



物理系列

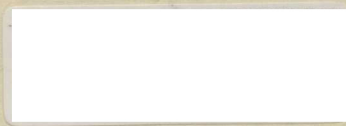
The Perfect Theory

A Century of Geniuses
and the Battle
Over General Relativity

完美理论

[英]佩德罗·G.费雷拉 / 著 向真 / 译

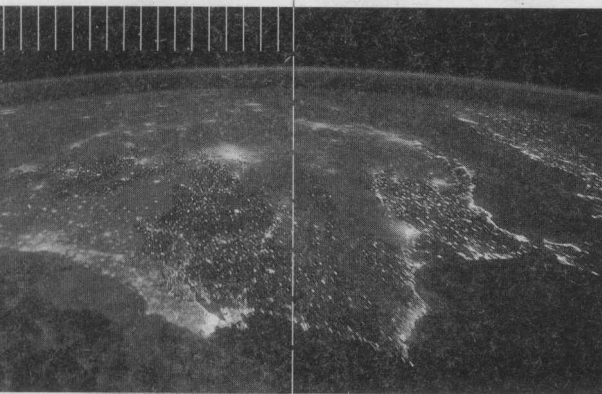
物理学精英及其奋战广义相对论的世纪历程



第一推动

CMS

湖南科学技术出版社



物理系列

The Perfect Theory

A Century of Geniuses
and the Battle
Over General Relativity

完美理论

[英]佩德罗·G. 费雷拉 / 著 向真 / 译



第一推动

CMS

湖南科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

完美理论 / (英) 费雷拉著 ; 向真译. — 长沙: 湖南科学技术出版社, 2015. 11

书名原文: The Perfect Theory

ISBN 978-7-5357-8833-7

I. ①完… II. ①费… ②向… III. ①广义相对论—普及读物 IV. ①0412.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 226890 号

The Perfect Theory: A Century of Geniuses and the Battle Over General Relativity

Copyright © Pedro G. Ferreira 2014

湖南科学技术出版社通过安德鲁·纳伯格联合国国际有限公司获得本书中文简体版中国大陆出版发行权

著作权合同登记号: 18-2010-221

第一推动丛书 物理系列

完美理论

著者: [英] 佩德罗·G. 费雷拉

译者: 向真

责任编辑: 吴炜 孙桂均

文字编辑: 唐北灿

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>

湖南科学技术出版社天猫旗舰店网址:

<http://hnkjcs.tmall.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印刷: 衡阳顺地印务有限公司

(印装质量问题请直接与原厂联系)

厂址: 湖南省衡阳市雁峰区园艺村 9 号

邮编: 421008

出版日期: 2015 年 11 月第 1 版第 1 次

开本: 880mm×1230mm 1/32

印张: 12.25

字数: 265000

书号: ISBN 978-7-5357-8833-7

定价: 45.00 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，即使是缓慢而艰难的进步，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。可以这样说，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做了艰苦卓绝的奋斗。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结果的接受和承认，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《第一推动丛书》，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

目 录

> 引 言	1
> 第 1 章 如果一个人自由下落	9
> 第 2 章 最有价值的发现	21
> 第 3 章 正确的数学，可憎的物理	38
> 第 4 章 坍缩的恒星	59
> 第 5 章 鹦鹉学舌	79
> 第 6 章 无线电时代	100
> 第 7 章 惠勒叫法	116
> 第 8 章 奇 点	136



> 第9章 统一的困境	156
> 第10章 看见引力	172
> 第11章 暗宇宙	195
> 第12章 时空的终点	217
> 第13章 惊人的外推	234
> 第14章 待要发生的事情	249
> 致 谢	263
> 注 释	265
> 参考文献	292
> 名词索引	317

引言

1919年11月6日，在英国皇家学会暨皇家天文学会的联席会议上，亚瑟·爱丁顿站起身来走上讲台，公布了他的探险队在非洲西海岸的一个郁郁葱葱的小岛——普林西比——的天文观测结果，引力物理学的传统研究模式就此被颠覆。这位剑桥天文学家以庄严的语调描述了他的探险队是如何在那里建立起一个天文望远镜观测站，并对日全食天象进行非常细心地拍摄，以捕捉途经太阳的星光所发生的微弱偏折信号的。他们的观测表明，由英国科学的守护神——艾萨克·牛顿——发明的、被当作事实接受了两个多世纪的引力理论是错误的。他声称，观测结果与阿尔伯特·爱因斯坦提出的被称为“广义相对论”的新的正确理论所作的预言一致。

当时，人们已经知道爱因斯坦理论具有解释宇宙的潜力，同时也知道要验证这种预言存在着难以置信的困难。会议结束后，在听众和发言者一同离开会议厅，将要消失在伦敦的夜色中的当儿，一个名叫路德维克·西尔伯斯坦的波兰物理学家缓步走向爱丁顿。西尔伯斯坦曾写过一本介绍爱因斯坦的“狭义相对论”的书，现在他对爱丁顿所作的有关广义相对论的发言很感兴趣。他



对爱丁顿说道：“爱丁顿教授，你肯定是这世界上理解广义相对论的三个人之一。”在爱丁顿正迟疑该怎么回答时，他接着补充说：“别谦虚了，爱丁顿。”爱丁顿看着他正色道：“哦不是，我正在想这第三个人是谁。”

当我第一次知道爱因斯坦的广义相对论的时候，西尔伯斯坦给出的人数估计很可能要向上调整了。那是在20世纪80年代初，我在电视系列节目《宇宙》里看到卡尔·萨根谈论空间和时间如何能够收缩或伸展。我当即要我爸给我解释这个理论。但他能告诉我的只是这个理论非常非常的难懂。“几乎没有人能搞懂广义相对论。”他说。

我不是那么容易却步的人。这个奇怪的理论里一定有某种深深吸引人的东西，只是它被扭曲的时空网络包裹得那么紧，以至于很难看得清。我在《星际迷航》中可以看到广义相对论的影子。影片中，当“企业号”飞船被“暗星”踢回到过去，或者当柯克船长在不同的时空之间来回挣扎时，都用到广义相对论来解释。但这个理论真的就这么令人费解？

几年后，我在里斯本上大学，学的是土木工程。这所由石头、钢铁和玻璃构成的庞大建筑群落堪称萨拉查政权时期^①法西斯建筑美学的完美典范。大学的课程设置里包含了无穷无尽的讲座，我们被灌输各种有用的东西：如何搭建计算机、桥梁和机器。我们几个对现代物理学感兴趣的同学便在课余时间阅读现代

^① 是指1932年由葡萄牙总理安东尼奥·德奥利维拉·萨拉查（1889—1970，葡萄牙总理[1932—1968]、独裁者）掌权后开始的葡萄牙法西斯独裁统治时期。这一时期一直持续到1974年葡萄牙发生4·25康乃馨革命方宣告结束。应当指出，葡萄牙的法西斯统治与意大利和德国纳粹的法西斯统治不是一回事儿，前者在二战中保持中立（二战时既亲近轴心国也给同盟国提供帮助，可能正是这一点，这一政权能够在战后继续存在那么多年）。——译注

物理来逃避这种苦差事。我们都想成为爱因斯坦。不论是当时还是现在，他的一些概念不经意间就会出现在我们的讲座里。我们懂得了能量是如何与质量相联系的，以及为什么说光实际上是由粒子构成的。正是在学习电磁波的知识时，我们开始了解爱因斯坦的狭义相对论。他想出这套理论是在 1905 年，一个 26 岁的青年，比当时的我们年长不了多少。我们的一位比较开明的导师鼓励我们去阅读爱因斯坦的原始论文。与课业布置的繁琐练习相比，这些论文正好比是玲珑剔透的小宝石。但爱因斯坦的广义相对论是关于时空的宏大理论，不是阅读书目的一部分。

我决定自学广义相对论。我搜遍大学图书馆，找到了一些由 20 世纪最伟大的物理学家和数学家编撰的专著和教材。这些作者里有剑桥皇家天文学家亚瑟·爱丁顿、哥廷根几何学家赫尔曼·外尔、量子物理学之父埃尔温·薛定谔和沃尔夫冈·泡利等。所有这些大家都用自己的独特方式讲述了该如何教授爱因斯坦的这门理论。有一本大部头著作看起来就像一厚本电话簿，有一千多页，里面还有三位美国相对论专家的赞词和评论。而另外一本由量子物理学家保罗·狄拉克所撰的小书则薄得勉强凑够了 70 页。我觉得我进入了一个由最富魅力的物理学大家所构筑的全新的概念世界。

理解他们的思想不是很容易。我不得不学着用一种全新的方式——一种在最初阶段需要用难以捉摸的几何学和深奥的数学的方式——来思考。解码爱因斯坦理论需要掌握不熟悉的数学语言。当时我还不知道当年爱因斯坦自己也是做足了同样的功课才建立起他的这一理论。一旦掌握了这种语言的词汇和语法，阅读起来就变得得心应手了，同时也由此开始了我一生的对广义相对论的迷恋。



这听起来好像过于夸张，但我实在找不出其他语言来形容：学习爱因斯坦广义相对论的最好的回报就是能够准确理解宇宙的历史、时间的起源，以及宇宙中所有恒星和星系的演化。广义相对论能够告诉我们在宇宙最远的地方是什么样的状态，它能够解释这些知识是如何影响到我们在此时此地的存在。爱因斯坦的这一理论还揭示了存在的最小尺度，在这种尺度下，能量最高的粒子可以无中生有地应运而生。它可以解释实在、空间和时间的结构是如何出现的并成为大自然的框架。

在紧张学习的这几个月里，我所学到的是，广义相对论将空间和时间变活了。空间不再仅仅是事物存在的地方，时间也不再是滴答作响的时钟所显现的保持事物运行的标签。根据爱因斯坦相对论，空间和时间是一曲交织在一起的宇宙之舞，它们对你可以想象的任何一丁点东西——从粒子到星系——做出响应。它们将自身编织成能够产生最离奇效果的复杂图案。从他第一次提出之后，这一理论就被用于探索自然世界，揭示出宇宙是一个充满活力的地方，它以极快的速度扩张，充满了黑洞，空间和时间遭到毁灭性的穿刺，到处是巨大的能量波，每一波浪涌所携带的能量几乎同整个星系的能量一样多。广义相对论已经让我们走得比我们曾经想象的更远。

当我第一次学习广义相对论时，让我震惊的还不止这些。虽然爱因斯坦发展这一理论花了差不多十年时间，但它一经建立便保持至今不曾再变。近一个世纪来，它一直被许多人认为是完美的理论，任何一位有幸了解它的人都对它深表钦佩。广义相对论，作为现代思想的核心，作为与西斯廷教堂、巴赫大提琴组曲或安东尼奥尼电影比肩的一项巨大的文化成就，已经以其放之四海而皆准的普适性成为一个标志。广义相对论可以浓缩成一组很

容易归结并写下来的方程组和法则。它们不仅优美，而且能够对现实世界给出一些说法。它们被用来对宇宙的运行进行预言，而且这些预言均已得到观察的证实。广义相对论里埋有这样一个坚定的信念：宇宙中藏着有待探索的更深层的秘密。我还想得到什么？

近 25 年来，广义相对论一直是我生活的一部分。它一直是我的很多项研究的核心，为我和我的合作者试图理解的东西提供支撑。我初学爱因斯坦理论的经历远远谈不上有多独特。世界各地都有迷上爱因斯坦理论的人，有些人为了揭开它的奥秘付出了自己的一生。这些事情真的就发生在世界各地——从金沙萨到克拉科夫，从坎特伯雷到圣地亚哥。我经常要寄送研究论文，它们的作者都试图找到广义相对论方程的新的解，甚至想修正这一理论。爱因斯坦的理论也许难以把握，但它十分民主。它的困难和棘手只是表明，在它的全部意义被发掘出来之前仍有许多东西值得探讨。任何人，只要有笔和纸，再加上耐心，都有机会在此一展身手。

我经常听到博士生导师告诉他们的学生，如果你害怕日后找不到工作，就不要去碰广义相对论。对许多人来说，这一理论实在是太深奥了。那些一生致力于广义相对论的人绝对是出于热爱，这是一项几乎得不到回报的事业。但是，你一旦发现了其中 xiii 的一个问题，你就不可能再离开相对论。最近，我遇到一位搞气候变化建模的领军人物。他是这个领域的先驱，是英国皇家学会会员，是天气和气候预报这一极度困难研究领域的专家。但他从没有打算在这一领域干一生。事实上，作为 20 世纪 70 年代的年轻人，他研究的是广义相对论。这差不多是 40 年前的事儿了，但当我们第一次见面时，他苦笑着告诉我：“其实我是个相对论



学者。”

我的一个朋友很早以前就离开了学术界，此前他曾研究爱因斯坦理论将近 20 年。现在他在一家软件公司工作，研发大数据的存储方法。他每周都要在世界各地飞来飞去，为银行、企业和政府机关去设立这些高度复杂昂贵的系统。然而，当我们见面时，他总是想问我一些有关爱因斯坦理论的问题，或与我分享他对广义相对论的最新想法。他离不开它。

关于广义相对论，有一件事一直困扰着我：尽管过去了近一个世纪，这一理论是怎么不断产生新结果的？我本来以为，鉴于有那么多精英致力于发展这一理论，它早在几十年前就该被发掘殆尽了。这个理论可能是困难的，但我们从中汲取的营养难道就没有个上限？难道黑洞和宇宙膨胀还不够丰富？但当我不断深入研究由爱因斯坦理论导出的许多思想，不断与从事这一理论的杰出人才交流接触，我就越发意识到广义相对论的故事是一部迷人的、宏大的作品，它的发展也许和这一理论本身一样复杂。理解为什么这一理论还如此鲜活的关键就是追踪其百年来的艰辛历程。

本书是关于广义相对论的传记。爱因斯坦关于空间和时间如何交织在一起的思想有它自身的生命发展逻辑。整个 20 世纪里，它既给那些世界上最聪明的大脑带来喜悦，也让他们深受挫败的
xiv 痛苦。广义相对论是这样一种理论，它时不时就会扔出一些有关自然世界的令人惊喜的古怪见解，尽管这些见解就连爱因斯坦本人也难以接受。随着这一理论的不传播，各种新颖的和意想不到的发现以最奇特的情形冒出来。黑洞的最初设想是在第一次世界大战的战场上，后来又同时递交到美国和苏联的原子弹开拓者手中。宇宙膨胀的想法最早是由一位比利时神父和一位俄国数

学家兼气象学家提出的。对于广义相对论的建立起到至关重要作用的新奇的天体是偶然被发现的。乔斯琳·贝尔是在剑桥用木头、铁丝和钉子搭建的摇摇晃晃的铁架上发现中子星的。

广义相对性原理也是 20 世纪几场重大思想战役的核心。它是希特勒德国迫害的目标，是斯大林的俄国追逐的对象，在 20 世纪 50 年代又被美国打入冷宫。它挑起了物理学界和天文学界的各路大腕为争夺宇宙的终极理论而互相攻击。在探求宇宙是否由一声巨响开始，或宇宙是否会永恒存在，以及时间和空间的基本结构到底是什么等问题上，他们时不时就会将广义相对论抖搂出来。这一理论还将遥远的社区连接在一起：在冷战中，苏联、英国和美国的科学家曾就解决黑洞的起源问题坐在了一起。

广义相对论的故事并不是只关于过去。在过去的十年里，这一点已经很明显：如果广义相对论是正确的，那么大部分宇宙就将是暗的。宇宙中充满了这样一种东西，它不仅不发光，而且甚至不反射光也不吸收光。观测证据是压倒性的。宇宙中近三分之一的物质似乎是由暗物质构成的，这是一种重的、看不见的东西，它们就像一群愤怒的蜜蜂拥在星系的周围。另外三分之二的虚无缥缈的物质则以暗能量形式存在，它们将空间推离开。只有 4% 的宇宙是由我们所熟悉的东西——原子——构成的。我们是微不足道的。也就是说，如果爱因斯坦的理论是正确的，那么就有可能——当然仅仅是可能——我们正趋近广义相对论的极限，爱因斯坦理论已经开始被破解。

爱因斯坦理论也是那些整天挂在理论物理学家嘴上的关于自然的新的基本理论的基本要素。弦理论，一种试图比牛顿和爱因斯坦走得更远，大有要统一自然界一切之势的理论，依赖于具有更高维上奇特的几何性质的复杂时空。有些人将这种比爱恩斯



坦理论远更深奥的理论赞誉为终极理论，而另一些人则将它抨击为浪漫小说，甚至不是科学。就像一种出格的邪教，如果不是有广义相对论在前，弦理论也不会存在，但许多相对论学者却拿怀疑的眼光来看待它。

暗物质、暗能量、黑洞和弦理论都是爱因斯坦理论的后代，它们主宰着物理学和天文学。在给各大学做讲座，参加研讨会，出席欧洲航天局会议，负责一些世界上最重要的科学卫星节目的过程中，我认识到，我们正处在现代物理学的一项重大变革之中。有才华的年轻科学家已能够用一个世纪里积累起来的专业知识来看待广义相对论。他们正在用无与伦比的计算能力来发掘爱因斯坦理论，探索有可能废黜爱因斯坦理论的引力替代理论，在茫茫宇宙中寻找可以证实或证伪广义相对论基本原理的古怪天体。更广泛的科学家社区正被同时调动起来积极参与到建设庞大的观测设备的事业中来。这些设备可以比我们以往任何时候都看得更远、更清楚，卫星将被发射用来搜寻广义相对论提出的某些古怪的预言。

广义相对论的故事叙事宏大，目标高远，值得传颂。因为进入 21 世纪后，我们正面临它的许多重大发现和悬而未决的问题。一些重要的事情很可能真的会就在未来几年里发生，我们需要了解这一切从何而来。我认为，如果说 20 世纪是量子物理学的世纪，那么 21 世纪就将是爱因斯坦的广义相对论充分展示其魅力的舞台。

1907 年秋，爱因斯坦倍感压力。他应邀为《放射学和电子学年鉴》¹ 写一篇有关狭义相对论的综述性文章。这是一项很高的要求，要求在如此短促的时间里总结如此重要的工作，何况他还只能在业余时间里去做。从周一至周六的每天上午 8:00 到下午 6:00，爱因斯坦得在伯尔尼联邦知识产权局上班。这个单位的办公地点在新落成的邮政电报大楼楼上。在那里他要认真研读各种新奇的电子器件的专利申请书，找出其中的新颖之处。爱因斯坦的老板曾向他建议道：“当你拿起一项应用方案时，你得预设发明者说的这一切都是错的。”他对这条建议一直牢记在心。在那段日子里，他关于自己的理论和发现所做的笔记和计算不得不退居办公桌的第二个抽屉，他称这里是“理论物理系”。

爱因斯坦的这篇综述回顾了他将伽利略和牛顿的力学与法拉第和麦克斯韦的新的电学和磁学成功联姻的过程。它解释了爱因斯坦多年之前发现的许多古怪现象，例如运动中的时钟为什么会² 变慢，为什么物体高速运行时会收缩等。它还解释了他导出的古怪而神奇的公式，这个公式阐明了为什么质量和能量可以互换，而且没有什么能比光速更快。他对相对性原理的综述可以描述为