



科学咖啡馆系列



相对论时空

Spacetime in Relativity

陈应天 著 庆承瑞 译

上海科技教育出版社



科学咖啡馆系列

Spacetime in Relativity



相对论时空

陈应天 著 庆承瑞 译

上 海 科 技 教 育 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

相对论时空/陈应天著;庆承瑞译. —上海:上海科技教育出版社,2008.8

(科学咖啡馆系列)

ISBN 978-7-5428-4544-3

I. 相... II. ①陈... ②庆... III. 相对论—普及读物
IV. O412.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 106302 号

Spacetime in Relativity

By Y. T. Chen

Copyright © 2003 by Utsan Publications & Distributors Sdn Rhd
Chinese (Simplified Character) Trade Paperback copyright © 2008 by
Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House

Published by arrangement with Y. T. Chen

ALL RIGHTS RESERVED

上海科技教育出版社业经陈应天

取得本书中文简体字版版权

责任编辑 刘丽曼 章 静 封面设计 桑吉芳 童郁喜
版式设计

科学咖啡馆系列

相对论时空

陈应天 著

庆承瑞 译

上海世纪出版股份有限公司 出版发行

上海科技教育出版社

(上海市冠生园路 393 号 邮政编码 200235)

网址: www.ewen.cc www.sste.com

各地新华书店经销 上海华成印刷装帧有限公司印刷

ISBN 978-7-5428-4544-3/N·749

开本 850×1168 1/32 印张 6.25 插页 1 字数 140 000

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印数 1-3 200 定价: 14.00 元

内 容 提 要

科学、技术和数学在我们的日常生活中起着越来越重要的作用。因此,在当代人的教育中,这些内容已经成为最重要的部分。对技术和数学的理解有助于我们更准确地了解科学的证据以及如何有条理地进行逻辑论证。一个受过科学基本训练和熏陶的人更容易形成科学的世界观——外部世界可以通过科学来阐明、用数学语言精确刻画,并用技术手段来加以证明。

相对论代表了人类智慧最华美的结晶,也集中反映了当代人的科学精神和追求。作者希望通过本书向读者介绍一种概括的认知,以便理解爱因斯坦的相对论,特别是爱因斯坦对自然、光的传播、空间、时间和引力的观点。作者希望读者能领略到爱因斯坦相对论的内在美,从而有助于培养正确的创造性科学思维方法。作者认为,教育和科学工作者、社会政策的制定者以及工业界的管理者都应该了解,在对人进行教育和培养的过程中,与浅薄的科学新闻或死记硬背的数学公式相比,科学思维的训练更为重要。

本书讨论的许多问题可能会引起许多在科学上四处“觅食”的大学生和高中生的兴趣,其他行业关心科学与技

术的人也可能从中得到启发,从而更坚定地努力按照科学的方法来考虑和处理各种问题。

作者简介

陈应天,1943年生,江苏扬州人。1967年毕业于中国科学技术大学。1982年获英国剑桥大学博士学位,并被选为基督圣体学院高级研究员。先后任教于华中科技大学、剑桥大学、加州理工学院、巴黎十一大学、马来亚大学、中国科学技术大学等。前期主要从事引力物理包括引力波的研究工作;曾与卡文迪什实验室主任库克教授合作发现了有限圆柱体的引力场的理论精确解;提出了引力测量热噪声的限制;在20世纪80年代,用当时最高精度的实验验证了引力平方反比定律。后期主要从事将主动光学应用于其他领域,特别是太阳能聚光的研究工作;理论上提出了定日镜的最一般跟踪公式,特别是自旋—仰角公式;还提出了在镜阵中使用行列运动消除象差的理论等。在近年的工作中,实验上实现了将主动自适应光学运用于太阳能聚光的一系列新的光伏、光热的新设计。著作有 *Gravitational Experiments in the Laboratory* (与 Alan Cook 合著,1993年,剑桥大学出版社), *Spacetime in Relativity* (2003年) 等。

译者简介

庆承瑞，女，1933年生，1950年进入清华大学物理系学习，1956年毕业于苏联列宁格勒大学物理系。多年来一直从事物理学的教学和研究工作，主要研究核物理、粒子物理和粒子天体物理等相关领域的问题。离休前是中国科学院理论物理研究所研究员。

前 言

1969年的夏天,在中国的大地上,正开展着轰轰烈烈的“文化大革命”。然而,在上海淮海路的一座小房子里,四个二十出头的年轻人却静悄悄地办起了他们自己的科学研究杂志。他们自己撰稿、刻版、印刷、装订,出版了一份与当时的社会格调完全不同的科学刊物。由于担忧受到莫须有的批判,该地下刊物在出版了两期以后就中途夭折了。这四个人的名字是温元凯、陈平、褚君浩和我自己。就在这份地下刊物中,我第一次发表了关于相对论引力理论的文章。这篇文章经过了五年的写作和修改,当中还受到严济慈教授等名师的批评和指正。

我在踏入大学校园的第一天就开始了相对论的自学。那时,新华书店唯一能买到的相对论书籍是由爱因斯坦所著的李灏先生翻译的关于相对论的一本小册子*;这本书一直陪伴着我,每一页几乎都被翻破。直到十几年以后我从山东的一个工厂调回华中工学院教书时,才有幸见到李灏教授。李教授建议我把学习相对论的心得写成教材

* 参见《相对论的意义》,爱因斯坦著,李灏译,科学出版社,1961年。亦见《相对论的意义》,爱因斯坦著,郝建纲等译,李新洲审校,上海科技教育出版社,2005年。——译者

在华中工学院讲授,那本教材正是现在出版的这本《相对论时空》的雏形。十分有趣的是,我在1980年到剑桥大学以后,同时任卡文迪什实验室主任的库克(Alan Cook)教授一起从事的正是相对论的引力实验研究,这使我的一生同相对论结下了不解之缘。我的研究特别是引力实验工作,使我有机会接触到许多不同的高科技领域;尤其是20世纪80年代在美国加州理工学院从事引力波研究时,必须具备多方面的专业知识和技能,并需要在这些领域中有所创新。我发现,多年以来学习的相对论知识,特别是爱因斯坦的一些思想方法,对我进入其他陌生领域并以最快速度领悟到该领域的学术之道确有十分的帮助。在加州理工学院从事引力波研究的三年应当是我一生中非常努力的一段时期了;然而,经过近三年的相对论引力波研究,我唯一发表的文章竟然是刊登在与传统基础物理没有太多关系的美国《光学》(Optics)杂志上,而这篇文章却对后来的光导纤维陀螺仪的研究产生一些影响。这是我在发表文章时没有意料到的。

后来,由于各种机缘,我又在光导纤维、太阳能光伏、光热、高温冶炼、断裂力学、雷达、机械制造等与相对论根本无关的领域工作并做出一些小的事情,而有些事情竟然是在该领域的专业人士也意想不到的。几十年科学研究的经验,使我悟出了在科学乃至各种工业发展的研究中,确实有“种瓜得豆,种豆得瓜”的道理。

相对论的时空理论是近代物理学除了量子理论以外的另一个重要支柱。相对论的时空观念不但影响了我们这一代人的宇宙观,更对我们的思维方式以及逻辑方法的改进有着巨大的作用。直接学习、领悟诸如爱因斯坦等大师们思考过的问题,以一种身临其境的方法与大师们一同思

考、一同进行各种选择,对于我们提高思考能力,产生创新思维,是十分有益的。对于年轻人来说,学习相对论并不完全是为了能成为相对论的研究学者(当然也不排斥这种可能性),这样的学习对在其他领域深造和可能达到的发展高度的帮助,将是不可估量的。

正是因为上述原因,在海外工作二十多年的我于 2004 年回国后,在一些科学界前辈的劝说和帮助下,由庆承瑞教授和赵峥教授将我以前在海外发表的“Spacetime in Relativity”进行翻译整理和补充,完成了这本《相对论时空》。

寓希望本书能提供在各个专业学习的学生及在各个领域工作的学者、研究人员、管理人员等一些可思考、可争辩的有趣的问题,起到以上所讲“种瓜得豆”的效益。在本书整理翻译的过程中,庆承瑞教授和赵峥教授对许多部分做了大量的补充和修改,实际上是这本书的合著者,我在此致以诚挚的谢意。

陈应天

2008 年 7 月改定于上海

目 录

前言	I
1. 爱因斯坦以前的物理理论	1
1.1 作为思想家的爱因斯坦	1
1.2 牛顿定律	4
1.3 经典理论中的光	13
1.4 如果上帝曾经和我商量过……	26
2. 狭义相对论中的空间和时间	28
2.1 爱因斯坦新的出发点	28
2.2 洛伦兹变换	35
2.3 对同时性概念的修改	40
2.4 狭义相对论中的空间	43
2.5 狭义相对论中的时间	50
3. 狭义相对论中的动力学	54
3.1 关于四维空间的概念	54
3.2 狭义相对论中的速度	61
3.3 相对论中的动量	62
3.4 宇宙中只有点和场可以存在	70
4. 爱因斯坦关于广义相对论的公设	73

4.1	下一步是什么?	73
4.2	广义相对性原理	74
4.3	等效原理	79
5.	广义相对论中的空间和时间	89
5.1	弯曲的空间与时间	89
5.2	爱因斯坦的引力场方程	93
5.3	引力场中的空间和时间	97
6.	广义相对论的实验证据	100
6.1	引力的作用力其实很弱	100
6.2	光线弯曲	101
6.3	光的红移	108
6.4	雷达回声延迟实验	113
6.5	行星轨道近日点的进动	115
6.6	等待进一步的实验检验	119
6.7	对非牛顿引力的探寻	119
7.	引力波的探测	131
7.1	什么是引力波	131
7.2	可能的引力波发生源	134
7.3	韦伯棒	137
7.4	将激光干涉仪用于引力波探测	139
7.5	引力波的存在是否被证实?	153
7.6	我们需要一个新的天才	155
8.	强引力场	156
8.1	太阳并不永恒	156
8.2	黑洞	162

8.3 黑洞存在的证据	169
8.4 关于宇宙的两类模型	170
8.5 宇宙膨胀的证据	174
8.6 宇宙大爆炸的证据	176
附录 引力常数 G 的实验数据	179
译后记	181

爱因斯坦以前的物理理论

1.1 作为思想家的爱因斯坦

在物理学史中,还没有什么理论像相对论(包括狭义相对论和广义相对论)一样,几乎只和一个人的名字相联系。尽管对相对论的建立和发展作出过贡献的人有不少,例如洛伦兹(H. A. Lorentz)、庞加莱(J. H. Poincaré)、闵可夫斯基(Hermann Minkowski)、惠勒(John Wheeler),以及更近一点的如霍金(Stephen Hawking)、彭罗斯(Roger Penrose)等,但没有任何人可以和爱因斯坦(Albert Einstein)的贡献相比拟。

和别的理论有所不同,相对论最主要的基点在于它深刻的理论批判和创新,这种创造是缘由对经验的分析和深刻的思考。历史上,牛顿(Isaac Newton)提出了力学运动三定律,但那主要是依据实验的事实和日常观察的结果。牛顿后来提出的万有引力定律,更是根据哥白尼(Copernicus)、开普勒(Kepler)及其他伟大先驱者的许多天文观测和记录。与前人不同,爱因斯坦则主要是通过人类铸造的经验和逻辑思维进行理论研究,在仔细透彻分析了以往的科学思想后,爱因斯坦提出了从形态到方法论上都是崭新

的理论。

不管是狭义相对论还是广义相对论,其严格的数学推导,都是从几个最基本的公设开始,余下的结论皆由此推导而出。真正的科学研究,不是把问题复杂化,而是把世界化为更为简单的元素,然后用严密的逻辑将这些元素编织起来以组合成五彩的现实。

从方法论上看,由于问题复杂,爱因斯坦在他的理论中运用了几何学,特别是非欧几何,这就使得相对论的理论推导中充满数学符号,以致一般非专业读者较难看懂。历史上,在相对论刚刚提出时,几乎没有哪个国家愿意在有影响的报纸上刊登介绍相对论的通俗文章。尽管如此,在爱因斯坦复杂的公式后面,是深邃的科学和哲学思想以及各种理想实验。挖掘并解释爱因斯坦的这些隐藏在理论

背后深刻的思想,介绍相对论理论的出发点和创新点,是本书的目的。

爱因斯坦生于 1879 年 3 月 14 日。有趣的是:也许是他与生俱来的不断思索的习惯使他差不多直到 3 岁才会说话。他的那种与众不同和独来独往的思索习惯可能在他很小时就显现出来,以致被看作不安分或者智力上迟钝,因而和其他的孩子无法交流。也因为这个原因,在他 15 岁时,被

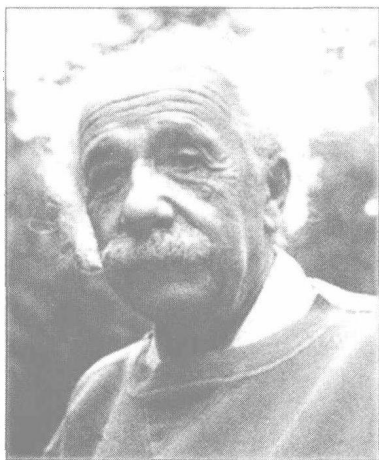


图 1.1 爱因斯坦 (1879—1955), 伟大的美籍德裔科学家。他关于相对论的工作,继牛顿之后,在科学上开启了一个崭新的时代。



学校开除;但通过自学物理和数学,两年后,他考入了瑞士的苏黎世联邦工业大学。

爱因斯坦 16 岁时就表现出某些超群的见解。他一直关心的一个问题是:如果人能够以光速来旅行,那将会怎样?当时,他是有理由提出这个问题的,因为经典力学没有妨碍任何一个物体以光速来运动。他后来曾经回忆自己年轻时想的这个问题:“如果我以光速来跟踪一束光,那我将看到什么样的情景……”正是按照这一思路,他最终解决了 20 世纪初曾经困扰了许多伟大物理学家的难题。

事实是:当爱因斯坦解决上述难题,从而在科学上开辟了一个新纪元时,他并没有机会了解也没有注意当时一些重要的实验事实,例如迈克耳孙 (Albert A. Michelson) 和莫雷 (Edward Morley) 的实验,以及当时经典理论所面临的诸多难题的细节。他的理论建立主要



图 1.2 年轻时的爱因斯坦

依赖自己天才的思考推理,而他后来发表出来的理论恰恰解决了当时人们争论不休的问题,不能不说是十分的巧合。历史往往就是偶然和必然的结合。的确,如果从理论发展的必然性来看,相对论理论的突破应当由当年在卡文迪什工作的麦克斯韦 (James C. Maxwell) 来完成,然而也许是由于他英年早逝 (死于 48 岁),也许是传统思想的束缚,历史的重担终由后来的爱因斯坦挑起。