

发现爱因斯坦

广义相对论

缺失的“最后一块拼图”

BLACK HOLE BLUES

and Other Songs
from Outer Space

Janna Levin

[美] 珍娜·莱文——著
胡小锐 万慧——译

中信出版集团

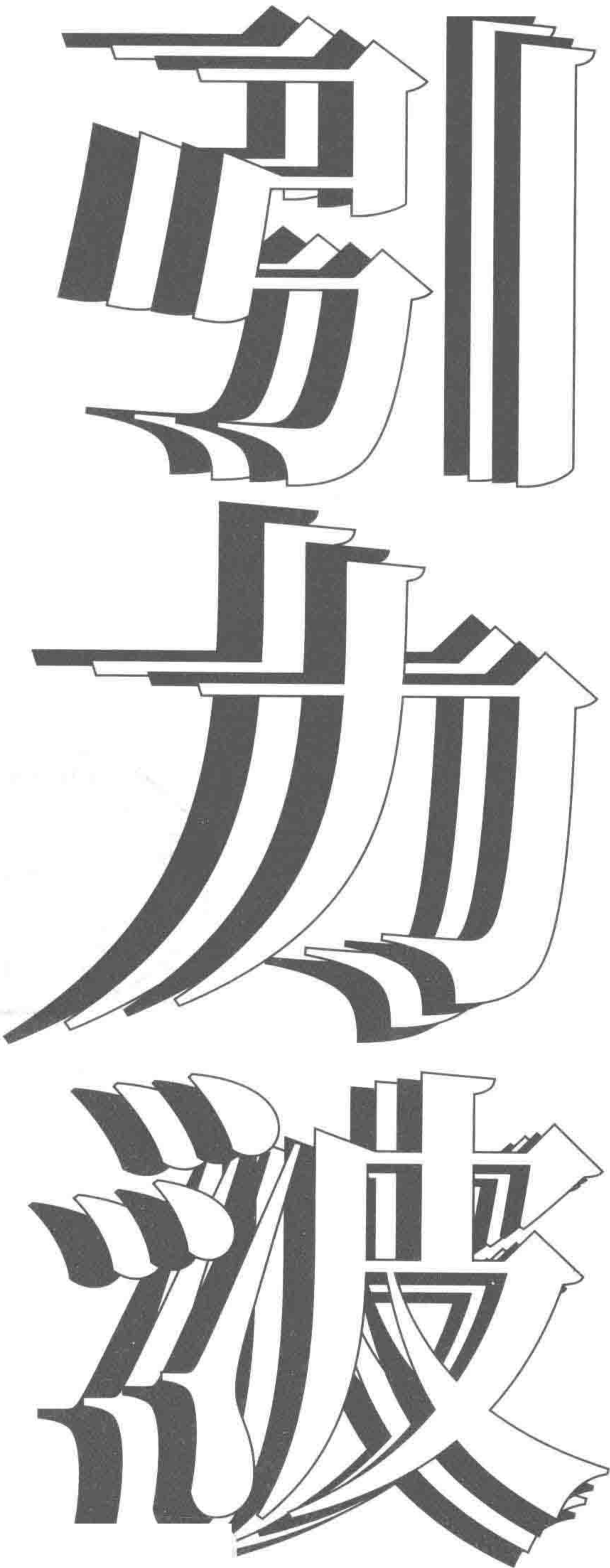
发现爱因斯坦
广义相对论
缺失的“最后一块拼图”

BLACK HOLE BLUES

and Other Songs
from Outer Space

Janna Levin

[美] 珍娜·莱文——著
胡小锐 万慧——译



图书在版编目（CIP）数据

引力波 / (美) 珍妮·莱文著；胡小锐，万慧译
-- 北京：中信出版社，2017.7
书名原文：Black Hole Blues and Other Songs
from Outer Space
ISBN 978-7-5086-7699-9

I. ①引… II. ①珍… ②胡… ③万… III. ①引力波
— 普及读物 IV. ①P142.8-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第125390号

Black Hole Blues and Other Songs from Outer Space by Janna Levin
Copyright © 2016 by Janna Levin
Simplified Chinese translation copyright © 2017 by CITIC Press Corporation
ALL RIGHTS RESERVED
本书仅限中国大陆地区发行销售

引力波

著 者：[美] 珍妮·莱文
译 者：胡小锐 万 慧
出版发行：中信出版集团股份有限公司
（北京市朝阳区惠新东街甲4号富盛大厦2座 邮编 100029）
承印者：北京画中画印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16	印 张：19.5	字 数：200千字
版 次：2017年7月第1版	印 次：2017年7月第1次印刷	
京权图字：01-2017-0144	广告经营许可证：京朝工商广字第8087号	
书 号：ISBN 978-7-5086-7699-9		
定 价：69.00元		

版权所有·侵权必究
如有印刷、装订问题，本公司负责调换。
服务热线：400-600-8099
投稿邮箱：author@citicpub.com

献给沃伦、吉布森和斯特拉

没有什么比引领事物的新秩序更难把握、更冒险和更不确定的了。

——马基雅维利，《君主论》（1513）

推荐序

引力波关乎你我

你的职业也许跟科学研究相去甚远，或许你只是出于好奇偶尔翻开了这本书，引力波的字眼你可能只是在新闻报道里听说过。但我想说的是这并不是一本介绍引力波天文和物理的高冷科普读物，实际上它在探讨人、自然与科学的关系。它关乎你我。

发生碰撞的这一对黑洞，一个质量是太阳的 29 倍，另一个是太阳的 36 倍。在碰撞之前，两个黑洞相互绕着对方运行，此时，两个黑洞之间的距离仅为数百公里，运行速度非常接近于光速。当它们最终碰撞时，最后变成了一个质量是太阳的 60 多倍的黑洞，相当于 3 倍太阳质量的能量瞬间通过时空以引力波的形式光速辐射出去。而 13 亿年后，地球上的探测器捕捉到了它们运行的最后 4 圈，只持续了 200 毫秒，探测器 4 公里干涉臂的长度发生

了相当于质子直径千分之一的空间变化。这一系列的数字的确让我们领略了自然的神奇，人类从没有如此贴近和聆听自然，无论从大尺度的宇宙黑洞，还是甚至要考虑到量子噪声的探测器的微观变化——引力波给我们展现了一幅前所未有、波澜壮阔、叹为观止的宇宙和自然图景。

难道你不觉得，人类自身更神奇吗？1916年，爱因斯坦发表论文预测了引力波的存在；100年后的2016年，激光干涉引力波天文台（LIGO）科学合作组织1 000多名科学家成功实现了引力波的直接探测。100年来人类探索引力波存在的努力从未间断过，而其中经历的种种更是在这本书里娓娓道来，有合作、奋斗与荣耀，也有争执、猜忌和斗争，有血有肉、历历在目。2004年一个偶然的机会，我加入了美国麻省理工学院的LIGO实验室，而在此之前我根本不知道什么是引力波，但从此以后我也从没放弃过对引力波研究的追寻。直到2015年9月14日那个引力波信号到来的时刻，根本没人敢相信那是一个真实的信号，它简单得近乎荒谬，与理论推断得出的引力波没有任何显著不同。人类的理性与自然的神奇在那一刻达成了前所未有的默契，而其中经历的是整整100年的科学探索。LIGO的创始人雷纳说：“最重要的是，我了却了一桩心愿”。2006年，我从麻省理工学院回到清华大学信息技术研究院工作，搞引力波研究多少显得有些不务正业，引力波探测希望渺茫，我参与其中却也乐此不疲，究其原因我也说不太清楚。

自然是什么？人为什么会来到这个世界？每个人都有一颗与生俱来的好奇心。找一个寂静的下午，泡上一杯茶，放松一下你的身心，这是一本值得坐下来好好读读的书。

曹军威

2017 年 6 月于清华园

推荐序	V
第 1 章 黑洞碰撞.....	001
When Black Holes Collide	
第 2 章 宇宙的声音	007
High Fidelity	
第 3 章 广义相对论	031
Natural Resources	
第 4 章 引力波探测先驱.....	053
Culture Shock	

第 5 章 | 错误的宣言 073

Joe Weber

第 6 章 | “40 米” 实验室 089

Prototypes

第 7 章 | 蓝皮书与三巨头..... 103

The Troika

第 8 章 | 发现脉冲星 121

The Climb

第 9 章 | 实验室里的开拓者 135

Weber and Trimble

第 10 章 | 汉福德天文台 149

LHO

第 11 章 | 臭鼬工厂 167

Skunkworks

第 12 章 | 霍金的赌局 189

Gambling

第 13 章 | 罗生门事件 205

Rashomon

第 14 章 | 利文斯顿天文台 223

LLO

第 15 章 | 一群探索宇宙奥秘的人 243

Little Cave on Figueroa

第 16 章 | 与时间赛跑 257

The Race Is On

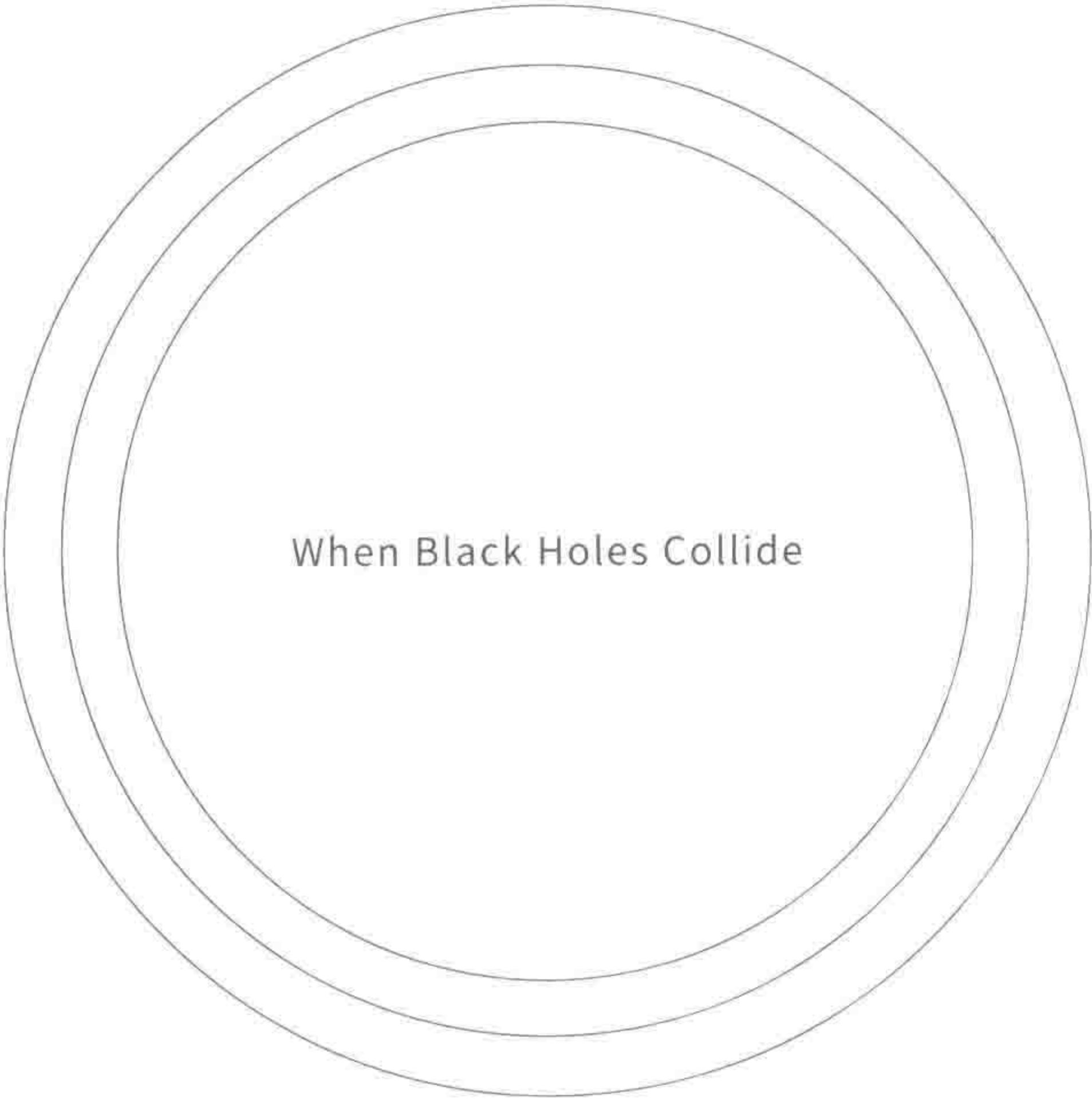
尾 声.....269
Epilogue

致 谢.....281

附 录285

注 释293

黑洞碰撞

The image features three concentric circles centered on the page. The circles are drawn with thin, dark lines. The text "When Black Holes Collide" is positioned in the center of the innermost circle.

When Black Holes Collide

在宇宙的某个地方，两个黑洞发生了碰撞。这两个黑洞与恒星的质量差不多，体积却只有一般城市那么大，是真正意义上的黑洞（里面空荡荡的，没有一丝光）。在碰撞发生前的最后几秒钟里，它们在引力作用下一起绕着最终接触点完成了数千次的旋转，使时空发生了剧烈振荡。碰撞之后，这两个黑洞合并到一起，形成了一个更大的黑洞。黑洞碰撞是宇宙诞生之后威力最大的一个现象，释放出的能量超过 10^{21} 个太阳。碰撞发生时一片黑暗，爆炸产生的所有能量都不会以光的形式逸出，所以用任何望远镜都无法观察到。

黑洞合并时，无数能量以纯引力，也就是引力波的形式，不停地向四周传播，时空受到扰动而泛起涟漪。但是，即使有宇航员

正好在附近，他也不会看见任何异常现象。不过，他所在的空间会发生铃振现象，对他挤压、拉伸，使他的身形发生变化。如果靠得足够近，他的听觉器官会随之振动，也就是说，他可以“听见”引力波。在空无一物的黑暗中，他可以听见时空发出的声音（如果黑洞没有夺走他的生命）。引力波就像不需要物质媒介的声音，在黑洞相互碰撞时，就会发出这样的声音。

没有人听过引力波的声音，也没有任何仪器留下清楚无误的记录。虽然引力波以光速传播，但是从碰撞点传播到地球可能需要10亿年的时间。在到达地球之前，黑洞碰撞发出的声音已经非常微弱了，以至于用语言根本无法形容，如此微弱的声音我们肯定难以察觉。在引力波抵达地球时，空间的鸣响会引起距离的相对变化，在相当于三个地球并排的跨度上位移一个原子核的宽度。

半个世纪之前，一股记录天空中各种声音的潮流悄然兴起。LIGO是美国国家科学基金会（NSF，为基础性科学研究提供支持的美国联邦政府独立机构）迄今为止投入最多的项目，包括两台探测器，分别位于华盛顿州汉福德和路易斯安那州利文斯顿，各占地4平方公里。LIGO的综合成本超过10亿美元，参与合作的全球科学家和工程师有数百人之多，是所在专业领域几十年来科技创新工作的一个标志性成果。

在过去几年里，为了提升探测能力，这两台机器都处于脱机状态。一名实验人员告诉我，机器的所有部件都被更换了，除了那个空空如也的管道（真空管）。与此同时，世界各地的科研团队

都在进行紧张的计算，希望可以预测宇宙最喧闹的状态何时到来。理论学家则利用这段时间设计数据算法，建立数据库，并想尽办法充分利用这些工具。为了“在相当于地球周长1 000 亿倍的距离范围内测量出比人的头发的直径还要小的变化”，许多科研人员全身心地投入其中。

如果探测到引力波，人们有望在随后几年里取得丰硕的成果，因此位于地球上的天文台渴望记录天文巨变从不同方向、不同距离传到地球上的声音。死星发生碰撞，古老的恒星发生爆炸，还有曾经发生的宇宙大爆炸，所有这些高冲击强度的混乱状况都有可能引起时空振荡。从伽利略用一架简陋的望远镜观察太阳开始，人类把400年来拍摄的一系列静止的天空照片，汇编成一部讲述宇宙历史的无声电影。在这些天文台投入使用期间，科学家们将为这部电影配上一首不是很悦耳却非常热闹的主题曲。

在这个尝试测量时空形态微弱变化的具有里程碑意义的实验中，我身兼数职：首先是作为一名科研人员，希望为一个庞大的科学领域做出自己的贡献；其次是作为一名初学者，希望深入了解干涉仪；最后是作为一名作者，用手中的笔记录人类在黑洞研究活动中取得的重大进展。随着全球范围内争相建造引力波天文台的热度逐渐消减，这个领域即将有重大发现的前景牢牢地吸引了人们的注意力。不过，仍然有人强烈怀疑它最终能否取得成功。