

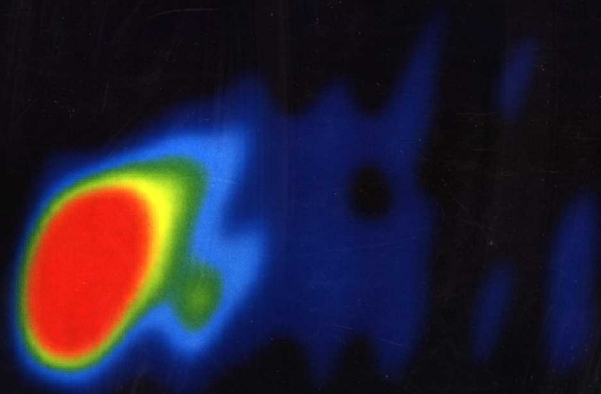
THE EDGE OF INFINITY

第一推动丛书

无限远的边缘

[美] 弗尔维奥·梅利亚 著 萧耐园 译

宇宙中的特大质量黑洞



湖南科学技术出版社

SUPERMASSIVE BLACK HOLES IN THE UNIVERSE

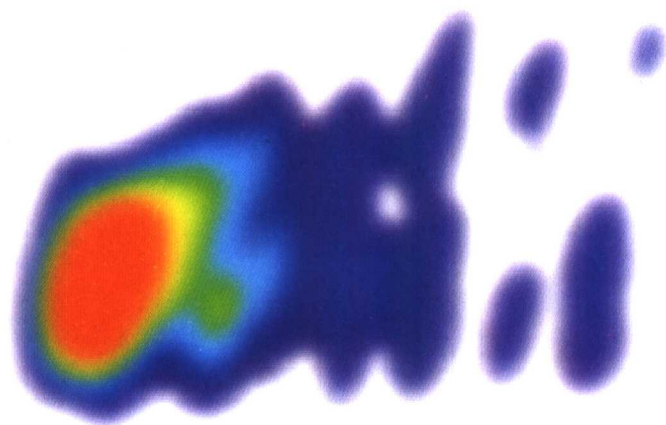
THE EDGE OF INFINITY

第一推动丛书

无限远的边缘

[美] 弗尔维奥·梅利亚 著 萧耐园 译

宇宙中的特大质量黑洞



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无限远的边缘: 宇宙中的特大质量黑洞/(美) 弗尔维奥·梅利亚著;
萧耐园译. —长沙: 湖南科学技术出版社, 2006.11
(第一推动丛书)

ISBN 7-5357-4713-2

I. 无... II. ①梅... ②萧...

III. 黑洞—普及读物 IV. P145.8-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 111042 号

The Edge of Infinity by Fulvio Melia

© Cambridge University Press 2003

All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form

Simplified Chinese Edition Copyright: 2006 Hunan Science & Technology Press

湖南科学技术出版社通过英国剑桥大学出版社独家获得本书中文简体字版中国大陆地区出版发行权

本书根据剑桥大学出版社 2003 年版本译出

著作权合同登记号: 18-2006-013

版权所有, 侵权必究

《第一推动丛书》

无限远的边缘

——宇宙中的特大质量黑洞

著 者: [美] 弗尔维奥·梅利亚

译 者: 萧耐园

责任编辑: 吴 炜 戴 涛

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 0731-4375808

印 刷: 湖南新华印刷集团有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南望城·湖南出版科技园

邮 编: 410219

出版日期: 2006 年 11 月第 1 版第 1 次

开 本: 710mm×970mm 1/16

印 张: 12

插 页: 2

字 数: 169000

书 号: ISBN 7-5357-4713-2/N·148

定 价: 36.00 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，无数仁人志士意识到，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作了艰苦卓绝的奋斗。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。

正是在这个意义上，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

序 言

vii 大自然包含着如此奇异的成员，根据它们当前呈现的面貌，殊难追溯它们的起源。如果你想要描述它们，一定不能绕开广义相对论。它的创立几乎已有一个世纪，在物理学的发展历史中，它可能曾经是最超前的理论。它的发展如幻似梦，曾经证实了它的意义的4次验证¹——其中2次被确认为具有获得诺贝尔奖的水准——竟然没有一次揭示出这一辉煌理论的核心，其特征是对时空结构的最深奥的扰动。

宇宙会生成奇点²，致使物质义无反顾地向这点塌陷，并永远埋葬在那里，爱因斯坦曾经对这种设想犹豫不决。可是，这正是他的引力理论的最惊人的成果。

令人瞩目的是早在18世纪末期，在牛顿力学的范畴内，认为最重的恒星暗淡无光并且它的引力场能使光线弯曲的思想，已经切实提出来了。约翰·米歇尔³牧师在发表于《皇家学会哲学通报》上的一篇论文中提出，如果一颗恒星的质量足够大，它的逃逸速度将超过光速，要是光线由粒子组成，光线将落回到恒星表面，因而这类恒星是观测不到的。他用“暗星”这个词去生动地描绘这种奇特的性质（顺便说明，这个讨论看来是对宇宙中存在暗物质的首次论述）。

viii 考察这类天体如何异乎寻常，确实又经过了将近200年，这才慢慢显



示出现在被称为“黑洞”的这类天体存在的某些证据。近来，天文学家随着一系列逐步深入的惊人发现而阔步前进，许多发现是由诸如哈勃空间望远镜⁴、钱德拉 X 射线天文台⁵这类空间设备取得的，它们处于天体一览表中有重大变迁的这一端。

20 年前，认为有大如太阳系那样的巨型黑洞的想法，似乎更像是科幻作品的素材，而与现实世界无缘。特大质量黑洞被普遍认为是宇宙中最具摧毁力的，难以纳入天文学家心目中星系、星系团这种高度有序的结构之中。但是我们现在发现这些天体贡献了渗透于星系际介质中的多达一半的辐射，其数量有 2 亿之多，隐藏在已知宇宙的广阔空间。

星系是怎样形成的这一问题确实还在困扰着天体物理学家，他们尽力解决为什么原始气体聚集形成如今所见的物质团块这个问题。特大质量黑洞在这一过程中的关键作用已经越来越受到关注。它们的势不可挡的引力可能触发凝聚，终于导致产生银河系这样的旋涡星系的宏伟图景。它们可能催生了恒星的爆发性形成、行星，甚至还有生命。所以特大质量黑洞可能起初曾经在这里，因为它们具有单向膜，只拉进物质，但不让任何物质外逸到我们所知的宇宙，它们都将在这里直到终结。

天文学界发现了黑洞，这一令人振奋的消息激发了公众的想像力。这是促使我写作本书的要素。我感谢杰奎琳·加吉特 (Jacqueline Garget)，在整个写作过程中她坚定地支持我，并早就领会对这一题材作品的需求。我热忱地感谢科学基金会、美国宇航局和阿尔弗雷德·P·斯隆基金会，为 xi 了他们 15 年来慷慨地支持我在这一领域的研究。

最后，我向我生命的支柱——帕特里西亚 (Patricia)、马科斯 (Marcus)、埃利亚娜 (Eliana) 和阿德里安 (Adrian) 以及给予我宝贵引导的双亲致以诚挚的谢意。

弗尔维奥·梅利亚

亚利桑那大学，塔克逊

目 录

序 言

1 宇宙中最剧烈的天体

在现实世界边缘的灯塔

类星体的寄主星系

“正常”星系的活动核

1

3

10

15



2 称量特大质量天体

等离子体的吸积

解读来自下落气体的信号

银河系中心

20

23

30

35



3 黑洞的时空

不可超越的引力

看不见的维数

物质无法抗拒完全坍缩

黑洞的时空

旋转的黑洞

39

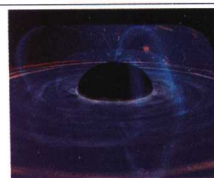
39

42

47

53

56





4 特大质量黑洞的形成

最初的种子

星系的类型

特大质量黑洞的普查

星系碰撞

仙女星系与银河系的碰撞

中等质量的黑洞

62

63

71

74

80

84

94



5 等离子体的相对论性喷射

拍摄特大质量黑洞的像

来自特大质量黑洞的喷流

比光的运动更快

97

101

106

112



6 宇宙中的特大质量黑洞

哈勃深空探测

钱德拉深空探测

宇宙辉光

未来的方向

宇宙本身是一个大黑洞吗

终极命运

121

121

123

124

127

131

138



译 注

参考文献

索 引

142

166

172





1 宇宙中最剧烈的天体

历史以激动人心的步伐跨越了 1963 年。国际社会兴致勃勃地欢迎一个新成员——肯尼亚的诞生，它在这一年从大英帝国的统治下获得独立。同时，越共军队正在开展推翻吴庭艳¹统治的斗争，并使美国深深地陷入南亚的泥潭，导致美国与另一个超级大国——前苏联之间 10 年的紧张关系。可笑的是也正是在这一年，美国和前苏联之间的第一个禁止核试验条约²签订，总算是缓和日益加剧的核紧张的暧昧不定的努力。就社会的个人而言，贝蒂·弗里丹³（Betty Friedan, 1921~2006）刚刚出版的《女性奥秘》使促进妇女权利的争端再次浮出水面。在读者面对现代妇女抛弃她们传统角色和想法的时候，随着抗麻疹疫苗的发现，人类在整体上已对自然界占了上风。1963 年肯尼迪总统⁴遇刺身亡的悲剧也令人记忆犹新。

这些令人眼花缭乱的历史事件充斥着 1963 年的世界，就在这样的背景下，两个较小的事件终于导致发现宇宙中最剧烈的天体。在帕洛玛山天文台，马丁·施米特（Maartin Schmidt）正在深入探究恒星状天体的本质，它的特点实在反常，同时得克萨斯大学的罗伊·克尔（Roy Kerr）在解阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein, 1879~1955）的广义相对论性的场方程时，正在做出突破性的发现。克尔的工作终于揭示了旋转黑洞周围时空的性质，现在认为它在给极度集中的物质输送能量，正是这种物质的高度集中于 1963 年呈现在施米特的案头，曾导致他迷惑不解。黑洞也许是宇宙中最扑朔迷离的天体，在它包含的空间区域之内，引力极度强大，连光

线都不能逃逸——因此它被称为“黑洞”。在黑洞附近产生的光线的径迹，因强大的引力场而弯曲，以致弯向它们的内部而消失，在其他明亮介质的背景中产生黑暗的反差。

施米特书桌上的天文学谜团曾经是与剑桥第三射电源表中的第 273 号天体有关的一个恒星，这个天体的符号是 3C 273。多少世纪以来，这类天体都是默默无闻的，在夜空中只是一些微弱的光点。然而，20 世纪 40 年代射电望远镜的发展和应用，使人们逐渐认识到宇宙的某些区域正在发射出十分强烈的厘米波段的辐射。在临近 1963 年的时候，英国天文学家西里尔·哈扎德（Cyril Hazard）设计了一种巧妙的方法来对这类天体进行精确定位。他提出应用月掩星⁵，因为当月面经过射电源的时候是有可能记录射电信号消失和再现的精确时刻的。这样，天文学家就能在月掩星发生的时候，测定天空中哪一个已知的可见天体与厘米波段的辐射源相关。

哈扎德计划用设置在澳大利亚内地、离悉尼大学几百英里的帕克斯射电望远镜实施测量。但是他建议的这一观测计划几乎没能实施。那一夜他上错了火车，未能赶到观测现场。所幸的是，以约翰·波尔顿（John Bolton）台长为首的天文台的同事们无论如何都要继续实施这个计划。其实这是相当靠不住的行动，因为要观测的区域过于接近地平线，望远镜不能充分倾斜过来记录观测。天文台的同事们义无反顾，他们砍掉了干扰观测的树木，卸掉了望远镜的安全螺栓，使得几千吨重的设备能够充分旋转，以锁定掩星。

哈扎德的实测进行得很出色，那晚用帕克斯射电望远镜跟踪的射电源——3C 273——能够被鉴定为室女座内类似单个恒星的天体。它看来像相当暗淡的天体，但是它的形态使人认识不到这一事实，即这个类似恒星的射电源（因此有了“类星体”这个名称）是一个庞大的辐射源。它的可见光的特点——基本上是光谱的颜色——是以前从来没有看到过的。施米特认识到呈现在他面前的彩色图像其实是由氢原子产生的，只是相对于在实验室里产生的波长，它的波长移动了 16%（马丁·施米特将 1 页的论文发表在 1963 年的《自然》杂志，报告了这个发现），终于解开了这个谜团。但是，这是否就只是说明在太空的物理机制比我们在地球上所见的很



不相同呢？

在现实世界边缘的灯塔

答案原来就是 3C 273 正在远离我们。正如我们所听到的火车汽笛声取决于火车以多快的速度离开或者驶近，光线波长的位移是光源移动速度的指示器。光线的红移——即光线的波长增加——越大，光源的退行速度越快（类似地，“蓝移”即指光源正在接近我们）。⁶ 在施米特和他的同事们看来，波长的位移是十分显著的，因为从埃德温·哈勃⁷（Edwin Hubble, 1889~1953，哈勃空间望远镜就是以这位伟大的天文学家命名的）所在的时代起已经知道，宇宙距离直接正比于速度⁸。根据施米特对 3C 273 测定的红移，它一定比原先人们所想象的要远得多。

为了理解这一解释的起源，我们必须把日历往回翻过 40 年，回到“宇宙”的观念还没有完全孕育的时期。在 20 世纪 20 年代之前，哈勃的大部分同事认为银河系，即南半球的夜空中旋涡状密集的恒星，基本上就构成了整个宇宙。银河系带着我们的太阳以每秒 250 千米的速度运动，约 2.2 亿年环绕它的中心旋转一周，因此它看上去相当大，大到足以满足我⁴们认为宇宙相对于人世万物无比巨大的根深蒂固的观念。但是哈勃在南加利福尼亚威尔逊山寒冷的山顶观测宇宙深处，确认银河系只不过是许多星系中的一个，从而向无比广大的宇宙深处发起了挑战。

在 20 世纪 20 年代末，当全世界正处于经济危机的悬崖边的时候，哈勃以另一个更令人瞩目的发现让科学界震惊：他宣称由星系点缀的宇宙正在膨胀⁹。星系这类发亮的标记，恰如正在膨胀着的气球上的斑点，正在彼此分离，分离的速度随距离而增加。阿尔伯特·爱因斯坦（图 1-1）早先曾经假设宇宙是静态的和永恒的，这一发现使他也感到吃惊，并在 1929 年无奈地承认并撤销他所宣称的“一生中所犯的最大错误”。现在哈勃的理论被看做是宇宙起源的大爆炸理论的第一个证据，根据这个理论，我们的这个宇宙不仅有时间上的起源，而且显然是从一个点上开始不可逆转地膨胀，起初所有的物质都压缩在这个点上。这一发现让哈勃在世界上

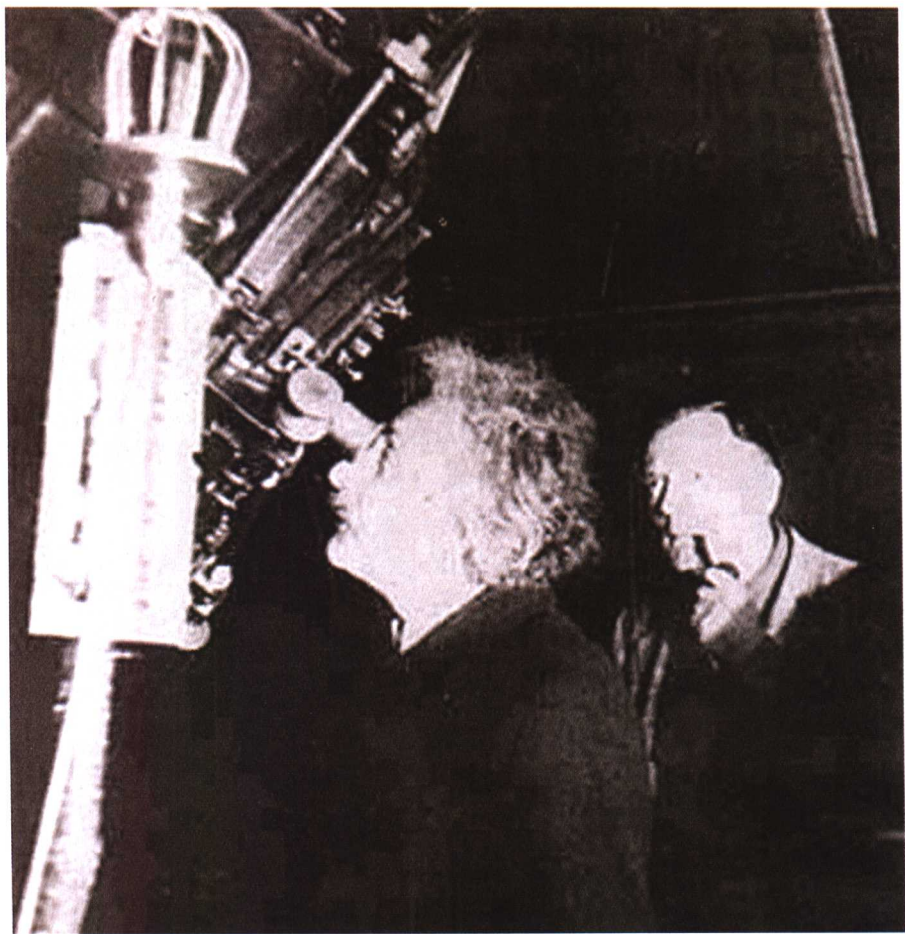


图 1-1 1930 年 1 月，阿尔伯特·爱因斯坦在威尔逊山访问了埃德温·哈勃，后者正是在那里发现了宇宙膨胀。在这张照片上，哈勃（右方）注视着正通过 100 英寸（约 254 厘米）望远镜的牛顿焦点观测星空的爱因斯坦（左方）（摘自埃德温·哈勃论文集。感谢加利福尼亚州圣马力诺市亨丁顿图书馆允准复制）



赢得了极高的声誉，在 20 世纪 30~40 年代成为好莱坞深受欢迎的客人，他在那里与一些明星，如查理·卓别林 (Charlie Chaplin)¹⁰、海伦·海斯 (Helen Hayes)¹¹ 和威廉·兰多尔夫·赫斯特 (William Randolph Hearst)¹² 等成了朋友。

那时人们已经知道来自某些外观奇特的星云（在那个时代，它们还没有与星系联系起来，而被认为只不过是发光的气体球）的光线比它们本来应有的状态显得更红。对于这种所谓的红移，远离我们的运动看来是最可能的原因。哈勃在仔细研究之后，确定了退行星云的距离，从而发现了被称为哈勃定律的规律：星系离地球越远，它看起来移动越快。

由于哈勃关于宇宙和宇宙学领域里的发现和创见，他理所当然地获得了许多奖励，但是直到他逝世都缺失的一个奖项是诺贝尔奖。然而，这并非由于他不努力，因为在 20 世纪 40 年代晚期，他甚至雇用了一名代理人宣传他的辉煌的工作。就在那个时候，诺贝尔奖委员会把天文学领域（他本来应该在这一领域获奖）添列到物理学的相关学科中去。可惜已经太晚了，哈勃于 1953 年逝世。不过他的英名永存，镌刻在哈勃空间望远镜的镜筒上，这台望远镜正在成功地实现着由他在南加利福尼亚寒冷的山顶上 6 开创的事业。

所以在哈勃做出惊人发现的 30 年之后，施米特毫无困难地说服了他的同事们，使他们相信这 16% 的红移要归因于来自 3C 273 的光线蕴含了几乎每秒 3 万英里（约 4.8 万千米）的退行速度，因此它与地球的距离为 30 亿光年（1 光年是光线在 1 年里走过的距离。作为比较，光从太阳到达地球仅需 8 分钟）。天文学家由此得出结论；3C 273 的类似于恒星的像清晰地显示了它的真实的本质；它一定属于宇宙内最强有力的辐射源之列，以致在这么大的宇宙膨胀过程中显得如此活跃。

钱德拉 X 射线天文台拍摄了这一具有历史意义的天体的新近的像（参看图 1-2）。这个当代最高水平的探测器原先称为高级 X 射线天体物理卫星，于 1999 年由航天飞机携带升空，后来被重新命名为钱德拉 X 射线天文台，以纪念已故印裔美籍诺贝尔奖获得者苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡 (Subrahmanyan Chandrasekhar)¹³。钱德拉这个词在梵语中的意思是“月

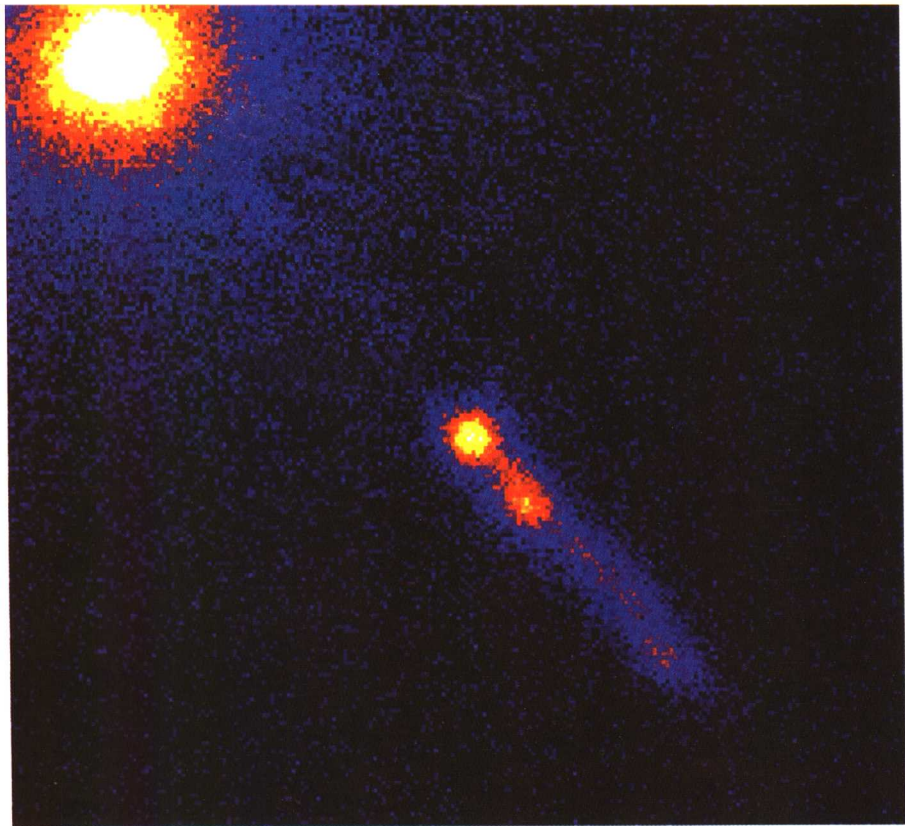


图 1-2 发现于 20 世纪 60 年代初期的类星体 3C 273（左上角明亮的天体）是第一批被证实为“类星射电源”（类星体）的天体之一，虽然带有令人十分疑惑的性质，但它显示出令人难以置信的光学和射电亮度。天文学家通过深入分析得到深刻的结论，即 3C 273 和其他同类天体完全不是恒星，而是远在几十亿光年之外的令人难以置信的剧烈的天体。这张像由美国宇航局的钱德拉 X 射线天文台用它无与伦比的高分辨率拍摄。它的大小是 22×22 角秒，在 3C 273 的距离上大致相应于 2000×2000 光年。¹⁴ 类星体常常从它们的核心发射高能量的喷流，速度非常接近光速。这里，钱德拉 X 射线天文台卫星首次展示了由 3C 273 的喷流产生的 X 射线的稳定辉光，它的每一个亮结点比许多其他类似天体的全部高能输出还要亮（承蒙 H. L. Marshall 等、美国宇航局和麻省理工学院惠赐照片）



亮”或“明亮的”，十分符合这次使命的含义，映衬了钱德拉塞卡不倦地追求知识和真谛。本书的许多内容在于展开黑洞理论和钱德拉 X 射线天文台正在研究的其他现象。作为 20 世纪最优秀的天体物理学家之一，钱德拉塞卡受到了广泛关注，他研究了支配恒星结构和演化的物理过程的理论，为此而荣获 1983 年诺贝尔奖。钱德拉 X 射线天文台分辨细节的能力提高了 50 倍，在 X 射线天文学的领域引入了一场革命，并以它超过 15 米的长度和大于 50 吨的质量，成为航天飞机送入地球轨道的前所未有的最大人造天体之一。

然而，类星体的故事并不到此为止，天文学家们把 3C 273 冠以宇宙中最剧烈的天体，还致力于揭示它的惊人的特点。他们立刻认识到 3C 273 及其同类天体的全部光能输出的变化只发生在 10~20 个月的期间内，这意味着产生可见光的区域不会超过几光年——基本上只是太阳与它最邻近的恒星之间的距离。设想有一群人正在翘首企盼一位著名演员在广场的某个角落露面，突然这群人的一边有人先睹芳容，并迅速地把消息传给旁人。人群中的每一个人都得到通报并转脸望向演员所需的时间，即其间经过的秒数，取决于消息在一人接着一人之间传递的快慢。人群越大，每个人都把目光投向演员所需的时间就越长。在 3C 273 内，可感知的最快信号以光速传播，所以这个最剧烈的辐射源不可能大于光在观测到的 10~20 个月之内经过的距离。由此天文学家推断，即使与太阳的邻近空间相比，这个宇宙中最剧烈的天体也是相当的小，更不能与银河系这么大的结构相比，后者延伸的距离要过大过 10 万倍。

诸如钱德拉 X 射线天文台之类的 X 射线探测器的探测结果进一步验证了这些结论，表明类星体的 X 射线辐射比可见光更明亮。这些 X 射线的变化周期只有几小时，说明辐射源的大小要小于海王星轨道。事实上，类星体是迄今发现的最剧烈的 X 射线辐射源，其中有一些相当明亮，以致在 120 亿光年之遥也能看到。每个类星体释放的典型能量远大于整个星系发出的能量，可是驱动这么剧烈活动的中央发动机只占据了小如太阳系的空间！

现在，在根据类星体的可见光首次证实这类扑朔迷离天体之后的 40