

十几万字的《时间简史》只提到一个公式： $E=mc^2$ 。它到底是什么意思？又为何如此重要？

（英）布莱恩·考克斯 （英）杰夫·福肖◎著
李琪◎译

为什么 $E=mc^2$ ？ 相对论普及读本

探索时空、质量之源与上帝粒子

欧洲核子研究中心（CERN）杰出科学家 Brian Cox & Jeff Forshaw
全新视角 轻松演绎 人人能懂

.....
科普书最高荣誉——英国皇家学会科学图书大奖决选入围
.....

《凤凰卫视》“开卷八分钟”梁文道专题推荐

——（这）是我认为我过去几年中读到的关于当代物理学解释得最好的科普书籍之一

● 果壳网专访著名科学家代表作 ● Amazon 读者高分推荐 ● 香港诚品选书

为什么 $E=mc^2$?

相对论普及读本

(英) 布莱恩·考克斯 (英) 杰夫·福肖◎著 李琪◎译

图书在版编目 (C I P) 数据

为什么 $E=mc^2$? 相对论普及读本: 探索时空、质量之源与上帝粒子 / (英) 布莱恩·考克斯, (英) 杰夫·福肖著; 李琪译.
--武汉: 长江文艺出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5354-8415-4

I. ①为… II. ①布… ②杰… ③李… III. ①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 234508 号

Brian Cox and Jeff Forshaw

WHY DOES $E=mc^2$?

Copyright©APOLLO'S CHILDREN LTD & PROFESSOR JEFF FORSHAW

Simplified Chinese Copyright©Changjiang Literature & Art Publishing House Co.,Ltd.

著作权合同登记号 图字: 17-2015-041

责任编辑: 黄柳依

责任校对: 陈 琪

封面设计: 回归线

责任印制: 左 怡 刘 星

出版:  长江出版传媒  长江文艺出版社

地址: 武汉市雄楚大街 268 号 邮编: 430070

发行: 长江文艺出版社

电话: 027—87679360

<http://www.cjlap.com>

印刷: 武汉市首壹印务有限公司

开本: 640 毫米×970 毫米 1/16 印张: 14.75

版次: 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

字数: 143 千字

定价: 32.00 元

版权所有, 盗版必究 (举报电话: 027—87679308 87679310)

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

把你的手放在滚热的炉子上一分钟，感觉起来像一小时；坐在一个漂亮姑娘身边整整一小时，感觉起来像一分钟。这就是相对论。

——阿尔伯特·爱因斯坦



致 谢

感谢我的家人、同事和编辑，感谢他们对我的帮助。

前言

本书的目的是想用最简单的语言阐述爱因斯坦在时空方面的理论,同时也想向广大读者展示其蕴含的科学美感。最终我们将能通过和勾股定理难度相当的数学运算来得出著名的质能公式 $E=mc^2$ 。如果你不记得什么是勾股定理没关系,我们到时候也会介绍它。我们另外一个重要目的是希望任何看完本书的读者都能够了解现代物理学家们是如何思考大自然,并且建立起那些能够对人类生活产生巨大作用和改变的理论。爱因斯坦通过建立一个关于时间和空间的模型,为以后人们最终理解为什么恒星会发光、为什么电动机和发动机能够工作做了铺垫,最终他的理论也为所有现代物理理论提供了坚实的基础。我们也希望这本书能够对大家有一些启发,引起大家的思考。物理本身并不存在任何问题:我们在本书中将会逐步看到爱因斯坦的理论已经发展得相当完善了,而且他的理论得到了很多实验数据的支持。然而我们必须强调的是,总有一天爱因斯坦的理论必然会让位于一个比它能更准确解释大自然的理论。在科学世界里,并没有什么永恒的真理,



有的只是那些现在还没有被证明是错误的观点。我们最多只能说,爱因斯坦的理论到目前为止还是正确的。相反我们所说的不断思考是科学迫使我们去考量大自然的方式。不管是科学家还是一般人,每个人都有自己的直觉和感受,我们都从每天的生活当中推断出各种各样的结论。如果将我们日常生活中观察的结果放在科学的精准而不带感情的目光下检验,我们常常会发现大自然在我们的直观感受中制造了一些混沌。随着本书中讨论的不断深入,我们会发现当所有的事物都以高速运行时,我们关于时间和空间的常识将被抛弃,并且被一些意想不到而又十分优雅的全新理论所取代。从中我们得到一个非常朴实而诚恳的教训:宇宙远比我们的日常生活中能接触到的现象丰富许多。这也常常使科学家们对宇宙发出阵阵赞叹。也许最让人感觉奇妙的是,新的物理理论充满了数学上的和谐与优雅。

虽然科学有时候看上去十分困难,但从其核心意义来说科学并不是一门复杂的学问。甚至有人大胆地说,科学就是人们试图移除自己本身的偏见从而能更加客观地看待整个世界的过程。也许他说的对又或不对,但不可否认的是科学对于我们了解宇宙是如何运转的做出了极大的贡献。真正的难点在于我们是否能克服相信常识的惯性。运用科学方法我们才能了解并接受大自然本来的模样,而不会受到我们固有的偏见的影响。也正因为如此,我们才有了当今科技社会中所取得的种种成就。简而言之,科学方法的确是行之有效的。

本书的前半部分,我们将致力于推导 $E=mc^2$ 这个著名的公式。这里“推导”的意思是,我们将展示爱因斯坦是如何得到“能量等

于质量乘以光速的平方”这样一个结论的，正如公式本身所说的那样。如果我们稍稍对它做一番思考，可能会觉得这是个非常奇怪的结论。也许人们最常见的能量是在运动中产生的，比如有人扔出的一个板球恰巧飞向你的脸，当它打到你时你会觉得疼。这时一个物理学家会说这是因为投手赋予了板球能量，而这种能量又在当你的脸阻挡住板球继续运动的同时转化到你的脸上。质量则是衡量一个物体中所含物质的多少。一个板球比一个乒乓球的质量大，但它又比一个行星的质量小。 $E=mc^2$ 这个公式要告诉我们的，就如同美元和欧元能互相兑换一样，质量和能量可以互相转换，它们之间的兑换率则是光速的平方。那么当时爱因斯坦脑子里到底是有了怎样的奇思妙想才能得出这样一个结论呢？而光速又是怎么把自己塞进这个关于质量和能量的关系中的呢？本书中我们并不要求读者有任何专业科学知识，我们也尽可能地回避数学。尽管这样，我们依然努力为所有的读者提供一个真正的科学解释（而不仅仅是一种描述）。从这一点上来说，我们希望提供些新鲜的知识。

本书的后半段中，我们将去看看 $E=mc^2$ 是如何指引人类在理解大自然的道路上前行。为什么星星会发光？为什么原子能比煤炭和石油更高效？“质量是什么？”这个问题将带领我们走入现代粒子物理世界，让我们见识位于日内瓦的大型强子对撞机，并寻找希格斯粒子，因为它或许能帮助我们揭开质量之源之谜。在本书的结尾处，读者会看到爱因斯坦另一个惊人的发现，那便是万有引力其实是由于时间和空间的结构本身特点而产生的，以至于得出“地球的公转是围绕着太阳做的‘直线运动’”这种神奇的结论。

目

录



前言 / 1

$E=mc^2$ 这个公式要告诉我们的是，就如同美元和欧元能互相兑换一样，质量和能量可以互相转换，它们之间的兑换率则是光速的平方。

第一章 / 1

时间和空间

在爱因斯坦所描述的宇宙中，移动的钟表会变慢、运动的物体会缩小、人们可以到几十亿年之后的未来世界旅行。

第二章 / 19

光的速度

你能看见色彩斑斓的世界，是因为光进入你的眼睛带你穿过黑暗，而它的速度和麦克斯威尔只用线圈和磁铁就能推导出的电磁波的速度相同。

第三章 / 37

狭义相对论

如果我们能以99.99999999%光速的速度疾驰，我们就能在短短五十年的时间里冲出银河系，到达几乎三百万光年之外，我们的邻居星系——仙女座星系。

第四章 / 57

时空

这里我们要做一个前所未有的猜测：时间和空间可以合二为一变成一个整体，我们叫它“时空”，那么时空中的距离就是具有不变性的。

第五章 / 97

为什么 $E=mc^2$?

实事求是地说，这个原理便是孕育生命的种子。如果没有它，太阳将不会发光，地球也就永远笼罩在无尽的黑暗之中。

第六章 / 133

为什么原子、捕鼠器以及星星的能量都值得我们关注?

如果运用爱因斯坦的理论将质量转化为能量，那么区区3千克的物质就能满足一座城一百年的能量需求。

第七章 / 159

质量之源

$E=mc^2$ 的发现标志着人类在对能量的认识上所发生的改变，由此知道了质量本身也蕴含着巨大的能量，如果我们可以把封印在质量中的潜在能量释放出来，那么地球上所有的能源危机都会迎刃而解。

第八章 / 203

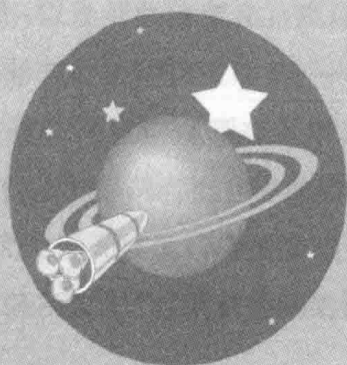
弯曲的时空

“从这样一个简单的想法——光速对于所有人都是相同的，人们打开了一个蕴藏无数秘密的盒子。”如果某一天我们需要为人类最伟大的理论成果写一篇墓志铭时，也许它就是以这样一句话开头的。

第一章

时间和空间

在爱因斯坦所描述的宇宙中，移动的钟表会变慢、运动的物体会缩小、人们可以到几十亿年之后的未来世界旅行。同样在这个宇宙中，人们的生命可以被无限延长，长到人们可以看到太阳燃尽、海水蒸干，目睹整个太阳系陷入永恒的黑暗。



“时”间和“空间”对你而言,意味着什么呢?

也许,“空间”是寒冷冬夜里繁星点点的浩瀚苍穹,又或许是裹着星条旗、拖着金色尾巴的火箭将神采奕奕的宇航员送入孤独的卫星轨道时,身后留下的一片空虚。而“时间”也许就是手表上滴滴答答的时针,抑或是随着太阳第五十亿次向北倾斜中,慢慢变黄的叶子。古往今来,我们都在这个蓝色的地球上生活着,直观地感受着时间和空间。

十九世纪末,人类在看似没有任何关联的几个领域内相继取得了重大的科研突破,这些科学成就促使物理学家们重新审视我们眼中的时间和空间,以及那些停留在直观层面上的认识。不久之后的二十世纪初,赫尔曼·闵可夫斯基——阿尔伯特·爱因斯坦的导师以及同事,这样写道:“从现在开始,时间与空间已不再各自独立存在,取而代之的是两者混合体的诞生。”这条著名的“讣告”,直接宣判了古代关于天体运行等天文理论的死刑。

那么,闵可夫斯基所说的“时间和空间的混合体”到底是什么



呢? 要了解这个带有浓重神秘色彩的新名词, 我们就必须了解爱因斯坦的狭义相对论。在狭义相对论里, 世界第一次看到了 $E=mc^2$ 这个著名的公式; 由此, 在继续探索宇宙奥秘的旅程中, 光速 c 进入了我们的视野, 并牢牢地站在了科技大舞台的正中心。

爱因斯坦狭义相对论的核心内容是对时间以及空间的描述。其中, 最重要的一个概念是一种速度, 一个宇宙中任何事物都不可能超越的极限速度——光速。在真空中, 光速达到每秒 299,792,458 米。光以这个速度, 从地球出发, 经过 8 分多钟可以到达太阳, 10 万年后能穿越我们所在的银河系, 超过 200 万年后可到达仙女座星系——我们在宇宙中最近的邻居。每当夜幕降临, 地球上最大的天文望远镜就会将目光投向宇宙的深处, 尽全力地去捕捉最深处的点点光芒, 而发出这些光芒的恒星可能此刻早已消亡。比地球从一团星云中诞生还要早几十亿年, 也就是在大约 100 亿年前的时候, 这些星光便开始了自己的旅程。光速极快, 但面对星际间的遥远距离, 也显得那么微不足道了。我们能通过类似于欧洲核子研究中心(CERN)在瑞士日内瓦的大型强子对撞机这样的设备把一些非常小的物体加速至接近光速的百分之一。

这个特殊速度的存在, 或者说是宇宙速度上限的存在, 本身就是一个奇怪的概念。如同我们接下来会在本书中揭示的那样, 将这个速度和光速联系起来其实是一个障眼法。而在爱因斯坦的理论中, 它将扮演更重要的角色, 同时光为什么以光速(299,792,458 米/秒)前进也自有其原因。当然, 这些都是后面的内容。现在, 我们仅仅需要知道当物体以接近光速的速度移动时, 意想不到的事情便会接踵而

来。有没有任何其他的原因在阻止物体以超越光速的速度运行呢？因为给我们的感觉是，“没有任何物体的速度能快得超过光速”，就好像在说“不论发动机的马力有多大，自然法则导致我们的车速无法超过每小时 70 英里”一样让人费解。显而易见，自然法则不像一条限速交规那样需要交通管理部门来贯彻执行，因为整个时间和空间都是依照自然法则形成的，这些自然法则是无法在这样的世界里被打破的。如果它们被打破，这个世界便会产生很多无法预料的结果，这不能不说是我们的幸运。在本书靠后的章节里，我们将发现，如果我们能超光速地移动，那么人造时间机器就能回到历史上的任意时刻。可以想象，出于某种目的或是不小心，我们回到了自己出生之前的某个时刻，并阻止了自己父母的相知相识。这类情节经常出现在精彩的科幻小说里，但是真实的世界却无法如此编排，爱因斯坦的研究也表明我们的世界不是那样形成的。时间和空间以一种精妙的方式交织在一起，避免了这些似是而非的观点产生。但是，为了究其原理，我们需要付出代价——必须舍弃一些根深蒂固的关于时空的观念。在爱因斯坦所描述的宇宙中，移动的钟表会变慢、运动的物体会缩小、人们可以到几十亿年之后的未来世界旅行。同样在这个宇宙中，人们的生命可以被无限延长，长到人们可以看到太阳燃尽、海水蒸干，目睹整个太阳系陷入永恒的黑暗。人们还能见证新的恒星以及行星从星尘中诞生的过程，甚至可以看到新的生命萌发在宇宙的某个角落，即使作为他们家园的那颗星球目前还不存在。爱因斯坦的宇宙能开启人们通往遥远未来的高速通道，同时也能将回到过去的大门死死关闭。

看完整本书后，读者们将明白爱因斯坦如何“被迫”得出这如



梦似幻的宇宙观,而他的观点又是如何被许多科学实验以及实际科技运用证明是正确的。以车载卫星导航系统为例,它的设计中就考虑到了地球卫星轨道中时钟的走动和地面上时钟的走动快慢不一的问题。爱因斯坦的想法是大胆的:时间和空间的真面目并不是它们表面看上去的那样!

现在,我们有点超前了。在能够充分理解和体会爱因斯坦的非凡发现之前,两个在相对论中占有核心地位的概念值得我们仔细思考,那便是时间和空间。

想象一下,自己正在天上的飞机里读书。当时针指向 12 点时,你看了一眼手表,决定放下书,离开座位,经过走道,来到坐在你前面十排的朋友那儿聊聊天。15 分钟后,你回到自己的位置,重新拿起书。常识告诉你:自己回到了原位。因为你经过了同样的十排座位原路返回,并且回到了你之前搁下那本书的位置。我们不妨更深一层地思考这所谓的“原位”。也许你觉得这毫无必要,甚至有点陈词滥调,因为当我们平时提到“原位”的时候,大家都明白它的意思。比如,和朋友约在一家酒吧聚会,从相约到相见的这段时间当中,酒吧不会移动,自然也就一直处于原位。而当我们欢聚离开之后,酒吧也很可能一直保持在那个原位不变。很多在本章中出现的概念和推理,表面上看是毫无必要的,不过还请读者们跟我们一起思考。仔细思考这些看上去显而易见的东西,它们将带领我们追寻亚里士多德、伽利略、牛顿和爱因斯坦这些科学巨匠的足迹前行。那么,我们如何才能精准地定义“原位”这个概念呢?全球定位系统给我们提供了一些参考。虚拟的经线和纬线纵横交错地布满地球,这样地面上任意一点都能用两个数字表示,即经度和纬度,我

们能够轻而易举地运用经纬来定位点。比如,英国曼彻斯特市在地球上的坐标为北纬 $53^{\circ}30'$ 、西经 $2^{\circ}15'$,只要我们都同意格林威治子午线以及赤道在地球上的位置,这个坐标就能告诉我们到哪儿可以找到曼彻斯特市。参照这个全球经纬系统,我们能联想到,如果想在空间中定义任意一点,我们可以建立一个虚拟的三维坐标格系统。这个系统可以由地表向上,在大气层中无限延伸,亦可向下穿过整个地心,从地球的另一边出来。运用这个系统,我们就能描绘世上万物的位置,不论它是在地表、空中还是地下。也可以不仅仅局限于地球,让系统继续向外延展,超越月球、木星、海王星、冥王星,甚至跨过银河系的边缘,向更远的宇宙延伸而去。有了这样一个接近无限大的坐标格系统,所有物体都可以被打上坐标。用伍迪·艾伦(美国著名导演、编剧、电影人)的话来说,如果你是那种从来记不住东西放在哪儿的人,有这样一个系统是非常方便的。我们这个巨大的坐标系统给宇宙里的所有物体都定义了一个确切的存在场所,就好像一个巨大的箱子里装着宇宙万物。也许,这样一个坐标系统可以被称为“空间”。

让我们重新回到刚才关于“原位”的问题,以及飞机的例子。在飞机的例子中,你也许认为 12 点 15 分时自己在空间中的位置和 12 点整时完全相同。但是,如果在这段时间内,恰巧有个人站在地面上抬头看你所乘坐的飞机,他眼中的这一系列活动又该是怎样的呢?对他来说,飞机在天空中以每小时 600 英里的速度飞过,在 12 点整到 12 点 15 分这一刻钟里,你移动了 150 英里。换句话说,12 点整和 12 点 15 分这两个时间点上,你处在两个不同的位置。到底谁的说法是对的呢?谁在这一刻钟里移动了,谁又是静止不