

三思
文库

科学前沿系列

FRONTIERS OF SCIENCE



宇宙之海的涟漪

引力波探测

[澳] 大卫·布莱尔
杰夫·麦克纳马拉 著

王月瑞 译

Ripples on a Cosmic Sea:
The search for gravitational waves

江西教育出版社

被誉为“大西洋两岸最好的科普作家”
保罗·戴维斯 特邀主持

宇宙之海的涟漪

引力波探测

[澳] 大卫·布莱尔
杰夫·麦克纳马拉 著

王月瑞 译



24-38

24-38

res
K10
K02

江西教育出版社

江西省版权局著作权合同登记

图字：14-1998-58

Ripples On a Cosmic Sea

Copyright ©1997 by David Blair & Geoff McNamara

Chinese translation copyright ©1999 by Jiangxi Education Press

Published by arrangement with Allen & Unwin

All rights reserved

图书在版编目 (CIP) 数据

宇宙之海的涟漪：引力波探测 / (澳) 布莱尔 (Blair, D.),
(澳) 麦克纳玛拉 (McNamara, G.) 著; 王月瑞译. —南昌: 江西教育出版社, 1999. 10

(三思文库·科学前沿系列)

书名原文: Ripples On a Cosmic Sea

ISBN 7-5392-3320-6

I. 宇… II. ①布…②麦…③王… III. 引力波-普及读物

IV. 035

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 33210 号

书 名：宇宙之海的涟漪：引力波探测

著 者：〔澳〕大卫·布莱尔 杰夫·麦克纳玛拉

译 者：王月瑞

责任编辑：黄明雨 特约编辑：任胜利

责任印制：万闰宝 封面设计：李颖明

出版发行：江西教育出版社（南昌市老贡院 8 号/330003）

印 刷 者：江西科佳图书印装有限责任公司

（江西省南昌市洪城路 636 号/330009）

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：7.5 字 数：140 千字

版 次：1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

标准书号：ISBN 7-5392-3320-6/Z·70

定 价：12.00 元

（本书如有印装质量问题，请向承印厂调换）

序

已故化学家皮特·梅达瓦(Peter Medawar)爵士生前言道:科学是可以解答的艺术。科学的前沿是介于可解与难解、已知与未知之间的全新疆界。致力于此领域的科学家们竭尽全力地将可解的边界朝难解方向推进,尽其所能地揭示未知领域。因为前沿总是代表着科学成就的最高程度,故而每前进一步都需要极高的才智和对本书所描述的策略的娴熟运用。再没有课题能比探索引力波更好地印证梅达瓦的格言了。对这些难以捉摸的存在进行探索刚好处于可解的边缘,而将此梦想变成现实的英雄般的尝试则构成我们这个时代最为动人的科学故事之一。

我们的故事起始于1915年阿尔伯特·爱因斯坦广义相对论的发表。通常所说的集人类智慧之大成的广义相对论既是关于时间和空间的理论,也是关于引力的理论。因其在预言中以整个宇宙为尺度,一个完整的领域——宇宙学——便因此而建立。这些预言中我们较为熟悉的有宇宙膨胀说、黑洞理论和时间旅行等。广义相对论的实际效用则远及诸如天体物理和航空航天等更为广泛的领域。

虽然广义相对论的大多数预言已经通过实验和观测作了充分检验,但该理论的一个关键预言依然有待于验证。早在1918年爱因斯坦就注意到,广义相对论方程式中存在着这样的解:在引力场中有波状振动。这些“引力波”不属于任何物质或媒质,它们随着时空自身的波动而波动。就我而言,时空这个神秘的概念,总能激起我的好奇心。如同60年前由詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell)所发现的电磁波一样,引力波也是以光速传播并携带能量的。但相似点仅此而已。电磁波现已基本上被人类控制,例如,激光束或无线电信号等,但引力波则不然,因为它弱得令人难以置信!你有可能站在拥有10亿千瓦能量的引力波中而没有任何感觉。这种超常的不可捕捉性使引力波实际上不可观测。然而,根据广义相对论,它又的确存在。因而,在爱因斯坦大发现之后约半个世纪中,引力波仅仅作为一个数学问题存在着,除了引起个别人的好奇心之外一直被人忽视,因为几乎没有人期望能捕捉到它的效能。但也有不信邪的人,一个名叫做约瑟夫·韦伯(Joseph Weber)的美国人就敢于自由地想象。他推断,引力波如果存在,就可以通过一个灵敏度极高的探测器发现它们。而这个探测器所要做的,仅仅是记录波的疾驰而过。只要给出这个行为的最微小的颤动,就可能检验爱因斯坦早已做过的预言。但这些并不是全部。也许,人类只需用一个小小的多功能引力波天线,就能够打开一扇通向大千宇宙的全新的窗口。

长期以来,天文学一直被视为宇宙的主要信息源的可见光所主宰。近年来,天文学家们开始利用电磁波研究宇

宙,继而又扩展至无线电波,再后进入红外线波、X射线波、紫外线波甚至伽玛射线波。就使用引力波研究宇宙之事,我们不能仅将之视作是这一过程的延续,而应视为对一个全新领域的开发利用。更有甚者,该领域极有可能帮助我们揭开宇宙中电磁波所永远无法揭示的神秘面纱。

我至今不能忘怀的是,1971年,在剑桥大学就读博士后时,我曾有幸听过激情澎湃的韦伯所举办的一次令人激奋的讲座。面对10的幂次,韦伯表现得毫不畏惧。他在实验中灵巧地活动着手指,这些数字就像负在身上的包裹一样被卸下来。乍一看是好无希望、超出可实现范畴的事情,但在韦伯一次又一次的精心实验之后,一切都变得可解了。实际上,此时的韦伯不但认为它是可解的,而且认为它的解就在面前,伸手可触。他兴奋地报告了一对铝棒所产生的微小颤动,他相信这种颤动是由星系中心所产生的引力波扰动的结果。遗憾的是,接下来的试验却没能证实这个大胆的宣布。尽管如此,韦伯还是成功地开辟了一条道路,很多人沿着这条道路在坚定地走下去。

这群人中有一位叫大卫·布莱尔的,工作于西澳大利亚大学。同韦伯一样,他也一直梦想着有朝一日能打开通往宇宙的一扇窗口。布莱尔尝试着改进韦伯起初使用的颤动棒,并启用更为敏感的感应装置和超低温容器。当人类使用激光束的远距离反射技术而使探测活动更趋简单时,该领域的研究活动随之完全改变了方向。布莱尔开始用原型系统在他的实验室里进行试验。多年过去了,布莱尔现已成为这个神秘领域的领头羊,同时也是一个不知疲倦的活动家,

到处游说着让政府资助他的项目。他整日忙碌于国际性的会议桌上，寻求与北半球研究组进行合作，期望有朝一日能在澳大利亚建造一个以激光技术为基础的全功能的引力波观测站。

实现韦伯梦想所需要的技术高得令人不敢设想。它要求探测器具有极高的灵敏度，灵敏得可以感受到扔在地球另一面的一根大头针的震动。这些灵敏度极高的探测器必须能感受到长度单位的丝微变化，其精确度要达到可以感受距我们相邻恒星这么遥远的距离中一根头发丝宽度的长短变化。因为他们所要监测的振动是如此微弱，即使原子在运动时所发出的噪音都能将其淹没。这一点可以说登峰造极，达到可解艺术的顶端。

难道这一切真的不能实现吗？答案是否定的，因为人类可以将其实现。如果发现一颗恒星将于明天在我们的星系中爆炸（这样的超新星事件每几十年发生一次），我们就能用现在的韦伯棒技术探测到引力波。然而，要使这项研究具有实用价值，科学家们必须提高仪器的灵敏度，使其可以探测到遥远星系中类似的事件，这样，他们就不必守候多年来捕捉这样一次事件。这就意味着使用激光干涉仪。该仪器的问世已将探测的灵敏度提高到一个无法想象的高度。眼下，美国和欧洲都在建造这样的高技术激光探测系统。

新的千年行将到来，我们期待着通过引力波这双慧眼来探索宇宙的新纪元。通过设立于世界各地的引力波观测网站，我们就可以记录巨大的恒星核死亡前的爆炸，追踪中子星和黑洞相互旋转、合并的整个过程，探索宇宙中最远的

天体——神秘的类星体的心脏。一切还远不止此，最使人感奋的是，由此而来的新的天文学将给我们揭示宇宙中至今仍无法想象得出的新景观。

澳大利亚在这个大胆且全新的探索中是否起主要或次要作用至今仍不明朗，但布莱尔在伯斯、阿德莱德、堪培拉及其他地方所建立起来的研究小组，将为其在引力波天文学上争得一席之地。他们经过多年持之以恒的工作，已获得相当高新的技术和知识。他们所需要的只是钞票。没有相应的资助，他们将只能成为旁观者，澳大利亚科学史上值得骄傲的一章也将以悲剧而告终。

在这个有趣而具挑战性的领域中，没有比大卫·布莱尔更合适的向导了。他对引力波技术从理论到实践方面的深刻理解没有任何人可以超越。他亲手制作了许多精密仪器以征服令人眩目的 10^{10} 的幂次。与作家杰夫·麦克纳玛拉一道，布莱尔以极其轻松的笔触给我们展示出一个精彩纷呈的基础研究领域。两位艺术大师联袂给我们讲述一个动人心魄的捉迷藏游戏，给我们讲述一些聪明的男女正在致力于寻求某种若即若离的财宝，并郑重地告诉我们，这群男女坚信：路，就在他们脚下。

保罗·戴维斯

于阿德莱德，1997年7月

致 谢

本书的出版经历了一个漫长的过程。最初提出编著本书建议的是保罗·戴维斯。我也在一次次学术会议上向不知多少个同行提出过类似动议。在我离开实验室集中精力地编著本书时,那些在西澳大利亚大学澳大利亚国际引力研究中心的同事们也对我的离职表现出超乎寻常的容忍。

德比·格林伍德(Debbie Greenwood)以极大的耐力阅读了我的所有手稿。杰夫·麦克纳玛拉,我非常钦佩的科普作家,同意将我的技术拙作润饰成艺术作品。最后,阿伦 & 安文出版社的安·鲍林(Ian Bowring)和爱玛·科特(Emma Cotter)克服种种阻力将本书出版。在此,谨对他们致以衷心的感谢。

大卫·布莱尔

目 录

序.....	(1)
致谢.....	(7)
前言 “你知道吗,空间是弯曲的”.....	(1)
引言 为什么要探测引力波?	(13)
第一章 空间、谬误与几何.....	(19)
第二章 牛顿空间与爱因斯坦宇宙	(31)
第三章 引力理论.....	(45)
第四章 宇宙镜	(61)
第五章 波动	(81)
第六章 星体在深夜爆炸	(91)
第七章 脉冲星的光临	(109)
第八章 脉冲星佐证引力波	(127)
第九章 黑洞和时间伊始.....	(137)

第十章 引力波探测者	(151)
第十一章 超级探测器	(167)
第十二章 引力波的曙光	(185)
第十三章 新进展和新走向	(203)
第十四章 引力波天文学展望	(215)
尾声 “奇想的馈赠”	(219)

前 言

“你知道吗，空间是弯曲的”

我站在大海边，遥望着万里无垠的大海，思绪万千。宁静清澈的天空一览无余，我可以看到目光尽处的海平线。在海平线上，我仅看到一只帆船，她正朝一个谁也不知道的地方犁浪远航。蔚蓝的天空倒映在平静的水面，深深地印入万顷碧波之中。浪花轻抚着岸边的细沙，留下海草和泡沫。巨浪义无反顾地冲向沙滩，在上面留下痕迹，下一道巨浪再无情地冲过来，将前一道巨浪所留下的痕迹冲刷掉。阳光反射在波光粼粼的水面上，闪闪光点宛若银河中的点点繁星。在这样温暖晴朗的天空下，天边看起来遥远极了……

“你知道，它是弯曲的，”一个声音打断我。是一个男人的声音，带有异国口音。我吃了一惊，扭过头来。我的身后，一个老人昂然站立着，没有经过任何修剪的一头灰发给海风吹向脑后，蓬乱的胡须好像一辈子都没有刮过。他

肯定是在我陷入深思的时候走过沙滩来到我身边的。

老人凝视着大海，视我于无睹。“空间，”他继续说，“是弯曲的，就像海洋一样。”他转过头看着我，好像认识我并且希望我也同样认识他。这个陌生的老人是谁？又有谁会这样走向一个完全陌生的人并说出这样一些有悖常识的奇谈怪论？空间是怎样弯曲的？空间除了虚无还是虚无，无始无终，无穷无尽，里面什么也不会有。某种东西若要弯曲，其第一需求就是存在。但空间并不存在，它仅仅是……虚无。

老人转向我，觉得我应该被他的观点所打动。我决定幽默一点。“你如何使虚无弯曲呢？”我终于问道。

“噢，当然可以，”老人说，“其实要做到这一点并不困难。想一想大洋吧。”他指着海洋说，“很多世纪以来，航海者只是在近海的地方航行，因为他们认为海洋是平的。他们认为海洋有一个边缘，如果他们航行得过远，就会从海洋的边缘掉下去。现在我们知道，他们是大错而特错的。今天，就连小学生都知道，如果他们一直航行下去的话，他们就会返回到起始航行的地方。”老人转过来面向我，高高地举起手来，用大拇指朝我背后指点着说，“从相反的方向看，空间同样是弯曲的！”似乎是他认为这个想法非常重要，因为在说下半句之前他的两眼一直盯着我，盯有足足几秒钟。

对他的话我依旧难以接受。不管怎么说，我们所居住的空间都是三维的空旷的虚无。你可以在其中行走，在其中穿行，你甚至可以标志它。如果我上下移动，我在做一

维运动；如果我左右移动，我在做第二维；如果我前后移动，我所做的就是第三维。当一架飞机在空中飞行时，我通过标志它飞行的路径和飞行的速度就可以描述它在空间的运动。如果有足够的信息，我甚至可以预测几小时后飞机将到达什么地方。但是，飞机仅仅是在空间中作简单的飞行！假使有足够的油料，飞机飞回它开始起飞的地方的唯一原因是，它一直飞行在围绕着地球上面的圆形空间里。这一点肯定与空间是弯曲的毫无瓜葛。三维等于空间。我是三维的，我的房子也是三维的。同样，站立在我身边的这位陌生老人也是三维的……

“你是不是想告诉我，因为空间是弯曲的，远处的那条船就可以到达大海的另一岸呢？”我问。

“噢，当然不是，”他笑着说。显然，他的笑没有嘲弄我的意思，“这只是个比喻，是解释空间的一种方式。想象一下，如果你用一只小船出发，然后划到离岸几百米远的地方，想一下你能注意到海洋是弯曲的吗？”

“哦，不能。我想我只能看到海洋是平坦的，”我承认这一点。

“可是，你知道海洋是弯曲的，”他说。

“是的，海洋是弯曲的，”我回答说。

他似乎对我的回答感到满意。“想一想，当我们身后的这幢房子开始在海平线消失时，你须划离岸边多远的距离？”

“我不能肯定，也许10公里吧，”我犹豫一下回答。

“我也不知道。”老人笑了笑说，“不过，至少我认为它

与房子的大小有关，并且与这时海水的隆起度有关。假设你说的是对的，10 公里以外你就可以察觉到海洋是弯曲的了。在你靠近岸边时海洋就像是平的，只有当你到达离岸很远的地方之后，你才能意识到一切并不是那么简单。你能想象得出吗？古时的航海者们要航行到离岸很远的地方，当发现自己的村庄沉没于海平线之下时，他们会产生什么想法？”

我不知道是否该回答他的问题，也不知道他是否需要我的回答。不过，在我张嘴想说点什么时，他竟自接下去说，“他们肯定认为海洋是平坦的。他们赖以生存的、在其中捕鱼并畅游的海洋，若没有大风大浪，看起来完全是平坦的。现在他们意识到，海洋事实上是弯曲的。你觉得呢？”

这些话会引向哪里去呢？我不免疑虑起来。海洋与空间有什么关系？两者可以说是风马牛不相及。仅就一件事来说吧，海洋是一个二维的平面。它围绕着地球弯曲起来，这一点与用塑料纸把桔子包裹起来没有什么两样。而空间，这个巨大的我们可在其中建造城市、无数个星体也可在其中高速运行的三维虚空，却是与海洋完全不同的两个概念。哦，对了，我以前也听说过“弯曲的空间”这一说法，什么光线弯曲、时间变换等等。我还看过《星际旅行》(Star Trek) 这部影片呢。然而，眼前的这个老人似乎认定这个概念，并认定它至关重要，不仅仅因其科学，更因其有可能改变我们对世界的整体看法。

“好吧，就算你说空间像海洋一样是弯曲的，可我为何在观看夜空时没有发现任何异常？如果空间是弯曲的，我

肯定能够从中找到蛛丝马迹，星团也许会不断地改变其形状，就像通过鱼缸看天空一样！”

“这个想法很好。但你要记住，当你看夜空时，你看到的只是最接近你的宇宙空间。事实是，即使你看到我们所在的星系中的恒星，距我们大约有十万光年吧，你也只不过看到的是茫茫宇宙中的近岸而已；这一点就像你划船离开岸边只有几米的地方，因而并不能看到身后的房子消失一样。但当你航行到足够远的地方时，你就能看到，一切正如我所说的，空间是弯曲的。你将会产生那些古代航海家们所曾产生的感觉；丈二和尚了吧……怎么，还多少有点恐惧。”

人类永远不可能达到那么远的空间去，至少在我的有生之年是如此。在我们所经历的这段短暂但不失辉煌的空间时代的历史中，我们已将航天器送到太阳系的边缘。先后有两艘“先锋号”飞船访问过木星和土星，两艘“旅行者号”飞船接近过天王星和海王星。这四艘飞船现在都已飞出太阳系，然而，即使它们以惊人的速度再飞行几十年，充其量也只能到达太阳影响力的尽没处，也就是说太阳与相邻恒星的交界处。若要拿到达最远的行星的距离与到达最近的恒星的距离相比，就像你只将鞋子弄湿与一直游到海平线一样。

“假定你是对的……”我说。

“我当然是对的，”老人插上一句。

我对老人的自信感到惊讶。“我们是否有可能证明空间是弯曲的呢？我的意思是，我们似乎不可能到达最近的恒

星，更不用说到达我们所说的银河系以外去看宇宙了。”

“你说得的确不错，”他点头说，“我们不可能到达太阳系之外很远的地方——至少在我们所能看到的未来。然而，我们可以通过望远镜来观察宇宙之海。”

“如果你的视力很差，”他继续道，“假定是个近视眼，你无法看清楚面前几米远以外的物体，那些在你的视力以外的东西对你而言就完全成为谜了。如果有一只船在你的视力以外，你不会知道它是什么。你只能凭想象去猜想视力以外的物体，如果不借助其他东西的帮助，你是不可能看到地平线以外的物体的。假如你仅仅相信肉眼所看到的事实，你对海洋又能知道多少呢？”

这一点我不得不承认。如果没有其他知识，我会认为海洋的其他部分就像我所看到的一样是二维的平面。“我会认为海洋到处都是平坦的，”我说。

“这也正是伽利略和牛顿的想法，”他若有所思地说，“但望远镜帮助他们。随着望远镜的一步步改进，我们看到的比比以前要远得多。安装在地球表面和地球轨道上的巨型望远镜已经开始向宇宙空间的纵深处探测。天文学家已经发现宇宙的确有一些类似鱼缸的物体存在，正如你所说的。我们能够看到遥远的巨大的星团在天空中畅游和变形。而事实上，我们所看到的不过是被空间的变化曲率所改变的它们的影像。”

老人似乎已完全沉迷于他的思想之中。他静静地看着那艘快要消失于海平线的船只。是的，空间也许是弯曲的，这一点我也没有完全地真正地理解，不过，与海洋的类比