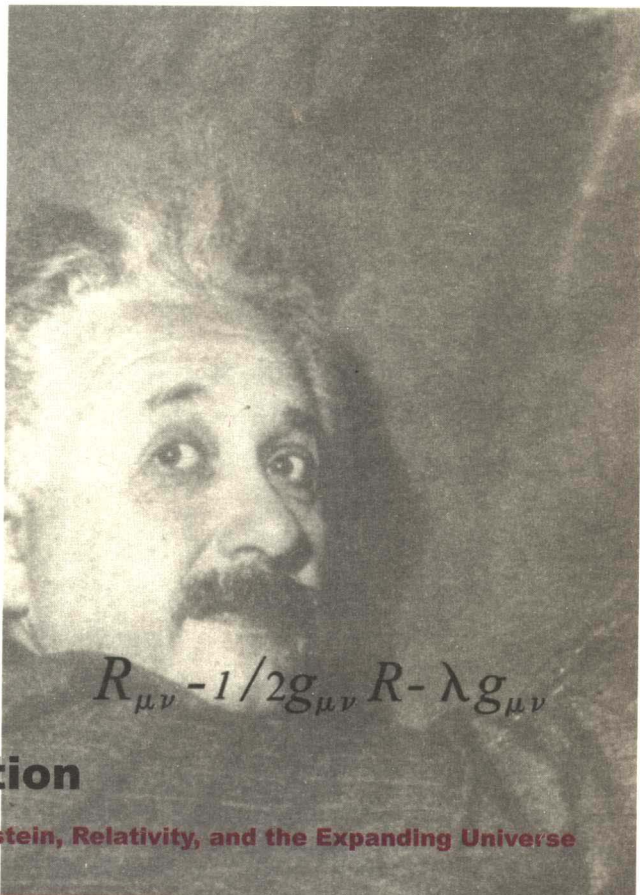




开放人文



$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R - \lambda g_{\mu\nu}$$

God's Equation

Einstein, Relativity, and the Expanding Universe

[美] 阿米尔·D·阿克塞尔 著

薛密 译

Amir D. Aczel

上帝的方程式

爱因斯坦、相对论和膨胀的宇宙

上海世纪出版集团

上帝的方程式

爱因斯坦、相对论和膨胀的宇宙

[美] 阿米尔·D·阿克塞尔 著 薛密 译

世纪出版集团 上海译文出版社

世纪人文系列丛书编委会

主任

陈 昕

委员

丁荣生	王一方	王为松	王兴康	包南麟	叶 路
张晓敏	张跃进	李伟国	李远涛	李梦生	陈 和
陈 昕	郁椿德	金良年	施宏俊	胡大卫	赵月瑟
赵昌平	翁经义	郭志坤	曹维劲	渠敬东	潘 涛

出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念，秉承“通达民情，化育人心”的中国传统教育精神，“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵，将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本，应时代所需，顺时势所趋，为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台，从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦，寓学于乐，寓教于心，为广大读者陶冶心性，培植情操。

“大学之道，在明明德，在新民，在止于至善”（《大学》）。温古知今，止于至善，是人类得以理解生命价值的人文情怀，亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴，必先培育中华民族的文化精神；由此，我们深知现代中国出版人的职责所在，以我之不懈努力，做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团
世纪人文系列丛书编辑委员会
2005年1月



1911年9月21日阿尔伯特·爱因斯坦寄给埃尔温·弗罗因德利希的明信片。

前言

1998年1月，我们对宇宙的理解彻底地改变了。天文学家找到了宇宙正在以日益增长的速率膨胀的证据。这个新发现一经宣布，世界各地的宇宙学家们就急急忙忙地试图解释这个隐晦的现象。科学家们能够提供的最有希望的理论是阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)在80年前曾经提出过但很快又撤回的那个理论，他将它称之为他最大的错误。每年都有新的发展证明爱因斯坦的理論的正确性。但是，如果宇宙学家们的新的评价是正确的，那么爱因斯坦即使当他以为自己错了的时候，他实际上还是正确的。

大约就在这条令人震惊的消息被报道之时，我收到了一封有点古怪的信。信是L·P·莱贝尔(L. P. Lebel)寄来的。他是我的《费马大定理》(Fermat's Last Theorem)一书的特约审稿人，后来我们成了朋友并一直有书信往来。然而这一次，信封里没有信，有的只是从《纽约时报》上剪下来的乔治·约翰逊(George Johnson)的一篇文章。我怀着极大的兴趣读了这篇文章，它是关于纯粹数学而不是物理学或

宇宙学的。在这篇文章中，约翰逊先生提出了一个很有迷惑力的问题：有没有可能在宇宙的某处存在另一种形式的——不同于我们自己的——数学？作为例子，约翰逊给出了关于 π 和圆周的问题。他问道：是否存在圆周长与直径之比不等于 π 的圆？

表面上看来，爱因斯坦及宇宙论与圆不再是我们知道的那种圆的离奇的数学毫不相干。但是，我很清楚这两者之间存在着密切的联系。对物理学和数学中这些类似事件的冥思苦想将我带回到 20 年前。我在加利福尼亚大学伯克利分校求学期间，曾选修了物理学和数学的几门课程。其中有一门课程，教授在解释一个我持有异议的概念时说道：“电子，生存于与我们的生存空间不同的空间中。”这句话使我改变了我的科研方向，从那时起，我选修研究各种空间的课程：拓扑学、分析和微分几何。我想要了解这些尽管我们感觉不到却依然存在的各种空间。这些陌生的空间可以适用于非常小的范围（在量子力学中），也可以适用于非常大的范围（在广义相对论中）。要了解相对论的物理学，我们必须研究这样的空间：它的几何学与我们直观的直观是背道而驰的。

约翰逊的离奇的数学和宇宙论者的爱因斯坦方程实际上是同一枚硬币的两面。我渐渐地越来越沉湎于这些迷人的想法之中。我花了许多时间去解非欧几何中的问题。非欧几何是数学的一个分支，在它处理的空间中，一条直线可以有无数条经过一给定点的平行线，而不像欧氏空间中只有一条：在这种空间中，圆周长与直径的比也不等于 π 。（在寻找能说明他发现的时空中的曲率的数学理论时，阿尔伯特·爱因斯坦研究过非欧几何。）我重新研究了微分几何中的一些老问题，这是另一种形式的几何学。我还花时间阅读了爱因斯坦关于广义相对论的全部论文。

最近，重新回顾了我对相对论中数学部分的理解后，我打电话给我过去在伯克利的一位教授，向他请教有关广义相对论的几何学的某些问题。陈省身(S.S.Chern)无可争辩地是当今最伟大的几何学家。我们在电话中谈了很长时间，他耐心地回答了我所有的问题。当我告诉他我正打算写一本关于相对论、宇宙学和几何学，以及它们怎样互相结合起来解释宇宙的书时，他说：“对一本书来说，这个想法极妙，但是写这本书肯定要花去你生命中太多的年月……我不会去写它。”接着他挂上了电话。

我决定先向自己解释膨胀着的宇宙、爱因斯坦天才的广义相对论的场方程和我们生存于其中的不可思议地弯曲的宇宙这三者之间的精确关系。如果我能够对自己阐明这些奥秘，并使自己越来越大的好奇心得到满足，那么，我觉得我就能与其他人一起分享这些知识。我阅读了我能找到的关于宇宙学和相对论的每一本书，但是为了真正能理解这些迷人的思想，我必须自己动手推导这些方程。在这方面，一些人对我的帮助远远超出我曾经期望的程度。

我的朋友和邻居艾伦·古思(Alan Guth)，麻省理工学院的Weisskopf物理学教授，是暴胀宇宙(inflationary universe)理论的发现者，暴胀宇宙理论是用于解释大爆炸(big bang)后所发生的一切的最有前途的理论。古思的理论如此成功，以致它现在实际上已成为宇宙学中所有宇宙模型的支柱。艾伦慷慨地让我分享他的研究论文，花了很多时间与我讨论宇宙学和关于时空的奇怪的几何学。同在麻省理工学院教授物理学的彼得·杜尔马什金(Peter Dourmashkin)友善地让我看他关于宇宙学的讲稿，并帮助我搞清楚一些烦心的方程。杰夫·威克斯(Jeff Weeks)，一位数学家和咨询师，帮助我弄明白带有宇宙常数的爱因斯坦场方程与宇宙可能有的各种几何学之间的精确的数

学联系。威廉斯学院的数学家科林·亚当斯(Colin Adams)在进一步揭示隐藏在描述宇宙的数学表述和几何学之间的联系方面帮了我很大的忙。基普·索恩(Kip Thorne)是加州理工学院的世界著名相对论教授和黑洞学家,他在电话采访中极友好地回答了我的问题。保罗·斯坦哈特(Paul Steinhardt),普林斯顿大学的物理教授和宇宙学、物理学及纯粹数学领域中的一位先驱,让我分享他的见识和理论。牛津大学的罗杰·彭罗塞(Roger Penrose)爵士,一位著名的数学家和宇宙学家,大度地让我了解他对宇宙的独特的思想和理论。

一当我理解了有关的数学和物理学,并且能够真正地明白这些方程是如何决定几何学,以及爱因斯坦的一度被误解的宇宙常数是如何惊人地适合不断加速着的宇宙这个难题时,我就开始与天文学家们交谈,他们是关于我们的宇宙的状态的新闻发布者。劳伦斯伯克利国家实验室的索尔·珀尔马特(Saul Perlmutter)是发布宇宙在快速膨胀消息的国际天文学家组的组长,他慷慨地安排了时间。索尔使我深入地了解空间膨胀的真实过程以及他和他的研究组成员所发明的巧妙方法,利用这种方法他们通过使用几十亿光年远的发生爆炸的星球的电子图像推知到宇宙膨胀并进行测量。后来,索尔还阅读了本书的手稿并给了我许多宝贵的建议。埃丝特·M·胡(Esther M. Hu)是夏威夷大学的天文学家组的组长,她通过凯克望远镜曾捕捉到宇宙中距离最远的可见物的形象,这是一个距离 130 亿光年以外的星系,它的光是如此暗淡,且红移如此远,似乎它已处在我们所能希望看到的极限位置。胡向我描述了她的令人惊异的发现过程。她也慷慨地向我提供了有关她的发现的许多有趣的技术细节,包括她观察到的这个星系正在以光速的 95.6% 的速度远离我们这样的事实。内塔·A·巴考尔(Neta A. Bahcall)是普林斯顿大学的天文学教授,她一直在使用最先

进的观察工具和理论研究宇宙的质量密度，她将她的惊人的研究结果告诉了我。内塔和她的同事们在过去的10年中所从事的所有研究都表明我们的宇宙是小质量的——其大小为最终结束宇宙膨胀所需的最小质量密度的20%。这项研究强烈表明宇宙将永远膨胀下去。

我的朋友杰伊·帕萨乔夫(Jay Pasachoff)是威廉斯学院的霍普金斯天文台台长，夏日的一天，他在马萨诸塞的威廉斯敦接待了我，当时我正埋头于这本书的写作计划之中。我来和他谈话是因为我正在研究阿尔伯特·爱因斯坦本人的著作。我知道爱因斯坦的广义相对论是由1919年日全食期间观察到的太阳周围星光的弯曲而得到确认的。杰伊·帕萨乔夫是世界上关于日食的首屈一指的权威。到我们见面之前，他已观察过26次日全食，我相信，在我们这个星球的历史上，此前还没有一个人观察过这么多次日食。此后，杰伊又观察了多次的日食。杰伊将原始文件和文章的完整资料交给了我，后来他又给我一篇关于阿尔伯特·爱因斯坦在20多年中写给一位不著名的德国天文学家的书信集的文章。这些信件刚由一位私人收藏家捐献给位于曼哈顿的皮尔庞特·摩根图书馆，许多信学者们从未看过，也没有被翻译过。我知道其中将会发掘出很好的材料。

我在皮尔庞特·摩根图书馆的档案室里浏览爱因斯坦写给天文学家埃尔温·弗罗因德利希(Erwin Freundlich)的信件的几个小时中，图书馆的西尔维·梅里安(Sylvie Merian)和英奇·杜邦(Inge Dupont)给了我最好的帮助。他们向我提供了书信集中总共25封爱因斯坦的信件的正式复印件。我感谢查尔斯·哈德洛克(Charles Hadlock)帮助安排了这次访问。

我的父亲E·L·阿克塞尔(E. L. Aczel)船长当时正和我们一起在波士顿过夏天。父亲是在奥匈帝国长大和受教育的，于20世纪30年

代离开那儿成为地中海上的一位船长，他是精通阿尔伯特·爱因斯坦那个时代说和写的那种德语专家。当我问他是否愿意花些时间翻译爱因斯坦的信件时，父亲愉快地答应了。以后的两个多月中，我们一起长时间地研究这些信件。在我们结束一封信的翻译后，他常常会重温其中的一句或一段，深思爱因斯坦使用的那种辛辣的表达方式（“只要你神经紧张，就会无法保护自己。”）或者思考这位物理学家在他毫不客气地拒绝他的年轻同事请他帮助找工作的请求时，真正想些什么。〔“斯特鲁韦(Struve)今天咒骂你，你干的不像他所期望的那样。”〕父亲细致的眼光和听觉，加上他对每一个细微之处及其在当时当地方言中的含意的推敲，揭示了阿尔伯特·爱因斯坦的一个令人惊讶的新形象。依然是那位温和的，以其博爱仁慈闻名的老人，但是很清楚，爱因斯坦不只是特别有雄心，而且会利用别人以达到自己的目的，而一旦他们对他不再有用时就很快地将其抛弃。传奇中的物理学家现在似乎更为人性化——他有着我们凡人的缺点。

在我对耶路撒冷的爱因斯坦档案馆的访问中，我看到了弗罗因德利希和爱因斯坦两人关系的另一个方面，这反映在弗罗因德利希写给爱因斯坦的信件中。我感谢位于耶路撒冷的犹太国家和大学图书馆的阿尔伯特·爱因斯坦档案馆的迪娜·卡特(Dina Carter)，她给我介绍了许多重要的信件和文件。

以研究阿尔伯特·爱因斯坦的生活和工作为专职的人们形成了一个关系密切的国际性社团，尽管他们遍布于全球各地，从波士顿到普林斯顿、苏黎世、耶路撒冷和柏林。波士顿大学的约翰·施塔赫尔(John Stachel)是许多卷的《阿尔伯特·爱因斯坦论文集》(*Collected Papers of Albert Einstein*)的发起编辑，他向我提供了关于爱因斯坦某些成果的大事年表的有用资料。我在苏黎世瑞士理工学院的朋友

汉斯·金施(Hans Künsch)为我安排了参观爱因斯坦在瑞士的房子，爱因斯坦曾在这所瑞士理工学院学习和任教。

在柏林的马克斯·普朗克(Max Planck)科学史研究所我遇到了两位研究爱因斯坦工作的世界顶级专家。于尔根·雷恩(Jürgen Renn)是研究所所长，他推迟了到波罗的海的一个岛上度假的计划，以便能在我访问柏林期间与我会面。雷恩和他的研究所的同事们发现了关于阿尔伯特·爱因斯坦的科学工作的许多事实，包括这样一个爆炸性的发现：爱因斯坦实际上早在1912年就在他的笔记本上写下了他最后的引力场方程的精确形式，只是由于尚不清楚的原因丢弃了它，而在4年多的艰苦研究后才重新发现了同一公式——从另一个角度展开这个方程。于尔根让我使用他的研究所的资料，允许我查看许多尚未发表的关于爱因斯坦以及他的工作的调查结果。朱塞佩·卡斯塔涅蒂(Giuseppe Castagnetti)，该研究所的一位合作研究者，在我逗留柏林期间也给了我很多帮助。我很感谢他关于爱因斯坦的人品和工作的许多见解。朱塞佩还为我安排了参观爱因斯坦在卡珀斯的农舍。

在柏林期间，我很失望地发现爱因斯坦在柏林的两个住处维特尔斯巴赫街13号和哈贝兰德街5号都没有标志。柏林当局在政府小官员或者小诗人或小艺术家甚至只住过几个月的地方，都用一块纪念性饰板加以标识，但是，对这位永恒的最伟大的物理学家的长期居住处却没有标志。对此我感到困惑和某种程度的烦恼。我在脑子里记下了这个事实：两处没做标识的爱因斯坦居所都位于这座城市的原西柏林部分。在原东柏林中心地区菩提树下大街上的那幢普鲁士科学院旧址的大楼上，确实有一块小饰板纪念这位大科学家从1914年到1932年在科学院任职。

在卡珀斯(原东德的一个村庄)，令人惊奇的事等待着我。不仅爱

因斯坦的房子有很好的标志，而且这座建筑被保留作为这位大科学家的一个纪念馆，成群的访问者前来参观。我感谢管理这所房子的埃里卡·布里茨克夫人让我专门参观了各种设施，包括这所房子不对公众开放的部分，她还让我分享她所知道的有关爱因斯坦的家庭以及他们在这所房子中度过时光的许多信息。

1998年夏末，在我完成了构思这本书的许多研究，并且感到自己已经能够将宇宙学的理论、天文学的发现、引力和时空的物理学，以及爱因斯坦个人的长期探索历程综合联系在一起时，来了一位访问者。我的好朋友，英国纽卡斯尔大学的物理学家和数学家卡洛·F·巴伦吉(Carlo F. Barenghi)来和我们住在一起。卡洛当时正出席一个在马萨诸塞州西部的伯克希尔山举行的量子理论会议，每天晚上他和我驾车一起回波士顿。在车中，我们谈论宇宙学和宇宙之谜消磨时光。卡洛帮助我深化了本书中某些宇宙学的论述。

我感谢我的出版者约翰·奥克斯(John Oakes)的支持和鼓励，感谢纽约四面八方出版社的尽职尽责的职员凯思林·贝尔登(Kathryn Belden)、菲利普·耀奇(Philip Jauch)和吉尔埃林·赖利(JillEllyn Riley)。

我的妻子德布拉·格罗斯·阿克塞尔(Debra Gross Aczel)在麻省理工学院教写作，她阅读了全部手稿并提出了许多改进本书的建议。德布拉，我感谢你，为你所作的一切。我感谢这篇前言中提到的所有出色人士，感谢他们的热忱、帮助、资料和建议。

目录

1 前言

1	第一章 爆炸的恒星
11	第二章 早年的爱因斯坦
23	第三章 布拉格, 1911 年
36	第四章 欧几里得的谜语
51	第五章 格罗斯曼的笔记本
59	第六章 远征克里米亚
77	第七章 黎曼度量
88	第八章 柏林: 场方程
102	第九章 普林西比岛, 1919 年
118	第十章 联合会议
128	第十一章 对宇宙学的思考
143	第十二章 空间的膨胀
156	第十三章 物质的本质
163	第十四章 宇宙的几何学

170	第十五章	伊利诺伊州巴达维亚, 1998 年 5 月 4 日
179	第十六章	上帝的方程式

191	参考书目
-----	------

195	译后记
-----	-----

第一章 爆炸的恒星

“真正不平凡的是我们正在使用物理的量度来回答深奥的哲学问题。”

——索尔·珀尔马特

索尔·珀尔马特坐在俯视圣弗朗西斯科湾的伯克利山高处他的办公室中，注视着金门大桥下的落日。太阳越来越红，它的外形分层为一片片的长方形状，它们接着慢慢地消失在蓝灰色的太平洋远处，真是无比壮观的景象。他懂得为什么落日会是红的，为什么天空会是蓝的——索尔·珀尔马特是一位天体物理学家。现在，恰恰正是这个地球上如此普通并且千百万人每天从山顶或沙滩，或从摩天大楼顶上的饭店观察得到的现象，使他感到困惑，他不清楚这个现象对他看到的宇宙那一边那些爆炸的星球意味着什么。

10年来，索尔·珀尔马特指挥着他的总部设在位于隔着金门大桥的对面山上的劳伦斯伯克利国家实验室的一组天文学家进行一种艰