河系里的一颗恒星。施密特证明它必定远在银河系之外，并估算出其距离为 20 亿光年。证实其确是一遥远的天体后，他估计其绝对亮度为恒星的数亿倍。此后，陆续发现了几百个类星体。

不规则星系则相反，如大、小麦哲伦云，具有不规则的外形。在许多情况下，它们向各个方向伸展。要不然，就是由于近邻星系的引力拖曳使它们失去了规则的外形。大、小麦哲伦

现在，还不能确切知道这些强大烽火能量的来源。比较使人信服的理论是：类星体是正在形成中的年轻星系的亮致密核心。在此模型中，类星体的强爆发能量来源于星系核中心的超大质量黑洞吸积周围的物质。当气体落入黑洞时，过剩的引力能量辐射出去。这一机制能说明为什么这么小体积的能源能发出如此大量的光。

云确实是被银河系的引力撕裂成不规则的形状。

按星系的外形分类，还有椭圆星系和棒旋星系。椭圆星系是最普遍的一类星系，外形似绕其轴旋转的卵蛋——换句话说，似星系足球。因为它

参见许梅《利用微型引力透镜效应搜寻银河系中的暗物质》，《天文爱好者》杂志 1995 年第 6 期 7~9 页。

已发现 7000 多个类星体。

们储存的气体较少，不足以形成新的恒星，它们差不多只含有较老的星族恒星。大多数椭圆星系属矮星系，巨大的椭圆星系相对地较少。M87 是一个巨椭圆星系。

棒旋星系，是规则星系类型中为数最少的一类。它与正常旋涡星系的区别，在于其存在着一个连接旋臂的中心亮棒。怎会出现这么个棒？至今尚未完全弄清楚。

银河系被描绘为一个普通的旋涡星系。它曾被认为与仙女星系的外形极其相似，但近来不少迹象表明它可能是一个棒旋星系。

直到前不久，天文学家认为宇宙中大约有 100 亿个星系。但由于 HST 的发射，在 1996 年星系计数的结果，认为宇宙中的星系至少有 500 亿个。这一卓越的结果，是位于巴尔的摩的空间望远镜科学研究所的科研人员，用 HST 上的广视野照相机获得的。将北斗七星附近的一小长条天空放大，他们见到了以前从未见到过的几千个星系。从统计的角度考虑，这表明宇宙中存在着比过去所认为的多得多的星系。

星系在空间的分布是不均匀的，而有成团的倾向。例如，在银河系附近，有许多不同形状和大小的星系，它们由于引力吸引而被松散地联系着。这些包括仙女星系，大、小麦哲伦云，人马座矮星系和几十个其他星系，它们组成所谓的星系团。当这些成团的星系在空间运动时，它们倾向于一致地旅行，彼此间离得不太远。

宇宙中的大部分星系都是星系团的成员。以银河系和仙女星系为主体的星系团叫做本星系群。在天文学教科书中经常提到的星系团有室女座星系团（估计距离我们 5000 多万光年），有 1000 多个成员，和后发座星系团（估计距离我们 3~4.5 亿光年）。

星系和星系团是怎样形成的呢？它们是不是一直是我们现在所观测到的形状，或者它们是从更原始的实体演化而来的？要回答这些问题，需要考虑一下早期宇宙的情景。

宇宙学家相信，宇宙曾一度比现在小得多，也热得多。今日宇宙中千姿百态的细节正是从这个致密的熔炉里被美妙地锻造出来的。

第六章 时间的印记

当爱因斯坦的广义相对论使人信服地描绘了物质的存在与空间易弯性的关系后，他便积极地寻找试验其模型的途径并应用于实际问题。他认为，没有应用，理论只不过是一个数学练习题，而不是物理现实的真实体现。特别是他希望其模型能描绘整个宇宙的行为举止。为此目的，在 1917 年，他设计了一个广义相对论的宇宙蓝图，一个用数学方法来描述宇宙的特征是如何随时间而演变的，即宇宙演化的图像。

他第一次做出的一个可操作的宇宙模型自认为以失败而告终：将其广义相对论的方程式应用于空间的整体时，他沮丧地看到方程式的解是不稳定的。在模型中未预见的是，空间的距离不是保持恒定不变，而是有赖于环境随时间伸长或缩短。

爱因斯坦考虑，是不是做了件大错事，为什么宇宙中各点之间的距离会改变的呢？空间不应当自行胀大或缩小，好像是一块潮湿的羊毛毡子那样。看来，没有发生这种景象的物理理由。

为了改正他的“错误”，在方程式中额外增加了一个他称之为宇宙常数的项，用以稳定他的方程式，并保证宇宙中的距离不随时间而改变。增加这个宇宙常数项，对爱因斯坦来说多美学家绘制的“气泡宇宙”，显示宇宙的泡沫状或海绵状结构少有点儿权宜之计，但他想不出更好的办法来保护他所看到的空间自然静止的图像。

在爱因斯坦发展了他修正的模型（该模型被称为爱因斯坦宇宙）之后几年，当得知宇宙确实在膨胀的证据时，他很惊奇。本世纪 20 年代积累起来的观测数据表明宇宙不是完全保持恒定的，而是实实在在地在飞离。面对新观测事实，爱因斯坦极度后悔在自己的模型中加了一个宇宙常数项，称其为他一生中所犯的最大错误。

宇宙在膨胀的证据，来自天文学家哈勃和斯里弗（Vesto Melvin Slipher）分别对星系距离和速度的细致的测量。1924 年，哈勃用造父变星方法测出了一定数量的星系与银河系的距离。如前一章所述，此技术包括在一特定星系中选定造父变星，测量该星光爆发之间的间隔，再用此信息测定该星的绝对亮度，从其绝对亮度和视亮度测定出该星的距离，也就得出了该星所在宿主星系的距离。

在哈勃安排测量星系距离的同时，亚利桑那州洛韦尔天文台的斯里弗在分析星系的光谱，他得出了一个引人注目的发现。斯里弗原想通过光谱仪检查一些远方星系的光，观察它们的波长分布图样，以决定星系中存在哪些化学元素。每个化学元素，如氢、氦、锂等等，像人的指纹一样，明白无误地有各自可预见的一定波长的特征谱线。典型光谱的样式，应具有像雨过天晴时天空出现的彩虹那样清晰的色彩。但使斯里弗惊奇的是，所观察到的星系的光谱图样明显地向光谱的长波长（红）端移动了。换句话

说，在预见应看到橙光的位置，发现是红光；应是黄光的地方，却出现了橙光。

斯里弗立刻意识到他看到了多普勒效应的例子了。该效应是奥地利物理学家多普勒（Christian Doppler）在 1842 年发现的，是关于来自一运动着的光源的光的波长和频率移动的问题。多普勒注意到，从一离开观测者的光源发出的光，其波长倾向于向光谱的红端移动；而向着观测者运动的光源发

多普勒效应(图的中心)是由一运动的点状物体产生的波动(光波或声波)的视波长移动。物体远去时显示为红移，而逼近时为蓝移。离银河系(以及本星系群)越远的星系，光线向光谱红端的移动越大。

出的光，其波长向蓝端移动。其次，光源退行得越快，看起来越红；趋近得越快，显得更蓝。这类似于听众所熟悉的现象——警车的笛声——当警车逼近时其音调升高，离去时，音调降低。因为远方星系的光谱向红端移动，斯里弗得出结论这些星系在远离我们而去。

1929 年，哈勃把他的星系距离的数据和斯里弗获得的星系的光谱信息结合起来考虑时，他发现，星系离我们越远，来自它的辐射向光谱红端的多普勒移动越大。这就是说，我们向宇宙深处看得越远，那里的星系看上去飞离我们越快。这意味着星系的退行（离开我们）速度与星系的距离成正比，这便是大家公认的哈勃定律。退行速度与距离之间的比例被称为哈勃常数，该常数表示作为距离的函数星系退行得有多快。

哈勃假设银河系在宇宙中没有特殊地位。因此，由于所有的远方星系看上去都从银河系退行，他推测这些星系彼此间也一定是互相退行的，并得出结论：在大尺度上宇宙中的每一个星系离开每一个别的星系而去（但被束缚在星系团及更大的集团里的星系倾向于保持在一起）。

面对此强有力的星系相互分离的证据，天文学家得出的逻辑性的结论当然是宇宙在膨胀。空间在伸展，犹如一个胀大的橡皮气球。此外，假定这一膨胀不是近来才发生的现象——有许多理由使我们相信此现象已存在很长时间了——结论是空间曾经比现在要致密得多。

自然，对于星系退行现象也可以有另外的解释。1929 年，瑞士出生的美国天文学家兹威基（Fritz Zwicky）提出的“光子老化假说”认为，当光子在空间传播时会逐渐老化，其振动频率逐渐减慢。频率的减小显示为波长的红移。但因为对于辐射的老化是完全没有物理根据的，此假说被大多数学者所怀疑。另一个假说是宇宙的稳恒态学说，同样地由于缺乏坚实的观测证据被大多数天文学家所摒弃。

空间向所有方向膨胀，就像气球被吹进气去胀大一样

宇宙的稳恒态模型

1948年，英国天文学家霍伊尔(Fred Hoyle)、戈尔德(Thomas Gold)和邦迪(Hermann Bondi)三人提出了稳恒态宇宙模型，以作为对从一点膨胀的学说的另一可选择的模型。他们避开在过去某一时刻发生大爆炸的概念，因为这意味着宇宙中所有的物质和能量是瞬间从绝对空无中产生的。

他们建议的另一种宇宙是处于恒定状态的宇宙，这就是说，这个宇宙在所有时刻看上去基本上是一样的，不变的。当星系退行，产生可观察到的多普勒红移时，微量的、不易探测到的新的物质便产生出来去填补出现的空洞。这一原料，又作为产生新星系的种子。因此，宇宙中星系的分布情况本质上保持不变。

自从稳恒态模型提出以来，越来越多的观测资料表明宇宙曾经是一个高度致密的火球。因此，三位英国宇宙学家提出的观点今天只有少数人支持（虽然提出者仍在不时地一再修改其内容，希冀其仍然有效）。

当大多数科学家相信宇宙曾经是极小的，后来膨胀了的时候，他们便开始考虑支持这一观点的宇宙模型了。这样的一组宇宙学是在1922年由苏联数学家弗里德曼(Alexander Friedmann)发展起来的。

弗里德曼的宇宙模型来自爱因斯坦的广义相对论方程，但没有宇宙常数项。因为剔除了这一稳定项，弗里德曼的解是动态的而不是静止的。这一伸缩性对于描述不断运动着的宇宙是重要的。

有三种不同类型的弗里德曼宇宙学，分别叫做开放的、闭合的和平直的宇宙模型。三者由它们的长期行为来区分，表现为随时间而变化的胀到多大（或缩到多小）。

开放式模型从一点开始，宇宙的体积开始时为零。当开放式宇宙发展时，它开始长大，一旦开始了膨胀，便不停顿地膨胀下去。就好像一群青春年华的少男少女，由于脑垂体生长激素的不停顿地分泌，任何因素都不能阻止他们身体的生长发育。

闭合式模型则正相反，其长大有个限度。其开始时与开放式宇宙完全一样，从一点向所有方向爆发式地扩张。但在其历史进程中的某一时刻，宇宙的膨胀足够慢时所有方向上的长大均停止下来。最终，使宇宙长大慢下来的力导致宇宙逆转其进程并缩小到一点。此情景常被称为大暴缩。

平直式宇宙介于上述两种情形之间。即开始时和开放式、闭合式一样；此后，虽然也不停地膨胀，但总是在坍缩的边缘摇摆。

这三种模型中的哪一种代表我们宇宙的情形呢？为了回答这个问题，

理论工作者引进了一个叫做 Ω 参数的物理变量。这个量来源于爱因斯坦方程的弗里德曼解：它是一个因子，表示宇宙中物质的总量——包括可见的物质和不可见的暗物质——与使宇宙坍缩所需要的临界质量之比。 Ω 之值决定着我们所考虑的宇宙是开放的、闭合的还是平直的。若 $\Omega < 1$ ，宇宙是开放的，它将一直膨胀下去；若 $\Omega > 1$ ，则我们生活在一个闭合的宇宙内，以后总有一天要逆转其膨胀势头回缩到一个点；若 Ω 正好等于 1，则空间是平直的。

在弗里德曼模型中，宇宙有三种可能的命运：开放的、平直的或闭合的

不论由 Ω 决定的宇宙的命运是什么样子的，宇宙的来源只有一个。天文学家们相信，现在宇宙中所有的物质——恒星、行星、星际气体等等——在从前的某一时刻曾经凝聚为一个尺度无限小但密度却无穷大的“球”。那时，在被叫做大爆炸的时刻，该球从空无（nothingness）向外爆发。

长期以来，早期宇宙内发生过那些事件被笼罩在迷雾中。现在，由于近代粒子物理学的发展，科学家们有了一个在宇宙创生最初一分钟里所发生事件的合理图像。下面就来叙述一下这一图像。

我们从宇宙创生大爆炸以后的 $1/100$ 秒时期的历史叙述起。此时，宇宙非常之热，温度高达 1000 亿开以上，因此不存在普通物质。原子和分子在它们能够形成以前，便因高温而爆炸开了。整个空间充满着基本粒子组成的“汤”，“汤”内含有相同数量的电子、中微子（当中子衰变为质子和电子时产生的粒子）、正电子（带正电荷的电子的反物质）、反中微子（中微子的反物质）和光子；少量的重得多的粒子，包括质子和中子以及组成暗物质的一些奇异粒子。

要了解那时的宇宙致密到什么程度是困难的，不过可以想像所有的物质实体被压缩到一个比它们现在所占范围小数十亿倍的区域。这么小范围的空间维持不了多久，很快，宇宙的尺度便快速增大。在我们最初的“快拍”以后头几秒的时间内，宇宙差不多胀大了 100 倍。

宇宙胀大，其中的物质开始冷却。这是由下述物理原理所决定的：密闭系统在膨胀时温度势必要下降。这一快速冷却将导致许多重要的变化：第一，许多存在着的粒子，如电子和中微子将发现有利于它们与其反粒子的结合，结合的益处是在结合过程中获得能量。当物质与反物质融合时，它们彼此消灭了对方并产生出光子形式的辐射。因此，在这一时期，光子的数量遽然增加。与此同时，宇宙中的大多数中子转变为质子、电子和中微子。由此可见，在此时期终结时，剩下的主要是光子的“海洋”，在此“海洋”中点缀着不同数量的质子、电子、中微子和中子，以及较少量的稀有粒子。

对于原初宇宙演化阶段的下一步观察，我们来看看大爆炸以后 3 分钟 的景象。宇宙比我们上一次“快拍”时大大地冷却了。由于温度降低，粒 子的运动也慢多了，这就使它们有可能合并成稳定的原子核。

大爆炸核合成，通过聚变反应最轻的元素，从氢到氦到锂。
此后宇宙温度下降了，这样的反应不能再继续下去了

首先组成的原子核（不算氢核，因为它不过是质子罢了）是氘，也叫 做重氢，它是由一个质子和一个中子组成的。一段时间以后，宇宙中的大 多数中子都被纳入氘内去了。

下一个元素是当氘与质子聚合时形成的氦的稀有形式氦—3。再下一 步，当中子碰撞氦—3 时，诞生出普通的氦，氦—4。一步一步地，从氢到 锂，所有我们知道的轻原子核都是由质子、中子和氘等基本组分组成的。

现在，宇宙中这些物质每一种的丰度（丰富程度），提供了宇宙创生 大爆炸模型的过硬的证明。科学家们能设法估计空间内存在有多少氢，并 将此数量与氦的数量比较。他们发现，此比值与理论所预见的每一个氢原 子相应有 12 个氦原子符合得很好。迄今为止，用此比例检验大爆炸图像 的效果一直非常之好。

1995 年，在大爆炸瞬间产生的氦被首次检测到。约翰·霍普金斯大学 的天体物理学家戴维森（Arthur Davidsen）、克里斯（Gerard Kriss）和 郑炜，用在“奋进号”航天飞机上的紫外望远镜对来自类星体的光线做详 细的搜索。他们观察此辐射的目的，在于寻找该光线被星系际氦吸收的证 据。探索的结果，确实找到了表明整个宇宙中存在着大量氦的特征吸收谱 线（波长的图式表示被氦捕获的辐射）。他们发现，在所探寻的空间区域 中的氦的含量，正好与标准宇宙模型所预见的 12 : 1 的氢与氦之比一致。

比锂核重的原子核不能在大爆炸中被制造出来，这是因为当锂在形成 时，宇宙冷却得过多，更重元素的聚合是不可能的。所有较重元素要在晚 得多的时候，在恒星的核心中激烈的高温熔炉里锻造生成。

下一个宇宙演化的重要阶段是复合时期。在此时期内，宇宙中大多数 带正电的离子（原子核）收集足够的带负电的电子，而形成不带电的中性 原子。在这一过程中，大量的辐射被释放出来。这种情况的发生是由于光 子倾向于粘牢带电离子和自由电子，围绕着它们之间跳跃。一旦离子成为 中性原子，电子被锁定在紧紧的轨道上绕原子核运动，光子便能在空间自 由地传播了。

从此时开始，宇宙沉浸在背景辐射的海洋中。起先，此辐

宇宙暴涨

暴涨宇宙图景，是 80 年代美国麻省理工学院的理论工作者古思 (Alan Guth) 和莫斯科大学的林德 (Andrei Linde) 以及宾夕法尼亚大学的斯坦哈特 (Paul Steinhardt) 和阿尔布雷克特 (Andreas Albrecht) (除后二人外，前二人是独立做出的)，为了解决标准大爆炸模型中的一些明显的困难而提出来的。一个困难是所谓视界问题，即关于最大尺度的空间的均匀性。该问题问道，为什么宇宙内物质和能量的分布在所有方向上完全是均匀的？是什么使宇宙伸展到非常平滑的程度？第二个问题叫做平直性问题，即关于宇宙参数“ Ω ”事实上非常接近于 1 的问题，在理论上可以有任何值。

暴涨所依靠的基本概念，是宇宙在大爆炸极短的时间约 10^{-35} 秒以后经历了一个急骤快速的膨胀阶段。然后，不晓得是什么原因，暴涨阶段终止了，我们今天见到的宇宙较慢的膨胀开始了。

暴涨解决了视界问题，因为它使不平坦处伸展开了。它的快速膨胀阶段也解决了平直难题，因为它迫使宇宙变得较平直，因而有了一个接近于 1 的 Ω 之值。

暴涨宇宙学的一个关键预见是宇宙背景辐射是“标度不变的”，也就是说，不论从哪个层次观察宇宙背景辐射，看到的景象都近似地相同。宇宙背景探测卫星 (COBE) 的观测结果证明确实如此，这有助于暴涨理论的进一步推广。

射是热的，但随着宇宙的膨胀，其温度下降得很快。今天，此原初能量，已冷却到了绝对零度以上 2.735 开，继续充斥在宇宙中作为大爆炸时期的一个最后保留下来的残迹。

科学家们有正当理由自信上文所描述的这些事件是发生过的。但不清楚的是，这些原初现象是多长时间以前发生的。宇宙年龄问题是现代宇宙学中的一个最有争议的问题。

第七章 年龄问题

自从哈勃发现星系退行现象以后，天文学家便开始了测定宇宙年龄的工作。多年来，有好几个天文小组在用不同的方法估计宇宙的年龄。他们的测定结果明显地互相矛盾，从 80 亿年到 200 亿年不等。因此，在研究人员中常常发生对测定方法的争论。

但大家一致同意，在估计宇宙的年龄时首先要求得哈勃常数的现代值，因为哈勃常数是表明星系随距离而退行的速度。其次，宇宙年龄有赖于所考虑的宇宙模型（开放的、闭合的或者是平直的；宇宙常数是否为零）。有了这两个前题，我们才能确定若宇宙按现在的速率膨胀的话，其年龄应当是多少。

如果空间是平直的——理论工作者最感兴趣的暴涨宇宙模型——则哈勃常数与宇宙年龄的关系最简单，两者成反比。因此，对于平直宇宙学来说，一旦测出了哈勃常数，只需取其数学倒数便直接知道宇宙年龄了。

70 年代中期以来，最受大家信赖的宇宙年龄的估计值，是尊敬的天文学家桑德奇（Allan Sandage）所测定的值。他是哈勃的学生，在加利福尼亚州帕萨迪纳的卡内基天文台工作。他曾多年观测许多星系中的超新星，用这些超新星作为测定星系距离的标准。

桑德奇取超新星作为优秀的“标准烛光”是有许多理由在平直宇宙模型中，哈勃常数与宇宙的年龄成反比的。首要的是，超新星爆发时发生的光极强，即使是远方星系中爆发的超新星，我们也常能看得见。其次，虽然对任何一个星系而言，这类爆发很少发生，但天空有很多星系，平均每个星期在空间至少有一次新的超新星出现。第三，所有叫做 Ia 型的超新星，大体上都具有相同的绝对亮度。因此，这类超新星，不论它们离我们多远，都具有可预见的光输出。在椭圆星系和较年老的旋涡星系中，都会发生 Ia 型超新星爆发。

桑德奇的超新星技术非常之简单。将测得的一颗超新星的光输出与理论预期值比较，便能计算出该超新星距离我们有多远。自然，此距离也就是超新星所在星系的距离。从许多星系的距离和速度的数据，桑德奇测定出哈勃常数约每秒每百万秒差距 50 公里（1 秒差距 = 3.26 光年），从而宇宙年龄在 150 ~ 200 亿岁之间。

自从桑德奇得出上述结论以来，多年来，天文学家对这个宇宙年龄值感到较满意。因为这些年龄值足够地大，对宇宙历史上曾经发生的各类事件都能涵盖，没有矛盾。例如，它比银河系的年龄要大得多，后者估计为 90 ~ 120 亿岁。

但近年来，由于一年轻科学工作者的挑战，桑德奇测定的哈勃常数值受到了怀疑。以弗里德曼女士为首的一个 15 人天文小组发展了一个估计哈勃常数的新方法。他们测得的哈勃常数之值比桑德奇的值要大得多，从而

所得宇宙年龄之值要小得多。

弗里德曼的技术——包含发现一个叫做 M100 的远方星系中的造父变星——极大地有赖于 HST 的敏锐的视力。在 HST 发射以前，天文学家经常用造父变星方法做为测量近邻星系，如仙女星系的距离。但人们发现，不可能用此方法让设置在高山上的望远镜去记录较远星系中的造父变星。由于此原因，较亮的天体如超新星，被视为更受青睐的标准烛光。其次，研究人员希望用更精确的仪器来延伸造父变星技术。他们视 HST 的发射为达到此目的难得的良机。自然地，HST 特别设计了去帮助天文学家在远方星系中猎取造父变星。

1994 年，弗里德曼小组将 HST 瞄准 M100 星系并观察其中的 4 万多个恒星达数月之久。从所得数据中，他们精确地选中了 20 颗星为造父变星。一旦发现了这些造父变星，并把它们的光变周期和绝对亮度记录下来，这些信息立即便可用于估计星系的距离。小组所得 M100 的距离为 $5600 \text{ 万} \pm 600 \text{ 万光年}$ 。

天文学家们相信，M100 位于室女座星系团的一群旋涡星系之中。已知室女团的退行速度多年，由于弗里德曼小组的工作，其距离也知道了。人们会认为这两个数值可直接用来求哈勃常数了。其实不然，因为室女团靠银河系所在的本星系群较近，两组星系之间有较强的引力吸引，故哈勃定律——星系退行速度与其距离成正比——不能完全适用于室女团。因此，以室女团的距离除以其退行速度所得哈勃常数值，将是不准确的。

为了求哈勃常数，弗里德曼小组需要应用一个更为精确的逼近——用他们 M100 的结果去获得更远的后发座星系团的距离。后发团离地球足够地远，其运动贴切地服从哈勃定律。弗里德曼及其合作者们认为，有关后发团的信息将能获得一个理想的准确哈勃常数。

在他们应用的方法中，首先假定所得 M100 之距离，与室女团中其近邻的旋涡星系的平均距离一样。其次，他们注视到后发团中一组相似的旋涡星系。假定这两组旋涡星系有相同的本身亮度，然后比较后发团的这组旋涡星系比室女团的一组旋涡星系暗多少。从这个比较，测定出后发团比室女团远 5.5 倍。这就是说，后发团距地球稍远于 3 亿光年。最后，他们将已知后发团的退行速度被其距离来除，得到的一个哈勃常数之值为每秒每百万秒差距 80 公里。由于对 M100 在室女团中位置测定的不确定性，他们估计所测出的哈勃常数值的误差在 20% 左右。

弗里德曼小组测定的哈勃常数值比桑德奇的高得多，因而所得宇宙年龄要小得多。如果弗里德曼小组的结果是准确的，则宇宙只有 80 ~ 120 亿岁。但我们也注意到，在弗里德曼小组的计算中，既有因不确定性而发生的较大范围的哈勃常数之值，也没有考虑宇宙是开放的、平直的或闭合的问题。对大多数科学家来说，这一宇宙年龄的估计值显得荒唐。宇宙中一些最老的老年星的年龄被认为至少有 140 亿岁，显然，宇宙中的恒星不应

比它们所在空间的年龄还要老，就像人们不可能比他（她）的母亲还要老一样。

今天，宇宙学中最迫切的事是要解决年龄问题。为了说明估计的宇宙年龄与其组分年龄之间的矛盾，一些理论工作者在试图修改标准宇宙模型。有人建议恢复宇宙常数项，少数人主张完全抛弃大爆炸模型（或广义相对论）。另一些人认为弗里德曼和她的支持者提出的对宇宙年龄的估计不准确——太低，应不予考虑。确实，这是一个尚未定案的迫切需要解决的问题。

解决宇宙年龄窘境，最终需要详细了解大尺度空间内天体分布的情况。为此，天文学家在忙于绘制出宇宙的一部分，试图理解其组织和历史。正如我们的祖先在羊皮纸上记录地球错综复杂的地形一样，当代的“制图家们”正在用天文仪器去显示出宇宙的肖像，这个宇宙在结构和多样性方面也是很丰富多彩的。

第八章 星系组成的气泡状结构

在 16 ~ 18 世纪探险的年代，千帆竞发驶向全世界的河流、海峡和海岸线。船上探险家们的主要任务之一，除了寻找矿产资源外，就是绘制出地球的外貌。欧洲的君主们需要最好的地图，以便实现扩张他们领土的野心，并获得战争的主动权。因此，他们资助并支持冗长的探险航程到鲜为人知的地方。完成此地图的绘制需要较长的时间，沿途纠正了好多错误，例如，到 19 世纪，澳大利亚仍被视为是一连串的群岛而不是一个大陆。

经过若干年，通过改进的制图学，使人们对世界有了较深入的了解。人们逐渐知道了关于海洋和陆地的更多的知识，如相对大小和位置，以及它们在全球是怎样互相衔接的。详尽的知识导致重要的见解，如德国地质学家魏格纳（Alfred Wegener）的例子。1912 年，魏格纳指出一些大陆的外廓好像是互相啮合得恰到好处，它们一定在过去某个时刻是曾经连接在一起的，例如，南美洲和非洲看来互相嵌合得像是被锯下来的互连着的两块。因此，魏格纳建议各大陆曾经属于单一的叫做泛古陆的一大块，后来逐渐漂移分开。魏格纳的见解——来源于他仔细观察绘制得很详尽地图——促进了板块构造学（大陆漂移的研究）的诞生。

今天，人们探索的前沿已远远超出海洋的波浪。像我们的先人那样，我们必须再一次绘制出未探明的大片领域——这就是宇宙。科学家们希望对可见宇宙完整的描绘将有助于他们了解其动力学，就如世界地图的知识鼓舞魏格纳创建了大陆漂移说一样。

绘制宇宙是近代天文学最大的挑战之一。为什么需要做这件事，有许多理由。第一、二维图像是满足不了科学目的的，为了理解各种宇宙的大结构之间的复杂的相互作用，天文学家不仅需要知道天体在天空的位置，还要知道这些天体之间距离的信息。

但超过一定的范围，测定这些天体的距离是困难的。我们已经讨论过测定天体距离的各种方法：对于近邻恒星，用视差法就行了；对于银河系内远方的恒星，就要用比较一颗恒星的视亮度和它的绝对亮度的方法。

测定近邻星系和星系团的距离，科学家们就要用更先进的方法，如造父变星法。在发射 HST 以前，造父变星差不多被用做测定本星系群内星系距离的尺码。HST 的发射，使得用此法测量近邻星系团的距离成为可能，如第七章所介绍的弗里德曼小组用此法测定室女座星系团的距离的情况。

但是，仍有一些区域，造父变星显得太暗，此技术难以应用。在这些阴暗的“省分”，科学家被迫实行一些猜测的办法。例如，塔利—费希尔（Tully—Fisher）关系——一个关于星系的绝对亮度与其光谱中一特殊谱线（如红光波长的）宽度之间的关系——的观测原理，有时被用来测定星系的距离。在测量宇宙的大尺度区间时，比较普遍采用的办法是利用星系的退行速度与距离之间的哈勃定律比例关系，测量一个星系（或星系团）

的谱线向红端移动的量，观测者就能估计该星系离我们多远。在哈勃常数还未有较可靠的值以前，该定律只能提供相对的距离值。

哈勃定律的简单比例关系，只适用于 10 亿或 10 亿光年左右。当天文学家们用他们的测量棒想达到更远的距离时，就遇到了时间延迟问题。来自几十亿光年之外的天体的光要经过几十亿年才到达我们这里，因此，这提供给我们看到几十亿年前的宇宙情景的一个快照——不同于我们所见现在宇宙的景象。理论工作者相信，亿万年前哈勃常数与现在的哈勃常数有不同的值。这样，在估计认为是远在几十亿光年以外的天体的距离时，研究工作者必须注意到那时的哈勃常数值和现在的不一样。

用于大尺度距离测量的尺码，从视差到造父变星到光谱方法加在一起的“杂烩”叫做宇宙距离阶梯。科学家们用此阶梯，一级一级地从比较熟悉的近邻恒星爬向远方的星系团及类星体。当新的测量棒经过考验可用时，该阶梯便被加固了一些并延伸出去，成为艰难地步步高升连接到宇宙深空的梯子。

除了距离测量问题外，当天文学家们企图绘制可见宇宙的天图时，还遇到另一个困难：需要探索的领域令人难以置信的广阔。潜在的能用望远镜视察的空间的体积超过几十亿光年的立方 $[10^{31}(\text{光年})^3]$ ，这里面充斥着数百亿个星系（它们中的大多数是 HST 近来发现的）。要做出它们的目录，恐怕需要花费几百年时间。

与此同时，正如布鲁斯·格雷戈里在本书序中所介绍的，一项重要的探空计划在进行中。如哈佛—施密松天体物理中心（CfA）的盖勒和赫克拉所做的是获得可见宇宙内有代表性的截面中的信息。打算用对这部分空间的观测结果，提供星系在宇宙中是如何分布的粗放的概念。从所得图景，我们可以较好地理解宇宙中有序状况的来源和性质。

CfA 小组首先选择一薄片状空间，观测星系在其中分布的情形。他们选取了一个尖劈状的三维空间，为的是要得到具有最广泛多种样本的宇宙的图景。

计划中第一个有代表性的天区的图像，是赫克拉和拉普兰特在 1985 年春季绘制出来的。他们测定了位于一个 6 度宽的狭长天区内大约 1100 个星系在空间的位置。选取如此大小的空间观测，是为了能在较短的时间里完成巡查任务。他们所得结果是饶有兴趣的。

在开始巡查时，盖勒和她的同事们并未希望见到宇宙中大尺度有序状态的证据。事实上，他们原来想像的是巡天工作将揭示出一个匀称纹理的宇宙。相信他们将看到星系和星系团均匀地分布在天空，就像少量的葡萄干均匀地分布在葡萄干面包里那样。但实际看到的，却是确凿无疑的星系分布的稀奇的式样。星系和星系团不是随机（杂乱）分布的，而是表现为组成长的、纺锤式的弦（带子）和宽的伸展了的书页，也有成为巨大的物质气泡状的分布态势。这些气泡的里面看来奇怪地空，好像所有原来在里

面的星系全被吸管吸出去了。

CfA 小组被他们看到的出奇的景象惊呆了。与浓密地分布几百万个星系的空间区域对比着的是实际上空无一物的天区——他们称其为空洞或巨洞。不知什么缘故，在宇宙历史上的某个时期，大尺度有序状态从混沌中出现。CfA 小组难以解释这是怎样和如何发生的，他们只是观察到这些情形罢了。

1989 年，盖勒和赫克拉把他们的巡天工作延伸到包括几千个星系。这时，他们又观测到一个新的特色：一个在空间延伸超过 5 亿光年的星系“巨壁”。这一叫做长城的宇宙栅栏，是宇宙中存在的最大的单一结构特色。

盖勒及其合作者们，远不是注意到宇宙中大尺度结构的第一组人。在 50 年代，法国天文学家沃库勒（Gerard deVaucouleurs），发起了一场关于他建议的星系和星系团属于更大的天体集团叫做“超星系”（现在称为超星系团）的大争论。

当时，大多数天文学家相信星系团是空间可能的最大的天体集团。他们认为，引力理论，如爱因斯坦广义相对论所表

表示本星系群内各成员星系分布情形的美术品 本星系群是包括银河系在内的一个小星系团

达的形式，不利于更大天体集团的形成。还认为，扩展得更大的结构只能通过引力松散地联系在一起，宇宙的膨胀将把它们拉开。因此，这种结构的寿命只能是短暂的，今天的宇宙中不存在这样大的结构。

但经过多年积累的观测资料，国际天文界渐渐接受了宇宙中存在着“星系团的集团”这个事实。我们的本星系群被证明是一个叫做本超星系团的一部分，该超星系团在空间伸展 1 亿光年，室女座星系团位于其中心。人们还发现了许多其他超星系团，带着它们穿起来的“念珠”，交叉在宇宙中。

沃库勒年轻时是个急性子的人，现在感到了辩解的意义。真理最终在他这边，但也体会到人们对问题的观点上的改变是需要时间的。正如他所说的，“正如一个成长的儿童逐渐明白了较大单元的人类组织——家庭、邻居、城市等等——天文学家们在过去 400 年间逐步认识到天空的等级式安排。这一天文的发展在继续前进中。”

今天，基于不可抗拒的，例如由盖勒、赫克拉和拉普兰特提供的观测证据，大多数天文学家接受了下列事实：宇宙有一个复杂结构的等级。描述这些结构的名词如“纤维”、“气泡”、“薄片”及“空洞”等，已成为他们经常使用的词汇了。他们不再争论宇宙是否有大尺度结构，而是在寻求去理解这些结构的来源和性质。

科学家们提出了三种宇宙结构形成的模型。三种模型的不同之处，在

于它们对问题的答案。谁先出现，是星系还是更大的结构？70 年代初期，前苏联科学家泽多维奇提出了“薄饼模型”。薄饼模型是自上而下的理论，它支持下列观点：大结构，如薄饼和气泡是先产生的，然后这些大结构裂开，成为超

在自上而下的模型中，最大的结构，如宇宙纤维和薄片，首先形成。这些结构碎裂成各个星系。自下而上的模型，恰恰相反，它描述星系首先形成的可能性。这些星系结合成为更复杂的结构，如星系团

星系团、星系团，最后出现星系。特别是，在泽多维奇的理论中，早期宇宙内充满了大而平坦的物质扁块——“薄饼”，它们最终碎裂为较小的断片，这些断片再演化成星系。泽多维奇的模型对为什么星系排列成长串和薄片说明得很好：这些结构是原始“薄饼”的遗物。

第二种模型叫做等级式成团模型。在倡议者中，有普林斯顿大学的天体物理学家皮伯斯。在这个自下而上的模型中，从气云凝聚而成的星系首先在原初宇宙中形成。随着宇宙的发展，许多这样的星系互相接近到足以彼此发生引力拉曳。很快星系群互相接近，形成星系团，然后超星系团出现了。就像冬天的风把雪刮成雪堆，同时也使有些地方没有了雪一样，在空间形成了空洞，那里的物质被引力吸走了。

大吸引体

每个探索知识前沿的职业都有其神话般的人物。在现代宇宙学中，七武士——一个献身于星系观测的国际小组，无疑地成为传说的资料。1987 年，这一多个面孔组成的研究小组，包括亚利桑那州立大学的伯斯坦（David Burstein）、国立光学天文台的戴维斯（Roger Davies）、卡内基研究所的德雷斯勒（Alan Dressler）、在圣克鲁斯加利福尼亚大学工作的费伯（Sandra Faber）、英国剑桥大学的林登贝尔（Donald Lynden-Bell）、英国皇家格林尼治天文台的特利维奇（Robert J. Terlevich），以及英国达特茅斯学院的魏格纳（Gary Wegner），七人集合起来进行天文观测，其目的是要寻找有关星系运动速度的普遍模式。

他们的观测结果是非凡的，发现了强有力的证据，说明一大群星系涌向距地球 2 亿光年的空间的一点，那里看来没有任何天体。这一点，被称做大吸引体的，看来存在着一个巨大的看不见的质量，对一大片空间区域施加强引力拉曳。

在过去的 10 年里，科学家们对七武士的发现，在理论上考

虑找出一个恰当的解释。一些研究人员推测大吸引体是不可能看到的一种新形式的物质。另一些科学家则倾向于通俗得多的答案：大吸引体体现那一点附近天区的许多暗星系的综合引力（看来此答案被 HST 近来的发现所支持）。

最后，第三种模型我们称之为分形接近。分形是自相似的物体，也就是说，在所有观测的尺度，它们看上去是一样的。它们和俄罗斯的彩色套娃一样，一个套在另一个里面。按照分形接近，结构的多层次，从星系到星系团到超星系团，是同时产生的。超星系团的形成过程明显地与星系的形成过程一样——只不过是较大的尺度上罢了。

近来，理论工作者，如盖尔布（James Gelb）和麻省理工学院的伯特辛格（Edmund Bertschinger），曾用计算机模拟方法来检验星系形成的模型。在他们的模拟中，用随机分布的大块物质作为一个“玩具”宇宙的种子，并观察引力和其他力对于这些种子的影响。只要在他们的研究中包括了叫做暗物质的物质（在第九章中将要讨论），便能够较好地模拟出星系的产生和其他结构。

暗物质是这样一些物质，它们具有质量但不发出任何可觉察的辐射。许多科学家估计宇宙内有 90% 的物质是不可见的未知组成的物质。只有在引进了暗物质与普通物质的相互作用后，宇宙结构形成的过程才能被完全理解。因此，要解决宇宙是如何成为我们观察到的样子这个问题时，首先要解开其“失踪的质量”之谜。

第九章 空洞中的幽灵

在威尔斯(H. G. Wells)所写古典小说《看不见的人》一书中，一个叫做格里芬的人发现了一种药，吃了以后能使光线穿过身体。当他喝了这种调合剂后，他的身体便隐而不见了，只有穿的衣服能被见着。在午后散步时，他只穿戴了帽子、手套、网球鞋和一副眼镜，这是所有遇到他的人所看到的在街上行走的怪物。但当看到这一奇观时，人们将会很好地得出结论，一个隐身人联系着所有见到的事物，使得它们动起来。

但几年以后，出现了一个隐蔽的商品——名为“看不见的狗”——专供那些买不起（或不希望）真的宠物，但仍要享受与它们一起散步的乐趣者使用。有特别设计制作的皮带，用于当狗的“主人”带其散步时上下振动。

假定一个明理的成年人看到这样一个“看不见的狗”在街上走，他不会想到有某些眼睛看不见的东西存在着呢？当然不会。有人看到这样的“动物”将假装看不见并藉口讨厌它，但不会得出它真的存在的结论。

恒星在星系里运动的方式，星系在星系团内运动的方式，似乎都指出还存在着远远多于眼睛能见到的东西。但拖曳这些可见天体的是些什么东西呢？是不是像威尔斯小说里的隐身人的身体那样，真实的存在着？还是个幻觉，像隐没的“看不见的狗”的形式那样？几乎可以肯定地说是前者。近年来，积累了大量的观测证据，证明暗物质在整个宇宙中非常丰富。

近几十年来，科学家们感到恒星和星系运动的状态，不能完全以可见物质的引力作用来说明。早在30年代初期，荷兰天文学家奥尔特(Jan Oort)在研究恒星穿越银河系银道面的运动，以便更好地了解它们的动力学时，他测量了恒星距银盘上、下的距离，并计算银盘含有多少质量才能保持恒星在这两个距离来回振荡（就像挂在弹簧下的重物一样上、下振动），因为它们的运动量有赖于银盘中其他部分对其引力吸引。使奥尔特惊奇的是，他发现银盘中需要产生这些影响的物质的总量，至少应3倍于可见物质的总和。

在奥尔特研究恒星运动时，兹威基也在研究星系团中星系的运动。他分析了后发座星系团中星系的运动情形，求出需要多大的质量来提供引力才不致于使这些星系分散。使他惊奇的是，计算出所需的质量为观测到的质量的300倍。由此，他推测后发团中大部分物质是看不见的暗物质。

或许，暗物质存在的最有说服力的早期证据，是70年代在华盛顿卡内基研究所工作的鲁宾(Vera Rubin)和她的同事们提供的。他们查看了所谓星系的旋转曲线——星系内恒星与气体的轨道速度与它们距星系中心距离的关系的曲线。

在太阳系，行星的旋转曲线，行星速度与它们与太阳距离的关系的曲线，是由开普勒定律很好地描述的。因为太阳系的大部分质量集中在其中心——即太阳——行星的速度显示出一个随距离而迅速下降的趋势。例如，冥王星绕太阳运动的速度比水星的要慢得多。

如果一个旋涡星系，如银河系，其质量是按观测到的星系的物质安排分布的，则将出现类似的旋转曲线的下降，因为星系的大部分质量是集中在核球的，星系晕中的引力要弱得多。所以距星系中心越远，那里恒星的速度将下降得越多——其结果，星系旋转曲线将随距离而骤降。

但是，对于银河系、仙女星系和其他旋涡星系来说，上述情况并未出现过。代替随距离下降的，是这些星系的旋转曲线趋于平坦。换句话说，在整个星系晕中的恒星速度保持恒定。这表明，这些星系的质量并不是集中在核球，而是均匀地分布在星系中。要使这一情形成为现实，在星系晕中一定要存在着大量的看不见的暗物质。

其他有关的研究工作很多，这里不可能一一列举，但这些研究进一步提供的证据说明宇宙中有 90% 乃至 99% 的物质是不能用望远镜直接观测到的。看来，暗物质像是被束缚在星系里面的。但观测还证明星系之间的空间内也有暗物质，即使在没有星系的空间，如空洞的内部也有暗物质。因此，空洞也许并不是完全空的洞。

由此可见，这是个应冷静思考的问题。经过几个世纪的望远镜观测，宇宙中的物质只有一小部分被描绘出来，这只是天文学家看到的冒出水面的冰山一角。看来，宇宙中的大部分物质将永远隐藏着，只有贫乏的 10% 或位于“表面以上的”才能被探测到。

统治着宇宙的神秘物质是些什么东西呢？对于它们的性质，近年来有不同的说法。重要的候选者可分为三个主要类别：大质量致密晕天体（MASSive Compact Halo Objects，缩写为 MACHOs），弱相互作用重粒子（Weakly Interacting Massive Particles，缩写为 WIMPs）及有质量的中微子。不论前两类暗物质名称的含义如何，主要的问题是到什么地方能够发现它们。

MACHOs 是存在于星系周围区域的致密物体。这些天体不发出可觉察的辐射，只是通过它们与其他实体的引力作用而被间接探测到。第一个被探测出的这类暗物体的例子是 1993 年由三个天文小组发现的：一个叫做 EROS 的法国小组，另一个以波兰科学家为主的叫做 OGLE 的小组，以及由美—澳科学家组成的叫做 MACHO 计划的小组。第三个人数最多的小组由劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的阿尔科克（Charles Alcock）为首，该实验室的贝内特（David Bennett）和加利福尼亚大学圣迪戈分校的格里斯特（Kim Griest）参与领导。他们用位于澳大利亚靠近堪培拉的斯特罗姆洛山天文台的 1.5 米口径望远镜进行工作。

各小组都发现了由 MACHOs 对于大麦哲伦云中恒星的引力透镜效应的

明显的例子。引力透镜是广义相对论性效应，位于地球与远方天体之间的物质畸变了该天体的像。这里再次提醒读者，按照广义相对论，大质量物质能使掠过它附近的光线弯折，并像透镜一样使光线聚焦。在此情况下，一个 MACHO 临时地位于地球与大麦哲伦云中一颗红巨星之间，临时地集聚起来从该恒星向地球射来的光线。这一被放大的信号被天文学家们记录了下来，并进行分析。他们用此数据决定 MACHO 的质量和大小。美—澳小组观测到一红巨星的视亮度，在恢复到其原先的光输出水平时其视辐射输出维持了 33 天。在排除了导致这一现象的其他可能原因后，该事件被定为是一个看不见的质量大的天体所导致的引力透镜效应的信号。

在 1996 年 1 月美国天文学会举行的学术讨论会上，美—澳合作者们报告了银河系晕的大部分是含有 MACHOs 的有力证据。这一证据来自对 7 个新的大质量晕天体的发现。他们再一次用对大麦哲伦云的引力透镜效应，来确定这些幽灵般天体的性质。

这些 MACHOs 的质量从 $1/10$ 太阳质量到 1 个太阳质量不等。因为它们的小而暗的特点，它们中的大多数极可能是白矮星。它们可能和太阳相似，来自主星序晕星，后来用完了它们的大部分核燃料，遗留下的恒星发出的光极弱，所以很难被探测到。

某些 MACHOs 也有可能是红矮星和 / 或褐矮星的。红矮星是非常之冷和放出少量辐射的星。因此，它们难于被直接探测到。褐矮星发出的光线更少，它们是一类不足以开始核聚变的不到临界质量的星，因此它们不燃烧。有些理论工作者建议的其他的 MACHOs 候选者，包括木星大小的行星、中子星及黑洞。有可能 MACHOs 包含它们之中的一些，有可能是全部的混合体——但大多数是白矮星。

科学家们现在相信 MACHOs 差不多占据所有星系内暗物质的一半，甚至一半以上。不幸的是，仍遗留有相当大一部分星系中看不见的物质等待阐明，这里还没有提到宇宙其他部分的大量的暗物质。因此，研究工作者曾建议星系中的其余暗物质是由 WIMPs 组成的。

WIMPs 包含形形色色的假想的基本粒子，它们的共同特点是很少与普通物质起作用。这些质点包括轴子（曾在关于早期宇宙的理论中提出来的质点）、超对称粒子（见方框里的说明）和其他种类的奇异亚原子粒子。

怎样才能探测到 WIMPs 呢？一些科学家设法在庞大的原子粉碎机内，以超高速对撞普通的粒子，希望在所得不寻常的副产品中出现这些粒子。

超对称

超对称粒子，一个被称为超对称理论的粒子物理模型的假想副产品，常被推荐为暗物质候选者。超对称理论企图统

一宇宙中的两重要种类的粒子：费密子和玻色子。

简言之，费密子提供物质的构件。质子、中子及电子，原子

的组成成分都是费密子；而玻色子则供给使费密子粘在一起的胶，也提供将它们推开的爆发力。光子是电磁力的携带者，引力子是引力的传送者，它们是玻色子的例子。

按照超对称模型，每个费密子有一个玻色子伴侣，反之亦然。例如，电子的玻色子伴侣叫做选择子。引力子的费密子“灵魂配偶”叫做引力微子。

至今，还没有经验的证据证明这些伴侣粒子的存在。但是，许多理论工作者发现，超对称是一个在两重要亚原子物体大类分野间一种优美的架桥方式。他们希望这些新粒子——光微子及其他类似者——将在近期内从最高能量的加速器的实验数据中出现。假如果真如此，则暗物质之谜将很快得到解决。

加利福尼亚大学伯克利分校的斯诺登—艾夫特（Daniel Snowden—Ifft）、弗里曼（Eric Freeman）和普赖斯（Buford Price），相信他们已经发现了一个较好的探测 WIMPs 的办法。他们检视一小块云母片，发现该云母片上面有 5 亿年前被 WIMPs 轰击的痕迹。这说明岩石中难以捉摸的化学变化，将会暴露出岩石过去被 WIMP 碰撞的痕迹。

按照基本粒子理论，若一 WIMP 曾经碰撞在一块岩石上，则它将有一些机会（纵令是一个小的机会）替代岩石中的一个原子核，这一原子核的置换将很有可能挨次导致电子从其他原子中被从原位逐出。经过一定时间，逐渐变化了的原子的痕迹将在岩石中出现。这是加州大学伯克利分校的 3 人小组希望探测的化学变化。

到现在为止，小组只检测了岩石的一小部分，约 1 平方毫米云母片的 8%，WIMP 的痕迹尚未被观测到。为了增加发现的机会，他们正在检视一个较大的样品，希望能找到这些幽灵般粒子存在的证据。

几乎被摒弃的暗物质候选者中微子，近来又一次成为暗物质的竞争者。70 年代，在原子核衰变过程中产生的寻常的

暗物质：冷的、热的或混合的

近年来，天体物理学家们正在进行着一场充满活力的关于宇宙中暗物质温度的辩论。它之所以成为一个热点问题，是由于需要对宇宙中结构形成的各种模型做一个它们所含物质平均速度的估计。平均速度与温度有直接联系；热的物质，平均说来，比冷物质含有更多快速运动的粒子。因此热暗物质碎片将飞行得较快，并产生比之于冷暗物质铺开得较大的结构。

较长时期以来，包含冷暗物质（例如 WIMPs）的各种宇宙模型，是一般的结构形成景象。计算机模拟进行的这些模型，能很好地再现星系的诞生。但这些模型的主要缺点是不能模拟出正确

的星系的大尺度分布。

热暗物质景象（如存在有质量的中微子）则反之，能如实地预言宇宙中常见的大尺度形式：超星系团、气泡、巨壁和空洞。但遗憾的是，它们模拟不出星系大小的天体的生成。

目前，大多数科学家倾向于采取折衷的办法：既有冷暗物质也有热暗物质的混合体。这种模型不仅能较好地再现所知的关于宇宙的结构，对有关其粒子组成的当前想法也符合得很好。麻省理工学院的伯特辛格曾发现一个 80% 冷暗物质和 20% 热暗物质（如中微子）的结合，在星系形成的计算机模拟中能工作得很有效。

中微子，在宇宙中失踪的物质诸候选者的表内被列在榜首。那时，虽然中微子被认为是没有质量或质量接近于零，其质量的精确值是不知道的，但理论工作者的计算表明，哪怕中微子有极小极小的质量，暗物质的问题便迎刃而解了。这是因为宇宙中有无数的中微子，若每个中微子都有质量，则所有中微子质量的总和将非常之大。不幸的是，一次一次的实验（除去 1980 年有一点儿可信的苏联科学家的实验结果），看来都表明中微子是没有质量的。因此，不再将中微子作为一个说得过去的暗物质的竞争者来考虑。

1994 年，被打败的候选者获得了一次辉煌的复辟。洛斯·阿拉莫斯实验室的由怀特（Hywel White）领导的物理小组，用满满一大桶矿物油和一连串的 1220 个光电管（光探测器）去测量衰变的中微子的质量。这些中微子是在进行变化为另一种粒子，所谓振荡过程中被捕捉住的。在它们衰变时，释放出光，其分布与中微子的质量有关。这一辐射由光电管记录下来，科学家们对所记录的数据进行分析。

中微子能以这样的方式变更形态的事实，说明它们像电子一样是有质量的，无质量的物体不能改变形态。相反，有质量的粒子在合适的条件下有衰变的可能性。

在洛斯·阿拉莫斯小组所进行的实验中，他们计算出来的中微子的质量在 0.5 ~ 5 电子伏特之间（1 电子伏特相当于一个质子的 $1/10$ 亿质量的能量）。在每 1 立方米的空间内约有 360 亿个中微子，假设它们有质量，则它们的总质量要比所有已知星系质量的总和还要大。

大多数科学家现在相信，暗物质是多品种的，决不止是一种物质。以往几年中，强有力的实验证明了 MACHOs 的存在。也有一些迹象表明有质量的中微子的优势。虽然，还未探测到 WIMPs，但在星系和其他宇宙构形的演化的理论模型中，这类粒子是重要的组分。由此可见，说起暗物质，既意味着上面提到的任何一种，也可以包括所有的品种。

要理解在宇宙中结构形成时物质和能量所起的作用，我们必须考察这

两者在大爆炸的早期时刻是如何分布的。幸运的是，现代射电天文学对此时期提供了一个窗口。在对布满全部空间的微波背景辐射的分析中能够见到原初宇宙的一个异常清晰的轮廓。30 多年前对此辐射的发现的确是一个偶然事件，但却使得科学能首次去研究大爆炸错综复杂的结构。

第十章 辐射的炫辉

1964 年，贝尔实验室的两位研究人员彭齐亚斯（Arno Penzias）和威尔逊（Robert Wilson），完成了一项惊人的发现，这一发现被证明是长期以来所寻求的对大爆炸学说的验证。但更值得注意的是，他们的观测结果——探测到了宇宙背景辐射——是事先完全未预料到的。

当彭齐亚斯和威尔逊在新泽西州的霍尔姆德尔用 6 米直径的射电抛物面天线，搜寻来自银河系的微波时，被一种奇怪的持续不断的“蜜蜂的嗡嗡声”所干扰，而且这种噪声，不论用什么样的办法都无法消除。起初，他们把这种“嗡嗡叫”归因于接收天线底座上的鸽子，是彭齐亚斯所戏称的鸽子的排泄物“白色的介电物质”干扰外来信号的结果。在他们将天线完全清理干净后，噪声仍然存在。最后，被迫得出结论：他们检测到了来自深空的真实的信号。

40 年代后期，物理学家伽莫夫（George Gamow）、阿尔法（Ralph Alpher）和赫尔曼（Robert Herman），曾在一系列的论文中，提出宇宙背景辐射的探测对大爆炸假说是一项重要的证明。他们估计，现在这一辐射的温度为 3 开（绝对零度以上 3 度）。迪克（Rober Dicke）在 60 年代进行了同样的计算，并立即领悟到彭齐亚斯和威尔逊发现的嗡嗡叫声的来源，清楚地认为他们已发现了从宇宙创生时冷却下来的辐射。后来，彭齐亚斯和威尔逊因他们的发现获得了诺贝尔奖。

宇宙背景辐射的一个值得注意的特色是它们的非常的均匀性。不论将抛物面天线转向何方，探测到的微波都具有相同的温度。从 60 年代后期到 70 年代前期，做的一次又一次的实验都得到这一均匀性的结果。

从某种意义上说，天文学家对宇宙背景辐射在整个天空在温度上的均匀性表示欢迎。因为这意味着它确实是一个宇宙的效应，而不是只与个别星系或宇宙的某一特殊部分有联系的局部现象。因此，研究人员确信这一能量来源应远远地追溯到大爆炸后的复合时期，而不是从更多平凡的来源发生的。

但另一方面，对微波温度的过分均匀反而感到不舒服。这是因为宇宙内结构形成的理论要求辐射背景有小的不规则性，但这些小起伏那时未被发现。

大多数科学家相信，宇宙背景的起伏是宇宙中结构的来源。按照大多数星系形成模型，从自上而下的泽多维奇模型到自下而上的皮伯斯模型，今天结构的种子都植根于早期宇宙的密度不规则性之中。换句话说，复合时期的宇宙必定有较密的区域，也有较稀的区域。随着时间的推移，较密区域通过它们较强的引力吸引越来越多的物质，生长出我们今天所认为的星系、星系团、超星系团、薄壁和纤维，较小的团块成长成较大的团块，等等。相反，较稀的区域其引力拉曳较小，于是成为我们所观测到的星系

之间的空间，如空洞。

物理学家曾计算过在复合时期所需要的不规则（密度起伏）的大小，以便形成我们今日见到的种种结构。他们曾估计出，必须约有在原初宇宙的密度中有 0.1% 的变化。换句话说，对平均值而言，某些区域必须有 0.1% 较高的密集，另一些区域有 0.1% 较低的稀疏。

其次，按照天体物理学说，在复合时期释放的辐射的温度变化，是直接和那个时期物质密度的密度起伏有联系的。因此，从理论上说，需要在宇宙微波背景中的温度“涟漪”反映出在物质分布中的波峰与波谷。

1977 年，天文学家施穆特（George Smoot）和他的来自劳伦斯·伯克利实验室和加利福尼亚大学伯克利分校的空间科学实验室的小组成员们，发表了关于背景辐射中温度变化的第一个证据。但这些差别，不是长期寻求的原初“涟漪”，它们表示的是叫做“偶极各向异性”的现象。

偶极各向异性是一个多普勒效应，是由于银河系穿行于宇宙微波海洋中的向前运动产生的，犹如航行于海洋中的船，冲向来临的波浪时的情形。我们的银河系不断地压经宇宙微波背景中的波前，由于多普勒效应，天空的微波辐射在银河系的前方和后方看来有所不同，前方显得热些，后方冷些。

这个难以捉摸的温度差，由伯克利小组所使用的灵敏辐射仪（射电波探测器）检测到了。该仪器放置在美国国家航空航天管理局（National Aeronautics and Space Administration，以下简称 NASA）的埃姆斯 U—2 喷气飞机上，高于大气层飞行。为了使此仪器感受偶极各向异性的能力增加到最大限度，将该探测器指向相反的两个方向。使科学家们快慰的是，它所记录的信号与对于多普勒效应的理论预测值符合得极好。

施穆特发现这些偶极起伏后，便开始计划搜寻来自早期宇宙的真正遗迹变化。为达到此目的，他设计了一个特殊的高精度探测器，名为差分微波辐射计（Differential Microwave Radiometer，简称 DMR）。在这类仪器中，DMR 可以说是举世无双的，因为它不是记录一点的温度，而是用一对天线去测量两个不同天区的温度差，这就能够比其他辐射计获得更精确的数值读数。它能测出百万分之一的温度差。

DMR 实际上由分别调谐到 3.3、5.7 及 9.6 毫米 3 个射电波长的辐射计组成。在这 3 个波长，宇宙背景辐射的强度大大超过来自其他辐射源的强度。例如，在这些波长，宇宙背景比星系的微波发射要强 1000 多倍。

施穆特做好他的 DMR 后，准备将其发射升空。由于“挑战者号”航天飞机的灾难性事故，NASA 的发射计划受到挫折。直到 1989 年早些时候，施穆特及其同事们才得到 NASA 的准许实施他们的探空计划。DMR 搭乘在一个叫做宇宙背景探测者（Cosmic Background Explorer，简称 COBE）卫星上，于 1989 年 11 月发射升空。COBE 的飞行轨道位于不受地球大气影响的大气层之上，但在地球辐射带之下，以避免该带中带电粒子的干扰。

1992 年，施穆特宣布发现了等待已久的宇宙背景中的遗迹——在天空 1 亿多光年大小的天区内的热的冷的区域。这些区域内温度的变化对于平均温度 2.735 K 来说在 10 万分之一度左右，也就是说，该变化约为百万分之六。

天文学家们立即看出，施穆特的观测结果是支持大爆炸模型的有力证据。他发现的平均辐射温度精确地对应于（达到小数点后第 6 位）有关宇宙背景辐射的理论预见。其次，他发现的温度起伏也与结构形成方案的理论值符合得很好。最后，其结果提供了宇宙中存在着大量暗物质的证据。总之，施穆特与其同事们的发现是 20 世纪后期宇宙学的一项重大胜利。

在获得了早期宇宙辐射轮廓的详细信息后，天体物理学家们便忙于校正他们的结构形成理论。当一些科学家在设法发展关于星系是如何从原初种籽生长起来的增强模型时，另一些人则在时间上进一步上溯企图说明这些团块本身的来源。他们仔细考虑这些微小的起伏，是如何发生得正好在大小和数量上提供宇宙结构的原始基础的。

当前，有许多关于原初密度起伏的重要理论。暴涨宇宙学说特别引人注目。按照这一学说，在宇宙早期的发展史上经历了一个非常快的生长期。宇宙经过此急骤胀大的阶段后，平静

向上、再向上及向远方

COBE 卫星的天空扫描决不是对宇宙微波背景起伏唯一成功的观测手段。气球虽然不能升到卫星那样的高度，但仍被证明是行之有效的仪器携带者。用气球做运载工具比卫星便宜得多，计算安排也比卫星探空容易得多。

1989 年，气球载运的仪器横越新墨西哥州的天空 12 个小时，获得了详细的微波背景温度的读数。来自麻省理工学院和普林斯顿大学的一科学家小组用了差不多 4 年的时间分析从这个探测装置获得的资料，1993 年 2 月公布了他们分析的结果。使大家感到欣慰的是，他们的数据与 COBE 的温度图非常接近。

其他的气球任务曾试图比 COBE 做得更好，寻找微波背景中比 COBE 所揭示的更为精细的结构。更精致的测量将会告诉我们宇宙在复合时期的更多信息。在此时期，宇宙辐射可以自由传播，宇宙结构开始形成。这类以气球为运载工具对天空扫描的任务，包括毫米波各向异性实验（Millimeter Anisotropy Experiment，简称 MAX）和中等尺度各向异性测量（Medium—Scale Anisotropy Measurement，简称 MSAM）。两者都是在 90 年代初期进行的。

地成为我们今天所见到的非常之慢的膨胀的形式。

暴涨宇宙学描述了一种星系的种籽可能形成的途径。按照暴涨学说，这些不规则是在宇宙开始时作为微小的量子起伏产生的（量子起伏是量子力学所预见的微小的能量场，它必定会自发地在任何一个微小空间内出现）。其次，这些起伏当宇宙暴涨时伸展开来，极大地扩张了体积。最后，它们大到足以成为宇宙结构的种籽。

另一个理论叫做纹理学说。纹理是宇宙结构中假定的“缺陷”，人们相信这种缺陷是在相转变时产生的。相转变（由于温度变化在形式上的突然改变）现象在自然界是很多的。例如液态的水当温度下降时变为固态的冰。人们认为，当宇宙冷却时它也同样经历过类似的变化。当其渐冷时，其能量场同样地要有变化。多半情况下，其形式类似于冰在结得很快时出现的裂隙形成的方式。纹理——裂缝状的形式——在早期宇宙的快速变化的力场中发展开来。然后，围绕着具有纹理的空间的区域，宇宙结构按照这一模型生长出来。

以上介绍的仅是近年来出现的宇宙结构学说中的两个。当微波背景辐射的轮廓被进一步更多地了解时，科学家们便能更好地对这些学说进行鉴别比较。随着观测数据如此之快地增长，人们将会同样快地掌握宇宙中产生结构的全过程。

结束语 宇宙的命运

从彭齐亚斯和威尔逊的发现开始，20 世纪最后的 30 多年是宇宙学发展史上获得辉煌成就的年代。我们已能探测到更遥远的空间和回溯到更古老的年代，这是几十年前，任何人都难以想象所能达到的时空领域。我们确实已站立在比以前任何年代能得到更深奥、更丰富的宇宙知识的门槛上了。

由于科学家们多年来的不懈探索，对于宇宙深处的真实情况我们已经知道了不少。首先，我们已知道宇宙曾经有一个时刻非常之热并且是难以想像的小。其次，当宇宙很年轻时，我们推测它是均匀的，或者是不知何故，任何一个大的不规则在暴涨时期被平滑掉了。但不管整个宇宙如何地匀称，其中一定点缀着星系祖先的微小种籽。

在过去年代的某一时刻，简单的原子形成了，宇宙辐射能自由地在空间传播（最终，这种辐射的图像被彭齐亚斯、威尔逊、施穆特和其他一些人绘制了出来），新产生出来的原子及时地聚集在宇宙的较密区域——可能是充满大质量暗物质的区域，热物质的巨云凝聚成星系、星系团及超星系团——宇宙结构形成了。与此同时，更大的宇宙结构，如宇宙气泡、纤维和空洞以及突出的宇宙长城开始成形。当宇宙不断地膨胀时，这些天体也一直不断地相距越来越远，而背景辐射也越来越冷。

很快，恒星在星系中诞生。第一代恒星——星族Ⅰ恒星——主要是由氢气形成的。当它们死亡时，常出现凶猛的爆发，从它们的灰烬中诞生出较年轻的星族Ⅱ恒星。其中的一些形成了行星系统。一部分行星系统支持智慧生命的繁衍。这些行星中的一个叫做地球的，你正稳坐在它上面阅读这本宇宙编年史。

科学家们有正当理由自信上面叙述的这些事件中的大多数确实发生过。基于 30 多年来天文学家和物理学家搜集到的证据，特别是关于宇宙微波背景的信息以及关于今天已知基本粒子数的数据，可以说对宇宙创生大爆炸的情景已有相当的了解。

但是，天文学家认为，在他们了解宇宙起源的同时，对于宇宙今后的命运他们还难以捉摸。宇宙是开放的、闭合的还是平直的（这些是在第六章讨论弗里德曼模型时所揭示出来的三种可能性）？换句话说，宇宙将一直膨胀下去呢，还是膨胀片刻然后在某一天又开始收缩，还是总在以上两种极端情形之间摇摆？

如果宇宙是开放的或平直的，其最终的命运将是一个绝对寂静的结局。渐渐地，随着宇宙不断地膨胀，越来越多的恒星将耗尽它们的核燃料而成为白矮星、中子星及黑洞。白矮星最终将完全燃尽成为一个死寂的叫做黑矮星的天体。最后，随着最后一批发光恒星的死亡和通过霍金辐射（见第四章）的黑洞蒸发，空间没有了可用的能量，没有了恒星能源的驱动力

或来自任何其他燃料源泉的能量。所有的物理过程都到了完全停止的时刻。这一最后状态，叫做热寂，将构成时间本身的终结。

如果宇宙是闭合的，则是另一番景象，其苍白的年代将更具戏剧性。在未来的某一时刻，哈勃膨胀将停止，转而成为普遍收缩。当空间本身向里收缩时，天空所有的星系都将逆转它们的行程，转为互相接近。最后，在一个极相似于时间反转的大爆炸事件中，宇宙将聚缩为一个奇异性的大小为数学点的区域。

理论工作者已经证明这几种不同的可能性可由参数 Ω 来描绘。这一参数表示宇宙中之质量相对于宇宙重行坍缩所需的临界质量之比。目前，天文学家有好几种测定 Ω 之值的方法。

方法之一是估计宇宙中的发光物质和暗物质各有多少。研究人员已确知单靠发光物质是不足以使宇宙闭合的。其次，根据现在对暗物质的发现，存在于空间中的暗物质的量也不能满足平直的或闭合的宇宙之需要。这些结果导致宇宙是开放的结论。

但从这些考虑便得出宇宙最终命运的结论仍为时过早。第一，对不发光物质的研究尚在起步阶段。而且天文学家正在用已收集到的新数据对暗物质的性质和数量的估计进行修正。今后，每重新评估一次，对暗物质的质量估计便会前进一步。

况且，这种计算 Ω 之值的方法有赖于宇宙临界质量的精确测定。虽然感到遗憾的是，临界质量参数是哈勃常数的函数。因为天文学家尚未钉牢哈勃常数，临界质量是多少也难以肯定。

为了排除这些障碍，一个由加利福尼亚大学伯克利分校的珀尔马特 (Saul Perlmutter)、彭尼帕克 (Carl Pennypacker) 和戈德哈伯 (Gerson Goldhaber) 领导的英—美科学家小组，将另辟蹊径寻找 Ω 之值。他们寻找的是一个与 q 有关的常数，叫做减速因子的数值。该因子的定义为宇宙膨胀速度随时间而变化的变化率。对于一个弗里德曼宇宙来说，该因子之值正好等于 Ω 的一半。因此，减速因子之值小于 $1/2$ 、等于 $1/2$ 和大于 $1/2$ ，分别表示宇宙是开放的、平直的和闭合的。

英—美小组的测试方法，包括应用位于非洲西北海岸加那利岛上的聚光本领较强的、以牛顿的姓名命名的望远镜来测量遥远超新星爆发时的红移和距离。他们研究的超新星相当地遥远，其光线到达地球要经过几十亿年。因此，这类天体体现宇宙历史的较早时期——一个可假定为不同于今天的哈勃膨胀的时期。英—美小组希望能记录下这一差异，计算出减速因子，然后用此值去预测宇宙的命运。

当代天文学家们时常发现他们自己陷进稀奇佯谬的网中。他们按照广义相对论分析宇宙所含物质的分布情形来预测宇宙的命运。但是为了要明白这些物质是如何分布的，他们又时常做出关于宇宙长期行为的一些假设——它是开放的、闭合的、还是平直的。例如，暴涨学说要求今日的宇宙

是平直的。

为了摆脱这一困境，研究人员学会更虚怀若谷地对待宇宙的形状和结构问题——避开所有关于大爆炸性质的不必要的假设。许多人转变到宇宙的“设计者模型”，该模型把目前对宇宙年龄的估计、结构的等级式和物质分布三者没有矛盾地结合起来。这些新奇的学说特别适合于调和现在知道的宇宙学的数据。但这些学说时常偏离弗里德曼模型，潜藏着不寻常的特色，如爱因斯坦抛弃掉的宇宙常数项。只有将来的实验，才能说明这种从根本上的离开弗里德曼模型是否是必要的。

现在，的确是一个研究宇宙结构的激动人心的时代。一方面，近年来在对恒星、星系和其他天体的研究方面取得了长足的进展，好像 HST 差不多每几个星期都有新的发现。另一方面，像年龄问题、暗物质的窘境、大吸引体之谜和宇宙的命运等等问题使得一般自信的科学家用感到困惑。对宇宙越熟悉，感到它越古怪。这就足以使你希望抓住一台望远镜，步入夜空，亲自去看看宇宙在发生些什么事情。

