

DISCOVERING BLACK HOLES

AN EVOLUTIONARY
VIEW OF THE UNIVERSE

《环球科学》杂志社 编

“发现”黑洞

进化的宇宙观



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



DISCOVERING BLACK HOLES

AN EVOLUTIONARY
VIEW OF THE UNIVERSE

《环球科学》杂志社 编

“发现” 黑洞

进 化 的 宇 宙 观



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

黑洞是一种神秘的天体，在我们的认识里，它拥有强大的引力，可以吞噬一切，甚至能让时空发生极度弯曲。任何物体如果离黑洞太近，那就是一次单程的、没有回头路的旅程。在本书中，以霍金、彭罗斯、萨斯坎德、张双南等为代表的全球十多位著名物理学家将数十年的探索与研究化为了文字，通过这些动人心弦的文字，读者会逐渐了解黑洞这个神秘的天体是怎样形成，又是怎样存在于广袤的宇宙当中，甚至对其他天体产生影响的。

图书在版编目（CIP）数据

“发现”黑洞：进化的宇宙观 / 《环球科学》杂志社编.
—北京：机械工业出版社，2019.6
ISBN 978-7-111-62881-1

I. ①发… II. ①环… III. ①黑洞 IV. ①P145.8

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第105976号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：赵屹 责任编辑：赵屹 韩沫言

责任校对：黄兴伟 责任印制：孙炜

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

2019年7月第1版第1次印刷

169mm × 239mm · 15.5印张 · 3插页 · 297千字

标准书号：ISBN 978-7-111-62881-1

定价：99.00元

电话服务

客服电话：010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

机工教育服务网：www.cmpedu.com

目 C O N T E N T S 录

前言

CLASSIC

EXPLORATION

007 第一章 经典

008 彭罗斯：黑洞必然存在

罗杰·彭罗斯 (Roger Penrose)

024 霍金辐射：逃出黑洞的粒子

史蒂芬·霍金 (Stephen Hawking)

036 萨斯坎德：落入黑洞的信息去哪了

伦纳德·萨斯坎德 (Leonard Susskind)

048 基普·索恩：把黑洞看成一张膜

基普·S. 索恩 (Kip S. Thorne)

理查德·H. 普赖斯 (Richard H. Price)

065 第二章 探索

066 黑洞判定标准

琼-皮尔斯·拉索塔 (Jean-Pierre Lasota)

080 捕捉黑洞影像

埃弗里·E. 布罗德里克 (Avery E. Broderick)

亚伯拉罕·洛布 (Abraham Loeb)

094 寻找种子黑洞

詹妮·E. 格林 (Jenny E. Greene)

106 黑洞喷流撼动星系团

华莱士·塔克 (Wallace Tucker)

哈维·塔南鲍姆 (Harvey Tananbaum)

安德鲁·费边 (Andrew Fabian)

118 靠近黑洞，验证广义相对论

迪米特里奥斯·普萨尔蒂斯 (Dimitrios Psaltis)

谢泼德·S. 德勒曼 (Sheperd S. Doeleman)

129 第三章 理论

130 地球上存在黑洞？

伯纳德·J. 卡尔 (Bernard J. Carr)
史蒂文·B. 吉丁斯 (Steven B. Giddings)

142 黑洞中心没有奇点？

张双南

152 黑星：夭折的黑洞

卡洛斯·巴塞洛 (Carlos Barceló)
斯特凡诺·利贝拉蒂 (Stefano Liberati)
塞巴斯蒂亚诺·索内戈 (Sebastiano Sonego)
马特·维瑟 (Matt Visser)

164 地球因黑洞而存在

凯莱布·沙夫 (Caleb Scharf)

172 黑洞点亮宇宙

迈克尔·D. 勒莫尼克 (Michael D. Lemonick)

185 黑洞火墙：量子力学与相对论的冲突现场

约瑟夫·波尔金斯基 (Joseph Polchinski)

195 第四章 猜想

197 黑洞是一部计算机

塞思·劳埃德 (Seth Lloyd)
吴哲义 (YJack Ng)

208 制造声波黑洞

西奥多·A. 雅各布森 (Theodore A. Jacobson)
雷诺·帕伦塔尼 (Renaud Parentani)

218 裸奇点：恒星的另一种宿命？

潘凯·S. 乔希 (Pankaj S. Joshi)

230 黑洞与离心力悖论

马雷克·阿图尔·阿布拉莫维奇
(Marek Artur Abramowicz)

240 从黑洞提取能量

亚当·布朗 (Adam Brown)



DISCOVERING BLACK HOLES

AN EVOLUTIONARY
VIEW OF THE UNIVERSE

《环球科学》杂志社 编

“发现” 黑洞

进 化 的 宇 宙 观



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

黑洞是一种神秘的天体，在我们的认识里，它拥有强大的引力，可以吞噬一切，甚至能让时空发生极度弯曲。任何物体如果离黑洞太近，那就是一次单程的、没有回头路的旅程。在本书中，以霍金、彭罗斯、萨斯坎德、张双南等为代表的全球十多位著名物理学家将数十年的探索与研究化为了文字，通过这些动人心弦的文字，读者会逐渐了解黑洞这个神秘的天体是怎样形成，又是怎样存在于广袤的宇宙当中，甚至对其他天体产生影响的。

图书在版编目（CIP）数据

“发现”黑洞：进化的宇宙观 / 《环球科学》杂志社编.
—北京：机械工业出版社，2019.6
ISBN 978-7-111-62881-1

I. ①发… II. ①环… III. ①黑洞 IV. ①P145.8

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第105976号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：赵屹 责任编辑：赵屹 韩沫言

责任校对：黄兴伟 责任印制：孙炜

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

2019年7月第1版第1次印刷

169mm × 239mm · 15.5印张 · 3插页 · 297千字

标准书号：ISBN 978-7-111-62881-1

定价：99.00元

电话服务

客服电话：010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

机工教育服务网：www.cmpedu.com

前

P R E F A C E

言

黑洞拥有强大的引力，可以让时空发生极度弯曲。这种极度致密的天体会吞噬一切，甚至连光都不放过。如果离黑洞太近，那就是一次单程的、没有回头路的旅程。不过，黑洞最非凡的力量，也许是让我们的想象力自由飞驰。对这种“宇宙禁区”了解得越多，我们的心灵就会受到更加强烈的震撼，就像在影院里，屏幕上的巨兽让我们心生恐惧——尽管坐在舒适的座椅上，我们也知道自己身处安全的环境中。

在本书中，霍金、彭罗斯、萨斯坎德、张双南等十多位著名物理学家将数十年的探索与研究化成文字。通过这些动人心弦的文字，你会知道，虽然黑洞拥有摧毁一切的能力，但它却会给科学带来极大的推动与影响。黑洞释放的力量塑造了周围的空间，为恒星和星系的演化提供了线索。这种看不见的天体也为我们了解宇宙带来光明的希望。

在尝试解决悬而未决的难题的过程中，天文学家了解到，宇宙中一些最为绚丽的现象就与黑洞有关。比如，当一颗大质量恒星坍缩形成黑洞时，它会释放强烈的伽马射线暴，甚至在数十亿光年外都能看到。超大质量的黑洞也可以存在于被称为“星爆”的区域中，在这样的区域中，恒星会以惊人的速度形成。关于黑洞的更多秘密，打开本书，你就能找到。

研究黑洞也会为物理学的其他领域带来启发。比如霍金先生提出的一些重要理论，将以前互不相关的三个物理领域——广义相对论、量子理论和热力学——联系到了一起。而物理学家对原初黑洞的研究，还引出了一个深奥的悖论，直指物理学中一个重要问题的核心：为什么广义相对论和量子力学是如此难以调和？在接下来的几年里，高能粒子加速器或许能够制造出黑洞的远亲——微型黑洞。这类人造黑洞将为物理学开辟一个全新的研究领域，它们的存在可以为更高空间维度的存在提供有力的证据。而且，通过观测微型黑洞的特性，物理学家或许可以探索那些高维度空间的结构特征。

本书中还有一些文章会探讨信息能否逃离黑洞、黑洞与宇宙的本质、黑洞会如何影响地球命运等宏大的、会让人对宇宙心生敬畏的话题。现在，好戏即将上演，请找一张舒适的椅子坐下，跟我们一起开始一场伟大的宇宙征途吧！

《科学美国人》主编

玛丽埃特·迪克里斯蒂娜 (Mariette DiChristina)

目
C O N T E N T S
录

前言

CLASSIC

EXPLORATION

007 第一章 经典

008 彭罗斯：黑洞必然存在

罗杰·彭罗斯 (Roger Penrose)

024 霍金辐射：逃出黑洞的粒子

史蒂芬·霍金 (Stephen Hawking)

036 萨斯坎德：落入黑洞的信息去哪了

伦纳德·萨斯坎德 (Leonard Susskind)

048 基普·索恩：把黑洞看成一张膜

基普·S.索恩 (Kip S. Thorne)

理查德·H.普赖斯 (Richard H. Price)

065 第二章 探索

066 黑洞判定标准

琼-皮尔斯·拉索塔 (Jean-Pierre Lasota)

080 捕捉黑洞影像

埃弗里·E.布罗德里克 (Avery E. Broderick)

亚伯拉罕·洛布 (Abraham Loeb)

094 寻找种子黑洞

詹妮·E.格林 (Jenny E. Greene)

106 黑洞喷流撼动星系团

华莱士·塔克 (Wallace Tucker)

哈维·塔南鲍姆 (Harvey Tananbaum)

安德鲁·费边 (Andrew Fabian)

118 靠近黑洞，验证广义相对论

迪米特里奥斯·普萨尔蒂斯 (Dimitrios Psaltis)

谢泼德·S.德勒曼 (Sheperd S. Doeleman)

129 第三章 理论

130 地球上存在黑洞？

伯纳德·J. 卡尔 (Bernard J. Carr)
史蒂文·B. 吉丁斯 (Steven B. Giddings)

142 黑洞中心没有奇点？

张双南

152 黑星：夭折的黑洞

卡洛斯·巴塞洛 (Carlos Barceló)
斯特凡诺·利贝拉蒂 (Stefano Liberati)
塞巴斯蒂亚诺·索内戈 (Sebastiano Sonego)
马特·维瑟 (Matt Visser)

164 地球因黑洞而存在

凯莱布·沙夫 (Caleb Scharf)

172 黑洞点亮宇宙

迈克尔·D. 勒莫尼克 (Michael D. Lemonick)

185 黑洞火墙：量子力学与相对论的冲突现场

约瑟夫·波尔金斯基 (Joseph Polchinski)

195 第四章 猜想

197 黑洞是一部计算机

塞思·劳埃德 (Seth Lloyd)
吴哲义 (YJack Ng)

208 制造声波黑洞

西奥多·A. 雅各布森 (Theodore A. Jacobson)
雷诺·帕伦塔尼 (Renaud Parentani)

218 裸奇点：恒星的另一种宿命？

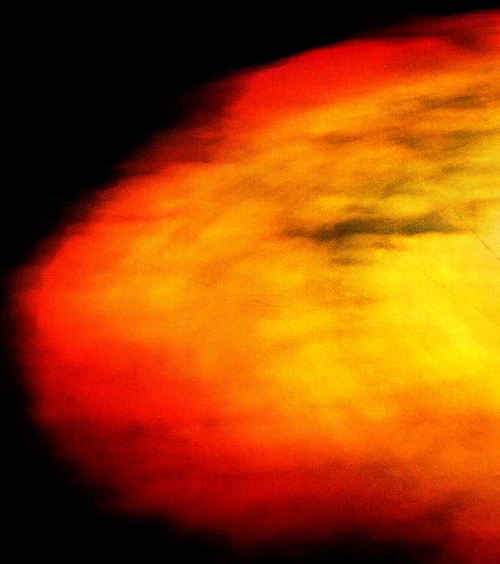
潘凯·S. 乔希 (Pankaj S. Joshi)

230 黑洞与离心力悖论

马雷克·阿图尔·阿布拉莫维奇
(Marek Artur Abramowicz)

240 从黑洞提取能量

亚当·布朗 (Adam Brown)



黑洞理论的建立与完善，
离不开彭罗斯、霍金、萨斯坎德、
基普·索恩等人的贡献，
他们在20世纪七八十年代提出的理论，
启发了一大批科学家。
让我们一起重温这几位科学家
曾经发表过的经典论述。

试读结束：需要全本请在线购买：www.ertongbook.com



第一章 **经**
CLASSIC
典



彭罗斯： 黑洞必然存在[⊖]

罗杰·彭罗斯 (Roger Penrose)

英国牛津大学的终身荣誉教授，他的研究跨越物理学、数学和几何学等诸多领域，特别是为广义相对论和宇宙学的发展做出了重大贡献。他也曾撰写书籍探讨人类意识和物理学规律之间的关系。

[⊖] 1972年，彭罗斯为《科学美国人》撰文，他认为对于某些天体来说，黑洞是它们命中注定的归宿。

精彩速览

- 根据广义相对论（其他引力理论也有类似结论），过于致密的天体无法稳定存在，会塌缩成一个任何物质都无法逃出的黑洞。
- 理论研究发现，形成黑洞的天体无须具备对称性，而且一旦黑洞形成，中心就会出现一个使现有物理理论失效的奇点。
- 天文学家试图通过黑洞引力给其他天体运动造成的影响来寻找它们，黑洞也可能是很多天体物理现象背后的真正原因。

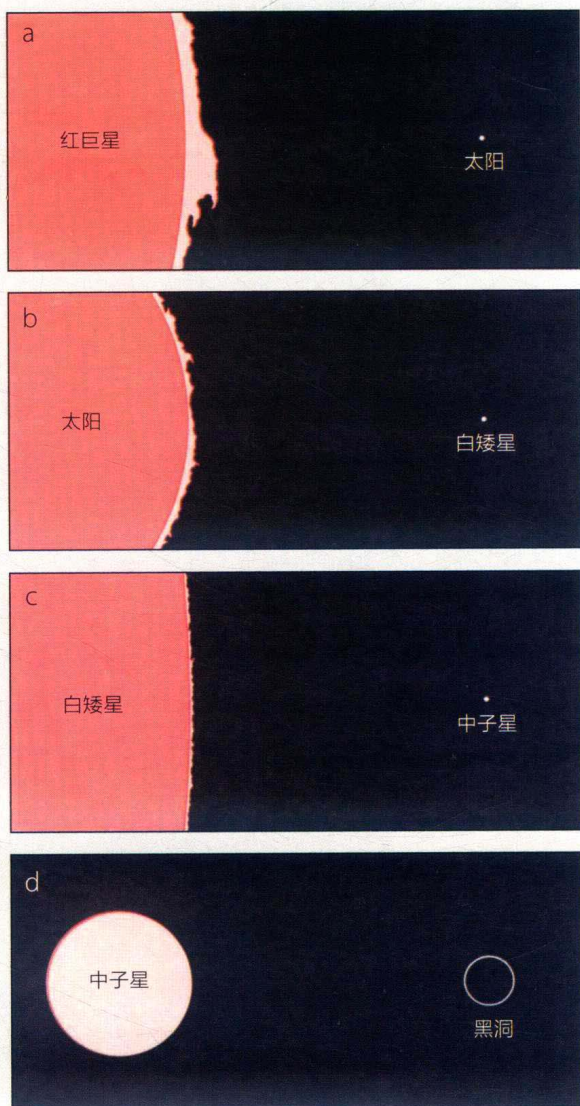
在大约五十亿年内，太阳会通过热核反应消耗掉过多的氢元素，演化成为一种叫作红巨星的恒星。恒星理论预言，太阳的直径将增大到现在（1392000千米）的250倍，并在此过程中吞没水星和金星，甚至有可能吞没地球。到那时，太阳的物质密度只有空气的 $1/10$ 。（现在太阳的平均密度是地球密度的 $1/5$ 。）

随着太阳消耗掉越来越多可用的核燃料（除了氢，还有氦和更重的元素），太阳的膨胀过程将反转，收缩到比当前还小，直径变为现在的百分之一，大约相当于地球的大小。之后，它将演化为白矮星，停止收缩。在这一阶段，原子中的电子会聚集得非常紧密，致使量子力学中的一个规律开始发挥作用，产生一种强到足以阻止太阳进一步收缩的等效压强。这个规律就是泡利不相容原理，该原理指出，没有两个电子可以占据同一个能量状态。此时，太阳的密度将变得非常大，一个填满太阳物质的乒乓球的质量就相当于好几头大象。接下来，太阳将一直冷却下去，直至抵达最终的死亡状态，成为一颗黑矮星。

地球上任何物质的密度都远远小于白矮星。不过，天文学家在宇宙中观测到了很多白矮星（和红巨星）。它们是太阳这类最普通的恒星演化历史的一部分。此外，恒星演化为白矮星的理论和观测结果非常一致。然而，并非所有恒星都遵循这个“正常的”演化路径。1931年，苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar）在研究恒星结构时发现，白矮星存在一个最大质量。超过这个质量，白矮星就无法抵抗进一步的引力收缩。指向恒星中心的引力甚至会压倒电子由于泡利不相容原理而产生的压力。这个最大质量极限不比太阳质量大多少。钱德拉塞卡最初得到的极限大约是1.4倍太阳质量，后来的计算给出了更小的值。而我们观测到的许多恒星质量都要大于1.5倍太阳质量，它们的最终命运会是怎样的呢？

假设有一颗质量是太阳两倍的恒星。和太阳类似，在消耗了大部分原有的氢燃料之后，它将膨胀得非常大，然后再次收缩。但它不会进入稳定的平衡态而成为一颗白矮星。这颗恒星，或者它的很大一部分将会塌缩得比白矮星更小。由于极端的温度和密度，它将经历一个导致其发生灾变性爆发的过程。天文学家已经在我们的星系（最近的一颗由开普勒在1604年记载）和其他星系中观测到了这类爆发恒星，并将其命名为超新星。一颗超新星的光度可以在数天内胜过整个星系。超新星爆发时可能抛掉了多达90%的物质，仅剩下恒星塌缩了的核心，藏在一团快速膨胀的气体云中心。蟹状星云就是这样的气体云。这个核太小，密度也太大了，不可能是白矮星，只能以一颗中子星的身份达到平衡状态。

即使与白矮星比，中子星也是很微小的。白矮星对中子星，大小相差的悬殊程度甚至超过了太阳对白矮星的100:1，可能也超过了红巨星对太阳的大约250:1。中子星半径可能只有10千米，或者说只有白矮星半径的1/700。虽然白矮星的密度已经大得异乎寻常了，但中子星的密度甚至比它还要大1亿倍。一个填满中子星物质的乒乓球，质量相当于婚神星（Juno，直径约200千米）这样的小行星。中子星的密度与质子或中子相当。实际上，一颗中子星可以看作一个超大的原子核，两者只有一个本质上的差异：中子星是由引力而非核力束缚在一起的。中子星的大部分电子已经被压入质子，导致质子变成了中子。现在，



红巨星、太阳、白矮星、中子星和黑洞的相对大小如图所示。与太阳质量接近的红巨星，其直径大约为3亿千米，比太阳直径大250倍（图a）。太阳的直径是同样质量的白矮星的100倍（图b）。白矮星的直径大约和地球直径相同，比与太阳同样质量的中子星大700倍（图c）。中子星只需要塌缩到其直径的1/3就能形成黑洞（图d）。尽管质量和太阳一样，但黑洞的直径不超过6千米。它的半径与质量成正比。

作用于中子的泡利不相容原理提供了阻止中子星进一步收缩的等效压力。

这套中子星理论是 J. 罗伯特·奥本海默 (J. Robert Oppenheimer)、罗伯特·瑟伯 (Robert Serber) 和 C.M. 沃尔科夫 (C.M. Volkoff) 在 1938 年和 1939 年建立的。之后的很多年，天文学家都质疑中子星是否真实存在。不过，自 1967 年起，观测方面的状况发生了巨大变化。在那一年，天文学家发现了第一颗脉冲星。自那以后，脉冲星理论发展迅速。现在我们几乎可以肯定，脉冲星发出的射电和光学脉冲，其能量和极端的规律性都源于旋转的中子星。至少有两颗脉冲星位于超新星遗迹中，其中一个遗迹就是蟹状星云，这进一步支持了脉冲星实际上就是中子星的理论。

和白矮星的情形类似，中子星也有一个最大质量，在此之上它将无法阻止进一步的引力收缩。科学家对这个最大质量极限的确切数值还不是十分肯定。奥本海默和沃尔科夫最初在 1939 年给出的值大约为 0.7 倍太阳质量。后来的研究者给出的质量极限要更大一些，最高的达到了 3 倍太阳质量。那些较高的极限值考虑到，除了通常的中子和质子，还可能存在着名为超子的大质量亚原子粒子。无论如何，正确的极限都不会超过数倍太阳质量。但是，宇宙中存在超过 50 倍太阳质量的恒星。它们的最终命运是什么？恒星会在最终塌缩或更早的某些阶段不可避免地抛出大量物质，使其质量总是小于稳定的白矮星或中子星所要求的极限吗？几乎完全不可能。那有没有可能存在什么其他形式的凝聚态物质，其密度甚至超过中子星内部所能达到的最大值？

光都无法逃离的引力陷阱

理论告诉我们，尽管物质可以达到更高的密度，但获得更高密度的稳定平衡态是不可能的。引力效应会变得无法抗拒，从而支配一切。牛顿引力理论不足以处理这种问题，我们必须使用爱因斯坦的广义相对论。根据广义相对论，我们得到了一种非常奇异的天体，相比之下中子星看起来还算正常。这个最初由奥本海默和沃尔科夫提出的新天体获得了“黑洞”的称号。

黑洞是一颗恒星（或一团恒星或其他天体）塌缩形成的空间区域，光、物质或任何形式的信号都无法从这里逃离。中子星还要收缩多少才能变成一个黑洞？以质量与太阳相当的天体为例，我们已经知道太阳的直径比中子星直径大 7 万倍，红巨星直径比中子星直径大 2000 万倍。鉴于这些尺度上的巨大差异，中子星只收缩到自身直径的大约 1/3 就会变成黑洞，这可能会令人吃惊。更大的黑洞也是可能存在的，但它们是最终总质量大于太阳的恒星或天体的塌缩产物，黑洞的直径与质量成正比。