



前沿科学探索书系

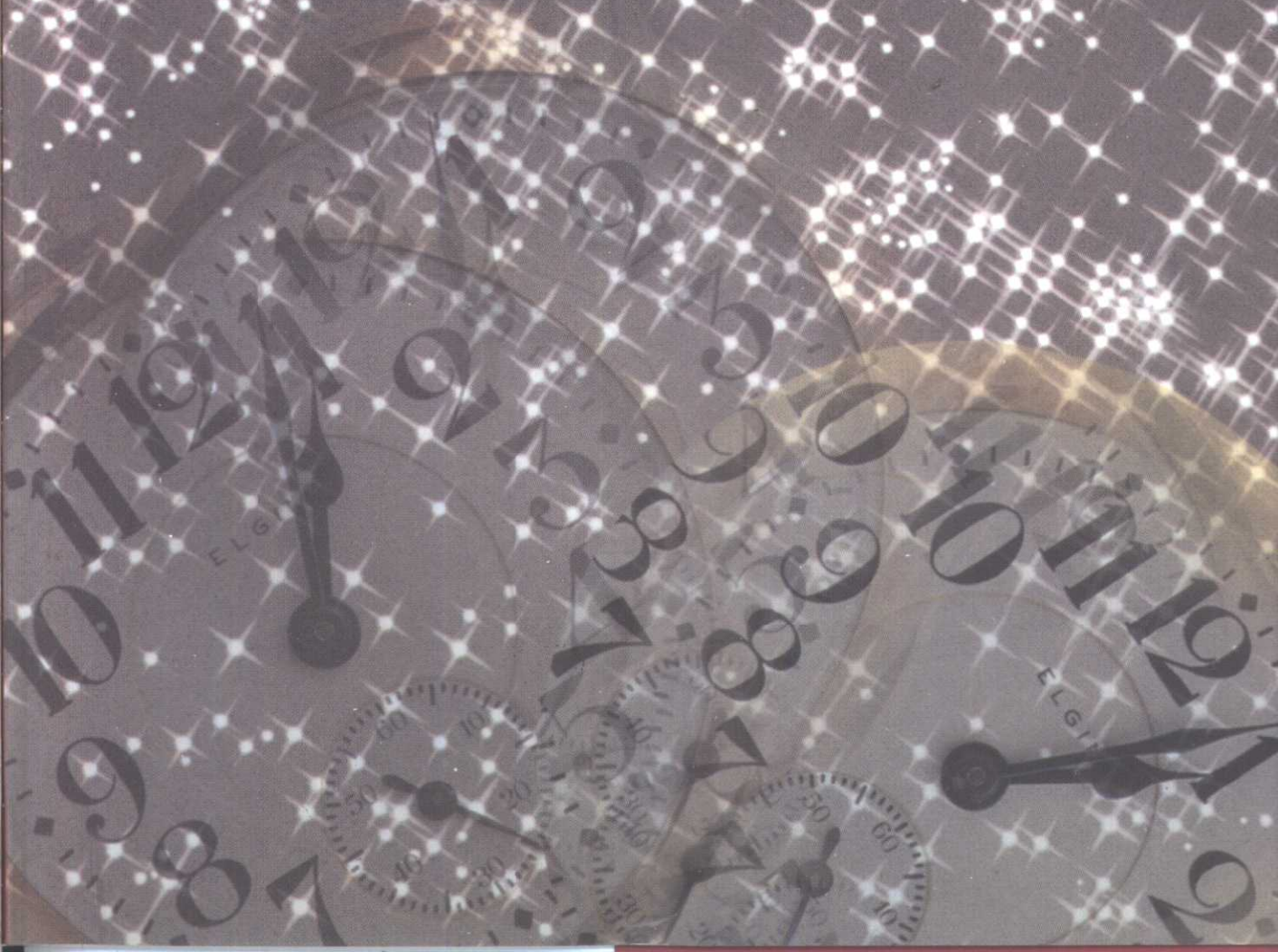
$$E=mc^2$$

相对论入门

百家出版社

[德]托马斯·比尔克 著 陈慧 译

$$E=mc^2 \quad E=mc^2$$
$$E=mc^2 \quad E=mc^2$$



$E=mc^2$ 相对论入门

〔德〕托马斯·比尔克 著
陈 慧 译



前沿科学探索书系

百家出版社

图书在版编目(CIP)数据

$E = mc^2$: 相对论入门/(德)比尔克(Buhrke, T.)著;陈慧译. —上海:百家出版社, 2001. 8

(前沿科学探索书系)/(德)本钦格尔(Benzinger, O.)主编)

ISBN 7-80656-399-7

I. E... II. ①比... ②陈... III. 相对论-普及读物
IV. 0412. 1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 050500 号

© 1998, resp. 1999 Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH
& Co. KG, Munich / Germany

© for the Chinese edition: 2001 Bai Jia Publishing House

版权所有 盗版必究

登 记 号 图字:09-2000-270 号
丛 书 名 前沿科学探索书系
书 名 $E = mc^2$ ——相对论入门
编 著 者 [德] 托马斯·比尔克
译 者 陈 慧
责任编辑 唐少波 丁翔华
封面设计 张 宁 梁业礼
出版发行 百家出版社(上海天钢桥路 180 弄 2 号)
经 销 全国新华书店
印 刷 商务印书馆 上海印刷股份有限公司印刷
开 本 787×1092 毫米 1/32
印 张 4 插 页 2
字 数 77 000
版 次 2001 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
ISBN 7-80656-399-7/G · 575
定 价 10.00 元

导 言

仅仅是 1996 年和 1997 年的自然科学及技术出版物的数量,就超过了自有文字传播以来到第二次世界大战为止,世界上所有学者的相关著述的总和。如此大的知识量不仅使外行望而却步,就连专家也很难了解自身学科的全貌。在这种背景下,我们该如何确认哪些知识是有价值的,它们应怎样发展,会对我们产生什么影响?就显得尤为重要。因为正是自然科学与我们生活的各个方面息息相关,即便我们毫无察觉,但我们却无时无刻地要与它打交道。

本丛书旨在作为茫茫知识海洋中的航标,导引我们遨游自然科学和技术研究的最为重要的专业领域;文笔通俗易懂,重点放在基础性、关键性的知识和理论,并且自始至终刻意地省略了艰深的细节问题。

担纲本丛书写作的是一些杰出的科普作家,他们的日常工作就是用深入浅出的语言向人们讲解复杂深奥的科技内容。我感谢他们每个人,感谢他们对这一项目表现出来的自告奋勇精神和富有创造性的合作。

现代自然科学中几乎没有哪一个理论像阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)的相对论这样引起争议,它的大部分内容与人们通过感觉获得的经验相矛盾。而人们对爱因



斯坦理论的反应也是截然不同的。诺贝尔物理学奖获得者马克斯·博尔恩(Max Born)在1921年写道:“爱因斯坦理论的成就达到了当今自然科学宇宙观的顶峰。”而同样获得诺贝尔奖提名、担任《联邦国社党物理学家》杂志主编的菲利普·莱纳德(Philipp Lenard)10年后仍在咒骂:“这完全是一个从大众激情和错误中产生的、几乎不可能维持的标准的空前例子,想以此说服数学家、物理学家、哲学家,包括那些有理智的正常人接受这一理论,哪怕只是暂时接受,都几乎是不可能的。”托马斯·比尔克(Thomas Bührke)证明了阿尔伯特·爱因斯坦是对的。通过形象的比较他使这个费解的理论变得易于理解,并使读者有机会了解人类关于自然的几个最具天才、最有吸引力的想法。

奥拉夫·本钦格尔

托马斯·比尔克

1956年出生于策勒，物理学学士。1986年在海德堡的马克斯-普朗克天文研究所获博士学位，论文的内容是关于星球的产生。自1990年起作为自由科学记者从事物理学和天文学领域的工作，并担任《当代物理学》杂志编辑。已出版的著作有：《神秘的阴影世界——宇宙中的黑暗物质》（1997）、《牛顿的苹果——物理学的转折点》（1997）、《宇宙世界》（1998）以及光碟《啊——宇宙》（1998）。



前沿科学探索书系

蓝色的星球——人与生态

生命的分子——神奇的遗传学

知识与感知——探究人类的大脑

薛定谔的猫——玄奥的量子世界

关于鸚鵡螺和智人——进化论的由来

混沌及其秩序——走近复杂体系

超弦的音响——自然中之最小

$E=mc^2$ ——相对论入门

物质的最深处——核物理学导引

黑洞与彗星——天文学大观

逻辑的语法——数学漫谈

元素的轨迹——化学奇境

目 录

导言	1
一个专利局职员发动了物理学革命	1
走慢的时钟和弯曲的空间	9
爱因斯坦之前的相对性理论	9
狭义相对论	18
广义相对论	56
日常生活中的相对论	103
物质中的能量	103
附录	111
术语释义	111
其他文献	116

一个专利局职员发动了物理学革命

20 世纪初,有两个物理学理论使人类对宇宙的认识发生了革命性的变化,它们是量子力学和相对论。称它们革命有两个原因:其一是它们动摇了当时占统治地位的物理学原理;其二是因为它们描绘自然界的方法明显与常人的思维和日常经验背道而驰。但恰恰是这些原因使它们到达了科学、文化创造的顶峰。

量子力学的产生是许多物理学家共同努力的结晶,而相对论却只有一个创立者:他就是阿尔伯特·爱因斯坦。马克斯·普朗克(Max Planck)第一个认识到狭义相对论的重要意义,并称之为一个哥白尼式的创举,“就其所需要的胆识而言,它超过了迄今为止在理论自然研究和哲学认识领域所取得的一切成就”。维尔茨堡的物理学家雅各布·劳普(Jakob Laub)认为,这位“新时代的哥白尼”在其具有划时代意义的著作发表之后近三年内,仍在瑞士联邦专利局任职,这完全是一个“历史的玩笑”。而同样让人惊叹的是,爱因斯坦竟然是在伯尔尼(Bern)一处租来的简陋房屋里创立了这一理论。

阿尔伯特·爱因斯坦 1879 年 3 月 15 日出生于乌尔姆(Ulm)。尽管当时教师的权威和每日的训练使他感到学习枯燥无味,但从小学到中学他一直成绩优良。他的



父亲和叔叔共同经营一家电器工厂,1893年这家工厂被迁往意大利。15岁的阿尔伯特却不能随父母同往,因为他的意大利语说得不够好,无法在意大利参加中学考试。后来他参加了苏黎世科技大学的招生考试,但没能通过,于是来到位于阿劳(Aarau)的瑞士州立中学学习。1896年他在那里以9个毕业生中最优异的成绩通过了毕业考试。两周后,他在苏黎世联邦工业大学这座享有盛名的学府里开始了大学学习。

作为大学生的爱因斯坦仍然像中学时代一样不服从教学计划的安排。更多的时候他是在家里以“极大的热情”钻研理论物理学大师们的著作,其中对他最具吸引力的是麦克斯韦(Maxwellsche)的电磁场理论,这一理论使他茅塞顿开。

1900年夏,爱因斯坦大学毕业,获得了数学和物理学专业教师毕业证书,在总分为6分的情况下他获得了4.91分,尽管这一良好成绩使他圆满完成了大学学习,但他希望留校担任助教的应用却遭到了拒绝。其后他在温特图尔(Winterthur)作过代课教师,又在沙富豪森(Schaffhausen)作过家庭教师。经过短暂的周折他最后来到了伯尔尼,1902年6月他在联邦专利局获得了一个职位。

他终于找到了一项他喜欢的工作,因为“这项工作变化无穷,而且需要很多思考”,对此他喜出望外。然而专利局的精神养分对他来说似乎还不够,他在工作之余还从事物理问题的研究。到伯尔尼后不久,他就成立了一



个被称作“学术奥林匹克”的研讨俱乐部。晚上,爱因斯坦和来自罗马尼亚的哲学系学生毛利斯·索洛文(Maurice Solovine)以及在伯尔尼学数学的康拉德·哈比西特(Conrad Habicht)聚在一起。他们一起阅读马赫(Mach)、休谟(Hume)或庞卡莱(Poincaré)的著作,一直讨论到深夜,房间里充满了令人窒息的烟草味。

人们很难准确地想像出当时的景况:每天 8 小时,每周 6 天,这位三级技术专家在一张长腿桌旁鉴定申请专利的各种产品,其余时间里他满脑子装的都是艰深的物理学问题。早在 1901 年他就在《物理学纪事》上发表了几篇论文,但是 1905 年才是他创造奇迹的一年。这一年里他发表了 6 篇论文,其中一篇日后为他赢得了诺贝尔物理学奖,而另一篇则作为狭义相对论被载入了史册。

爱因斯坦一生中常被问到他是怎么想到相对论的,究竟有哪些想法引导他创造了相对论。他总是回答得很含糊,就像他 1922 年在京都大学演讲时所说的:“要让我说清楚究竟是怎么想到相对论的,确实不是件容易的事。许多隐藏的错综复杂的问题激发了我的思维。”在他 16 岁的时候,其中一个复杂的问题就一直萦绕在他的脑际:“如果我以速度 c (光在真空中的速度) 追赶光线,那么我应该能够感觉到这束光线是静止的,并且空间是振动的电磁场。但是这种情况根本不可能存在,无论是根据经验还是根据麦克斯韦方程组都不可能。直觉似乎一开始就告诉我:这样一个观察者观察到的事物的变化规律应该与相对于地面静止的观察者看到的规律相同。要不然



该观察者如何能够知道并感觉到他处于快速的匀速运动状态呢？可以看出，在这个似是而非的现象中已包含了狭义相对论的萌芽。”

事实上，爱因斯坦于 1949 年在自传中曾描述过的这次假想实验反映出当时世纪之交物理学的严重危机。它揭示出牛顿力学和麦克斯韦电动力学之间的矛盾，当时这一矛盾已是公认的，但是有影响的物理学家不是有意忽视它就是借助缜密的推想而避免谈及这一矛盾。

一方面是早已被伽利略认识到并被牛顿解释过的规律，根据这一规律所有物理过程在匀速运动的系统中——也就是在以恒定速度运动的系统中都是同样进行的。比如：一个人将手中的石头抛出，那么这块石头将一直垂直向下落到地面，无论我们是在家里还是在以恒定时速为 200 公里的火车上做这个实验，结果都一样。物理学家把这种匀速运动系统称作惯性系统。在这个系统中所有物理定律形式相同。

而这一点正是爱因斯坦假想实验中最关键的问题。在这个实验中他就像立于光波上的冲浪的人，如果一个人以光速运动，那么他周围的光波似乎就该处于静止状态，而他也根本感觉不到光的存在。这一点却与麦克斯韦方程组相矛盾，根据麦克斯韦方程组光波应该一直处于运动状态。这就意味着：牛顿力学适用于所有匀速运动的系统，而麦克斯韦理论则显然不能适用。爱因斯坦对此写道：“我曾确信，麦克斯韦理论体系中存在的这种缺陷必然有其原因。”



在此必须注意：由苏格兰物理学家詹姆斯·克勒克·麦克斯韦在 19 世纪中叶创立的电磁波理论和牛顿力学构成了人类描述自然的基石，两者的著作被视作 19 世纪末物理学界的“圣经”。

两大基础理论间的明显分歧，被两位美国物理学家阿尔伯特·亚伯拉罕·迈克尔逊 (Albert Abraham Michelson) 和艾德华·莫雷 (Edward Morley) 的实验揭示出来。他们的实验设备非常精密，可以测出一束光相对于地球不同方向运动时光速的值。令人感到惊讶的是，这束光总是保持 30 万公里每秒的速度，无论这束光相对于地球处于何种运动状态。这个结果与以往处于经典地位的定律，即两个相向运动的物体的速度为二者速度之和相矛盾。

在“学术奥林匹克”，爱因斯坦和他的朋友们讨论过这些问题。专利局的一位同事，工程师米歇尔·贝索 (Michelle Besso) 也是参加者之一。爱因斯坦后来回忆说，5 月中旬一个晴朗的日子，他下班后来到贝索位于黑堡大街 15 号的家中。两人又一次讨论起这个问题，突然爱因斯坦起身，急奔回家。“第二天我又去找他”，爱因斯坦回忆说道：“没有对他打招呼，我就对他说了声谢谢，并告诉他我已经彻底解决了那个问题。”

又过了 5 个星期，这位三级技术专家寄给《物理学纪事》一篇 30 页的题为《论运动物体的电动力学》的论文。在这篇几年后被称作狭义相对论的论文中，他摒弃了流传下来的传统观点。他的新理论主要建立在两个猜想的



基础上。第一,力学和电动力学原理仍然适用于所有保持匀速运动的系统;第二,光速不依赖于观察者相对于光束的运动状态,是永远保持不变的。这些猜想必然导致了与伽利略定理之间的冲突,伽利略认为两个相向运动的物体的速度是二者速度的简单相加,而爱因斯坦则认为必须对此进行更复杂的计算。

在日常生活中很难发现伽利略定理的疏漏之处。爱因斯坦提出的新变换的特征是:比光速小得多的物体运动的速度接近通常使用的速度相加定理,因而无法与伽利略速度相加定理区分开来。速度越快,偏差越大。从这一新的表述可以看出,任何物体或信息都不可能以比光速更快的速度运动。物理学基石上的这一裂纹使整座物理学大厦发生了摇晃,特别值得一提的是爱因斯坦对人们对时间的认识进行了革命。根据牛顿的理论,时间就是一个保持恒定节奏的节拍器,它给予自然界中所有的运动相同的标尺。而爱因斯坦的理论则与此相反,它认为时间以不同的速度流逝。一艘在高速运动的宇宙飞船上的时钟比在相对静止缓慢的宇宙飞船上的时钟走得慢。这并不是时钟所受力带来的意外影响,而是时间本身的特性。这个所谓的“时间变慢”理论不仅影响所有自然运动,而且也影响人类细胞的老化过程。因此,一个快速飞行的飞行员比地面上的人衰老得慢。

爱因斯坦将手稿寄出后不久,就着手研究他的理论的结果。其成果就是当代最著名的公式: $E = mc^2$, 质量为 m 的任何物质拥有的能量 E 等于该物质的质量与光



速 c 的平方之乘积。他给康拉德·哈比希特的信中写道：“相对论原理与麦克斯韦方程组都要求把质量直接作为衡量物体所含能量的一项标准，质量的明显减少必定会在镭元素中发生，这种考虑很有趣也很有吸引力，但是我不知道上帝会不会嘲笑愚弄我。”爱因斯坦曾想到在镭的放射性衰变过程中释放的能量必然会导致该元素的质量减少。当时他认为这个效果非常细微。而将近 40 年后，原子弹的爆炸才将这个小小的公式的巨大威力展现在他眼前。

狭义相对论一下子解决了所有基本的问题，并且很快获得了几位权威人士的承认和庆贺。但是又过了 4 年，爱因斯坦的梦想才变成现实：1909 年 10 月他获得了平生的第一次教职。当时他正在苦苦钻研另外一个问题，解决了这个问题也就意味着对物理学的又一次革命。这个问题是：狭义相对论适用于一直保持匀速运动的系统，相对论是否也适用于加速运动的系统呢？

这个答案也隐藏在一个简单的假想实验中：假设一个呆在四周密闭的密封舱里的人处于失重状态。突然他感受到一个加速度，这个加速度使他坠到地面，那么这个人怎么能确定这个加速度到底是怎么产生的，到底这只密封舱是由于火箭推动力而加速呢，还是这个加速度是来自于地面即是由于重力造成的？答案是：他无法确定。重量（由重力造成）和惯量（加速度的结果）显然是不可区分的。爱因斯坦由此感觉到：在加速度和重力之间一定存在着某种深层的联系。



8年来爱因斯坦一直在思考这个现象。他撇开当时研究领域的热门课题,而一直埋头于这个问题之中,以至他与同事们之间的距离越来越远,直到他终于获得了“圣杯”并无比荣幸地向全世界展示它。这是一条漫长的道路,需要付出无数的精力和耐心。1915年11月他阐释了广义相对论,这一理论如今被很多科学家视作物理学的皇冠。它对引力进行了全新描述。

牛顿认为引力是远距作用力,是即时的,也就是没有时间损耗地在宇宙万物中起作用。这种认识与麦克斯韦的电磁场理论有根本的不同,电磁场从有电荷的物体出发,并以有限的速度,即光速扩展开去。爱因斯坦的广义相对论得出了与麦克斯韦理论类似的对重力的阐释。广义相对论认为电磁场是一个以光速运动的场。

这样爱因斯坦也对人类对宇宙的认识进行了革命。牛顿描写的宇宙是绝对的,“不受外部事物影响的、永恒恒定的、静止的”,而根据爱因斯坦的理论,它是一个运动的“物体”。爱因斯坦沉醉在一个“无与伦比的美”和“我今生最有价值的发现”中。1919年,一次日全食证实了爱因斯坦的预言,从前的伯尔尼专利局职员终于成为世界史上的伟人。

相对论是现代物理学的一块坚实的基石,无数的实验证明了它的正确性。今天,理论科学家们的研究目标是将人类对大自然的两大最基本的阐释——量子力学和相对论统一为一体,但是至今尚未取得成果。爱因斯坦也没能实现这一目标。他死于1955年4月18日。

走慢的时钟和弯曲的空间

爱因斯坦之前的相对性理论

相对论对于外行而言一直就是一道不可接近也不可理解的神秘光环，——尽管它已存在近百年，而且早就成为科学家们认可的思想财富。它不是物理学中别具特色的组成部分，而是构成自然科学的一块基石，它产生于人类理解和描绘周围世界的努力过程之中。如果愿意放弃在日常生活中和在学校里养成的、自认为是理所当然的思维习惯，我们便能够大体上理解这一新理论。而最吸引人的地方是这些知识最终证明了空间和时间的结构决定宇宙的规律。

今天，虽然“相对性”这个概念总是不可分离地与“爱因斯坦”这个名字联系在一起，但是事实上从 17 世纪以来，这个理论就扮演了非常重要的角色。我们首先来回顾一下“经典物理学”的几个问题。它们是我们熟悉的、认为是理所当然的，但是却被相对论证明是错误的。

相对性首先包括的内容是：物理学规律在不同的、彼此间作相对运动的观察者们看来是什么样的。今天我们知道在匀速运动的系统中，所有过程都保持不变。一块