


爱  
因  
斯  
坦

# 改变 世界的方程

牛顿、爱因斯坦和相对论

[德] 哈拉尔德·弗里奇 著

邢志忠 江向东 黄艳华 译

 上海科技教育出版社




爱  
因  
斯  
坦  
书  
系

# 改变 世界的方程

牛顿、爱因斯坦和相对论

[德] 哈拉尔德·弗里奇 著

邢志忠 江向东 黄艳华 译

 上海科技教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

改变世界的方程:牛顿、爱因斯坦和相对论/(德)弗里奇(Fritsch, H.)著;邢志忠,江向东,黄艳华译.—上海:上海科技教育出版社,2016.6

(爱因斯坦书系)

书名原文:An Equation that Changed the World: Newton, Einstein, and the Theory of Relativity

ISBN 978-7-5428-6143-6

I. ①改… II. ①弗… ②邢… ③江… ④黄… III. ①相对论—研究 IV. ①0412.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第058910号

责任编辑 潘 涛 郑华秀

装帧设计 杨 静

爱因斯坦书系

改变世界的方程——牛顿、爱因斯坦和相对论

[德]哈拉尔德·弗里奇 著

邢志忠 江向东 黄艳华 译

出 版 上海世纪出版股份有限公司  
上海科技教育出版社  
(上海冠生园路393号 邮政编码200235)

发 行 上海世纪出版股份有限公司发行中心

网 址 www.ewen.co www.sste.com

印 刷 常熟文化印刷有限公司

开 本 720×1000 1/16

印 张 16.25

版 次 2016年6月第1版

印 次 2016年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5428-6143-6/N·971

图 字 09-2016-285号

定 价 40.00元

大多数为一般读者编写的科学书籍都比较注重给读者留下深刻印象，而较少注重清楚地解释基本的目标和方法。一些聪慧而非专业的读者见到这类书时，顿生沮丧之感而自馁：“这超过了我的智力，我没法理解。”更有甚者，这些描述往往是耸人听闻的，这就使明智的读者愈加反感。简言之，责任不在读者，而在作者和出版者。我的忠告是：大凡这类书，只有在确定了其内容能够被聪慧而苛刻的一般读者理解和赏识之后，才宜出版。

——阿尔伯特·爱因斯坦



## 内 容 提 要

一个简单的数学方程果真能够改变世界吗？它究竟隐含着如何深邃的物理意义？作者以简明清新、通俗易懂的文笔讲述了狭义相对论的基本思想，其中著名的质能方程  $E = mc^2$  在人们认识自然界的物质结构和性质之中扮演了核心的角色。原子弹爆炸的巨大能量来源正是基于这个方程所描述的物理原理，因此后者通过前者而改变了整个世界。

本书的主要内容是以虚拟的三人讨论的形式来表述的，参与者包括艾萨克·牛顿、阿尔伯特·爱因斯坦和一位虚构的名叫阿德里安·哈勒尔的理论物理学教授。他们代表了物理学发展的三个不同时代。通过三人之间生动活泼的对话，读者可以切身领会相对论的时空观，比如光速不变性原理、时间延缓和空间收缩。而质能关系的出现则加深了我们对物质世界的理解：核裂变、核聚变、粒子与反粒子的产生和湮没等等不可思议的现象都是物质和能量之间相互转化的例证。

## 作者简介

哈拉尔德·弗里奇(Harald Fritzsch),著名理论物理学家与科普作家。1971年在慕尼黑工业大学获得博士学位。曾经在斯坦福大学、加州理工学院和欧洲核子研究中心工作,1980年受聘成为慕尼黑大学索末菲教授(Sommerfeld Chair),2008年退休。他与盖尔曼合作多年,共同为量子色动力学——描述强相互作用的理论——做出了意义深远的奠基性工作。他在大统一理论、味相互作用理论等许多领域都具有原创性的重要贡献。他的科普畅销书被译成多种文字,其中《夸克》(*Quarks*)一书的中译本拥有众多读者。在20世纪80年代,他制作的名为“微观世界”的电视系列片在德国常播不衰,影响广泛。



## 中文版序言

1905年,年轻的爱因斯坦(Albert Einstein)改变了我们思考空间、时间和物质的方式。他认识到,要理解为什么光速在所有参考系中都相同,唯一的方式就是假设时间并不像牛顿(Isaac Newton)所认为的那样是绝对的,而是相对的。在运动系统中,时间的流逝是不同的。而且,刚体的长度也不是恒定的,而是变化着的,这种现象被称为洛伦兹收缩(Lorentz contraction)。此外,爱因斯坦还认识到,物质和能量在本质上是相同的。根据他的著名方程  $E = mc^2$ ,质量可以转变为能量。

爱因斯坦并不认为他的方程对描述粒子的相互作用会有用,可是我们已经看到,在适当的时候爱因斯坦的公式甚至还描述了电子及其反粒子(即正电子)湮没成两个光子,或者通过两个光子碰撞而产生一对正负电子。核反应堆中能量的产生也是爱因斯坦方程的直接应用。

在本书中,我以爱因斯坦、牛顿和一位名叫哈勒尔(Adrian Haller)的现代物理学家三人对话的形式描述了爱因斯坦的思想。我之所以选择这种形式是因为,这样可以更好地描述一个人在了解相对论(theory of relativity)的过程中所遇到的困难。在这方面我效仿了伽利略(Galileo Galilei),他在1632年出版的《关于两大世界体系的对话》(*Dialogue on the Two Chief*

*World Systems*)一书中采用了类似的形式。

我希望中国读者能喜欢牛顿学习相对论的方法,而且也能用这种方法去学习相对论。爱因斯坦的理论对于我们理解这个世界是非常基本的,每个人至少都应该知道它的主要思想。正因为如此,我希望本书在中国能有许多读者。

哈拉尔德·弗里奇

2004年10月于慕尼黑





## 英文版序言

1921年4月2日,荷兰“鹿特丹号”(Rotterdam)海轮载着爱因斯坦驶进了纽约港。爱因斯坦到达美国标志着一种永恒魅力的开始展现,这种魅力不但来自于相对论思想,而且——对于一个科学家来说是前所未有的——来自于这种思想的创造者。然而,在1921年尚无人能预见,爱因斯坦有关空间和时间的相对性以及物质和能量的等价性的理论20多年后对世界政治会起到间接但举足轻重的作用,影响着工业化国家的所有成员的个人生活。事实证明,爱因斯坦的洞察力,与核物理学、粒子物理学和天体物理学中的最新发现一起,导致了关于我们这个始于大约150亿年前的一次剧烈爆炸[即大爆炸(Big Bang)]的物质世界的全新观念。

对于任何一个试图理解现代宇宙学的人来讲,爱因斯坦思想的某些知识乃是基本的背景。而我这本介绍这些知识的书,如同它此前为德文读者和意大利文读者所绘一样,现在得以为英文读者所绘。为此,我衷心感谢芝加哥大学出版社的佩内洛普·凯泽林(Penelope Kaiserlian)使这个版本得以出版,感谢卡琳·霍伊斯(Karin Heusch)做了认真细致的翻译,以及克莱门斯·A·霍伊斯(Clemens A. Heusch)在专业术语上的把关。但愿本书有助于广大

读者了解一些现代科学的奇迹。这种广博知识不仅是进一步促进科学探索的关键所在,也是爱因斯坦的一份宝贵遗赠。

1994年4月于日内瓦欧洲核子研究中心

## 目 录

1	中文版序言
3	英文版序言
1	引言
10	第一章 牛顿与真理之海
19	第二章 牛顿和绝对空间
33	第三章 邂逅牛顿
42	第四章 关于光的对话
57	第五章 牛顿与爱因斯坦相会
67	第六章 光速乃自然常量
75	第七章 事件、世界线和佯谬
93	第八章 时空中的光

101	第九章 时间延缓
119	第十章 快 $\mu$ 子寿命更长
132	第十一章 双生子佯谬
142	第十二章 空间收缩
150	第十三章 时空之奇妙
160	第十四章 质量的时空性质
171	第十五章 改变世界的方程
181	第十六章 太阳的能量
191	第十七章 阿拉莫戈多闪电
197	第十八章 隐藏在核子中的能量
209	第十九章 神秘的反物质
220	第二十章 对基本粒子感到惊奇
228	第二十一章 物质衰变吗?
236	结语
237	引文出处
238	推荐读物
239	术语表



## 引 言

爱因斯坦每天都向我讲解他的理论；到我们抵达之时，我最终为他对该理论的理解而折服。<sup>1</sup>

——魏茨曼(Chaim Weizmann),  
对1921年与爱因斯坦横渡大西洋一事的陈述

本书的书名非同寻常，它涉及一个数学方程：

$$E = mc^2.$$

这个方程描述了物质客体的能量 $E$ 与质量 $m$ 之间的联系，这两个量由大约300 000千米每秒的光速 $c$ 联系起来。爱因斯坦于1905年写下的这个著名方程，并不仅仅是那些支撑现代物理学的数学公式之一，而且是我们时代的真正象征。至少对参与第一次原子弹试验的科学家和技术专家们来说，当他们的核装置于1945年7月16日早晨6时许在新墨西哥沙漠起爆时，这一点就清楚了。对世界上其余人而言，几十天之后的1945年8月6日，当广岛的10万人沦为原子弹爆炸的牺牲品之时，这一点也就变得明确了。

从那时起，能量和质量之间的关系的后果就以原子弹和氢弹的形式直接或者间接地左右着世界政治。仅仅是由于我们这颗行星上的所有生命也许都会毁于这些炸弹的这种可能性，使得我们拥有了从1945年至今这么一

段长期没有发生过全球性战争的岁月。拥有核武器的国家代之以相互监督,保持一种非稳定的平衡。

要想判断这种均衡能够维持多久,以及这种潜在的全球毁灭的威胁是否会最终迫使全世界裁军,还为时过早。一个没有战争,亦即没有原子战争的世界也许最终成为可能。这乃是历史的嘲讽。因为我们已经认识到,另外一种选择不会像我们所知的这个世界这样把战争当作国际政治的一种合法手段,而是根本不存在什么世界。

20世纪的开端是以世界性的政治变革为标志的,这场变革导致了19世纪后期表面上井然有序的资产阶级世界的破坏。这些变革包括一场有组织的革命运动在俄罗斯兴起,美利坚合众国经济和政治地位的提高,以及欧洲潜在的大规模对抗的出现最终导致了第一次世界大战的爆发。有趣的是,科学上一场革命性的反思也始发于大致相同的时间。这是由一位相当保守的德国物理学家普朗克(Max Planck)和伯尔尼瑞士专利局的一位名叫爱因斯坦的年轻雇员引起的,前者奠定了量子理论的基础,从而有了现代原子物理学。

接近19世纪末期,自然科学由经典物理学主宰,其巅峰即是牛顿的力学定律。这些定律曾被看作普遍地适用于我们的整个宇宙,它们支配着恒星、行星和原子的运动。牛顿力学的基础是质量的稳定性和永恒性。按照牛顿学说,空间和时间都是确定的绝对结构。

爱因斯坦的相对论,或者严格些说狭义相对论(special theory of relativity),具有一些令人惊奇的结果。[他的广义相对论(general theory of relativity),大约于1915年提出,主要是处理引力问题,不在此书讨论。]无论是空间还是时间,都不是普遍适用的概念,两者都取决于观察者的物理状况。而且,质量概念不再具有普遍意义:质量能够转变为能量,反之亦然。

那种转变是由爱因斯坦方程 $E = mc^2$ 来描述的。这个方程表示的是,每一个物质单元都存在着相应的巨大能量,量值是由其相应的质量乘以光速 $c$



的平方得到的。

可以用下面的例子来表明这种能量是何等巨大：一辆以 180 千米每小时（也就是 50 米每秒）的速度行驶的小轿车，它所具有的动能是  $\frac{1}{2}$  乘以质量  $m$  再乘以速度  $v$  的平方，即  $\frac{1}{2}mv^2$ 。而按照爱因斯坦的公式  $E = mc^2$ ，小轿车的质量所对应的能量要比它的动能大一个  $2 \times (c/v)^2 \approx 7.2 \times 10^{13}$  的因子，即这个因子几近百万亿 ( $10^{14}$ )。

当然，这种能量实际上不能取而用之，这是由于制成小轿车的材料是稳定的，它们不能转变成诸如辐射能这样的其他形式的能量。只有借助原子核物理学技术，这种转变才是可能的，即便如此，也只能部分地实现。

爱因斯坦的方程不仅描述了物质转化为能量的过程，而且描述了其逆过程，即能量变成物质的过程。例如，通过光的粒子或者说光子的碰撞，就可能产生物质的粒子。这种可能性使得物理学家和天体物理学家可以去推测在宇宙演化的开端，亦即所谓大爆炸时物质的产生。

有一种错误的看法，即认为相对论深奥得只有专家才能懂。考虑该理论的细节时，此言不虚，的确难懂。然而，其基本思想还是相当简单易懂的，感兴趣的门外汉要想知道它们都应该没有困难。专家们试图向感兴趣的非物理学家读者解释时所遇到的问题都是概念性的。

早在童年时代，我们所有人就对我们周围的空间及其显然是有规律且普遍的时间流有所感觉。相对论的一些推论经常被描述成似乎是与这种感觉相冲突的东西。我们得到一种假象，认为相对论涉及的是空间和时间概念的彻底革命。而实际上，相对论只是对这些概念的修改和扩充，它适用于我们日常生活中很少出现的情况，特别是适用于物质以接近光速的惊人速度运动时的情况。

相比之下，我们在日常生活里所涉及的速度都是非常小的。因此，我们对空间和时间的直观理解与极端速度情况下相对论所预期的一些奇异效应不相符。为了理解这些效应，我们不仅应该认识新事物，而且应该放弃一些

熟悉的思想,或者弄清它们的局限性。这才是真正的困难之所在。

放弃老思想,有时是有几百年历史的思想,是个费力的过程。往往,只有付出巨大的努力才能完成这一过程。自然科学中的重大发现的奥秘,更多的是在于对老思想的不足的认识,而较少在于新思想的产生。

进入20世纪不久,当爱因斯坦发现能量和质量之间的关系之时,他是从方程 $E = mc^2$ 不过是评价物理过程中能量和质量的等价性的一个有用的方程这一思想着手的。在那个时期已经被仔细研究过了的物理过程中,不存在切实可行且直接把质量转变成能量的方法,比如说把质量转变成电磁辐射。对某一特定质量,至多也只有微小的一部分质量能转变成其他形式的能量。

当时爱因斯坦本人也不相信,真有可能把大量物质直接转变成能量。不过,他错了。他不会知道,在他推导出他的方程仅仅几年之后,一种新的作用力就被发现了——原子核内部的强力(strong force)。借助这种强力,原子核的比较大的一部分质量能直接转变成能量,或是转变成粒子的动能,或是反应中发出的光子的电磁能。这就是投在广岛的原子弹爆炸时所发生的情况。

1945年8月6日,原子弹爆炸时1克质量瞬间转变成能量,大约相当于12400吨常规炸药TNT爆炸时的总能量。(原子弹本身是一个复杂的技术装置,比常规炸弹重得多,约为4吨。)它足以毁掉一座30万人口的城市的大部分。

原子弹或者核反应堆中的能量是通过把质量转化为能量而产生的。之所以能够转化只是因为,在众所周知的引力和电磁力之外,还存在着一种自然力,即在原子核内部的粒子之间的强相互作用(strong interaction)。[也还存在另一种力,被称为弱核力(weak nuclear force),体现在原子核的放射性衰变中;但在此处与我们没什么关系。]这种强相互作用的实质特征是:参与强相互作用过程的客体(粒子、原子核),其质量频繁地发生改变。

在宇宙演化的早期,缘于强相互作用的反应普遍而平凡。因此,或许能





用强相互作用过程来解释轻原子核的合成。大爆炸可能发生在大约150亿( $15 \times 10^9$ )年前,而轻核的合成期是在此后不久。像铁核这样的重核,是在恒星内部发生核反应过程时合成的。使我们的日常生活受益的太阳能的辐射能量,同样来自太阳内部的强相互作用过程。

涉及强相互作用的过程在地球上不再出现。地球上的绝大多数动力学过程都是由引力或者电磁相互作用来支配的。在这些过程中,相关的粒子质量不会改变。

像普通的燃烧或者手榴弹的爆炸这样的化学过程,终归是电磁过程,因为原子是靠电性吸力结合在一起的。这就是为什么长期没能认识到质量和能量是可以互相转换的原因所在。在19世纪,物理学家和化学家讲述了自然科学中两个不同的守恒定律,即能量守恒和质量守恒。

在19世纪所发现的许多现象,比如那些涉及电磁学或者原子的过程,只有在空间和时间不分开考虑的情况下才能被理解,这种认识直到20世纪初期才变得清楚起来。必须把空间和时间连带起来对待,我们用术语“时空”(space-time)来表示它。从数学上把空间和时间的这种联合公式化,就是爱因斯坦的相对论所做的。这种联合的一个重要结果乃是质量和能量的可转换性。

经典力学,我们也可以称之为牛顿物理学,其中的质量和能量是作为两个独立概念而存在的。按照牛顿力学,炮弹在静止时的能量为零;而在爱因斯坦的理论中,其能量非常之大。尽管如此,我们不应该说牛顿理论已被相对论所取代。在速度没有高到可与光速相比的情况下,牛顿理论仍然是正确的,我们已提到过,光速是大约300 000千米每秒。我们日常生活中所观察到的现象大多是发生在速度颇为有限的情况下的。因此,牛顿物理学在我们日常经验方面具有直接的意义:任何一个开小轿车的司机都具有一种通晓这些规律的直觉。在危急时刻,若没有这种直觉就没有一个司机能够幸存。

在涉及原子核因强相互作用而有所改变的过程中,相关粒子的速度通