

Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space

时间旅行与曲速引擎

快速穿越时空的科学指南

(美) 艾伦·埃弗莱特
Allen Everett

托马斯·罗曼 著
Thomas Roman

李润 译



化学工业出版社

Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space

时间旅行与曲速引擎

快速穿越时空的科学指南

(美) 艾伦·埃弗莱特
Allen Everett

托马斯·罗曼 著
Thomas Roman

李润 译



化学工业出版社

· 北京 ·

时间旅行或星际间穿越真的会成为可能吗?《时间旅行与曲速引擎:快速穿越时空的科学指南》笔触轻松简洁,既充满了对科幻情节的痴迷,又植根于最前沿的科技成果,无疑会令所有科学迷和空想宇航家感到惊喜。作者利用专业的物理学知识和简单的数学原理带领我们踏上一条时空穿越的科学之旅,爱因斯坦的狭义相对论,前往未来和回到过去的时间旅行,各种可能的时间机器和曲速引擎,其中也包括虫洞和曲速气泡等,回到过去的时间旅行与超光速旅行之间的联系。本书作者艾伦和托马斯十多年来一直潜心研究负能量、扭曲时空、时间悖论以及在多个宇宙之间穿越等课题。

图书在版编目(CIP)数据

时间旅行与曲速引擎:快速穿越时空的科学指南/(美)艾伦·埃弗莱特(Allen Everett),(美)托马斯·罗曼(Thomas Roman)著;李润译. —北京:化学工业出版社,2017.5

书名原文:Time Travel and Warp Drives: A Scientific Guide to Shortcuts through Time and Space

ISBN 978-7-122-29218-6

I. ①时… II. ①艾…②托…③李… III. ①相对论 IV. ①O412.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第043719号

Time Travel and Warp Drives: A Scientific Guide to Shortcuts through Time and Space

ISBN 978-0-226-04548-1

Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.

© 2012 by The University of Chicago. All rights reserved.

Simplified Chinese Character rights arranged with The University of Chicago through Beijing GW Culture Communications Co., Ltd.

本书中文简体字版由The University of Chicago Press授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2013-5859

责任编辑:李晓红 梁玉兰

责任校对:边 涛

加工编辑:吴开亮

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:中煤(北京)印务有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张16³/₄ 字数301千字 2017年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00元

版权所有 违者必究



献给我的妻子塞西莉亚以及我的父母。

——托马斯·罗曼

怀念我故去的妻子和益友，玛瑞丽·丝迪克琳·埃弗莱特。谢谢你长达42年的挚爱、相濡以沫，以及给我留下的美好记忆。

——艾伦·埃弗莱特

Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space



前言

我们撰写本书的动机是因为我们分别在各自的大学讲授有关这个专业的课程：艾伦曾在塔夫斯大学任教，托马斯则在中康涅狄格州立大学任教。我们的学生中有很多的科幻迷。他们包括在读或即将专修物理学的专业生和艺术专业生，而在后者里面，还真有几位成绩斐然，属于那些让老师教起来得心应手的学生。这些课程给我们提供了一个机会，可以使我们用基本上没有超越高中代数的数学原理，来让本科生了解我们所从事的学术研究，这对于理论物理学家来说实在难得。这些年来，选修这些课程的学生们对我们表达了他们的喜爱，并给予我们精神上的鼓励，我们对此深表感激。

我们的目的是为具有不同程度的数学和物理学背景、技能及兴趣的人群撰写一本书。我们发现手头上现有的读物，或是极为粗浅，或是过于煽情，所以，我们决定亲自动手。本书的难度适合于诸如热爱《星际迷航》(Star Trek) 或者偶尔读一读《科学美国人》杂志而又感到这类媒体没能详尽地让他们领会问题实质的人群。我们认为本书的读者应该知晓高中代数，但又不具备高等数学的知识。而初级物理学尽管有些用处，但对于加深理解也并非必不可少。不过，读者们还是要开动脑筋，准备面对即将出现的一些概念。我们知道，不是所有读者都对同一深度的问题感兴趣。所以我们把很多（并不是全部）数学问题都放到了附录里面，以方便那些对此感兴趣的读者深度阅读。我们觉得，即使那些总想“逃避数学”的读者，也会在本书中发现很多能让他们兴趣大增的内容。所以，我们不期待所有读者都能够完全理解本书的每一字每一句，而只希望能为各位读者提供一种刺激的体验。大家可以在下面这个网站上看到本书中一些概念的QuickTime格式的交互式演示：<http://press.uchicago.edu/sites/timewarp/>.

Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space



致谢

我们谨感谢 Chris Fewster、Larry Ford、David Garfinkle、Jim Hartle、Bernard Kay、Ken Olum、Amos Ori、David Toomey、Doug Urban 以及 Alex Vilenkin 与我们进行的有益讨论，感谢 Dave LaPierre 和 Tim Ouellette 阅读书稿并提出了重要建议。还要特别感谢 Tim Ouellette 在编稿中发挥了他高超的排版技艺，以及他在一些数字上提供的帮助。在芝加哥大学出版社最初的编辑 Jennifer Howard，在本书前期编写阶段也一直给予我们热情的支持。最后，还要感谢本书现在的各位编辑 Christie Henry、Abby Collier，特别是 Mary Gehl，感谢他们所给予的帮助，让一本草稿成为现在的书籍。

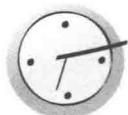
艾伦还要感谢他从前的学生、后来的同事 Adel Antippa，是他在 1970 年拖着艾伦参与到一个激动人心的合作研究项目——研究快子（tachyons）的物理学。Adel 的学生 Louis Marchildon 教授也为本书做出了重要贡献。这为艾伦在四分之一世纪之后在超光速旅行和时间机器方面的新兴趣奠定了基础。艾伦还要特别感谢塔夫斯大学物理学与天文学系的秘书 Gayle Grant 夫人，多年以来，她的高效和富有成效的工作，为艾伦的职业研究提供了无数帮助，包括与撰写本书有关的各类事务。或许更为重要的，是她那孜孜不倦的乐于助人的品格，对于全系职员与学生来说，她是让物理系成为大家工作的开心乐园的重要因素。

托马斯在此也感谢美国国家科学基金会 PHY-0968805 基金项目所提供的部分资助。

Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space





Time Travel and Warp Drives

A Scientific Guide
to Shortcuts
through Time and Space

目录

- 1 绪论 / 1
- 2 时间、时钟和参照系 / 11
 - 2.1 威尔斯式的时间旅行 / 12
 - 2.2 对时间和空间的测量 / 17
- 3 洛伦兹变换与狭义相对论 / 23
 - 3.1 麦克斯韦的伟大观点 / 25
 - 3.2 迈克尔逊-莫雷实验 / 26
 - 3.3 相对论的两个原理 / 30
 - 3.4 洛伦兹变换 / 31
 - 3.5 不变间距 / 33
 - 3.6 时钟同步与同时性 / 35
 - 3.7 光障 / 38
 - 3.8 “零质量”粒子与 $E=mc^2$ / 39
- 4 光锥 / 41
 - 4.1 绝对与相对 / 42
 - 4.2 光锥与因果关系：总结 / 46

5 向前的时间旅行与双生子“悖论” / 49

- 5.1 时间膨胀和4只时钟的故事 / 50
- 5.2 双生子“悖论” / 53
- 5.3 不变间距与固有时间 / 54
- 5.4 现实想法与实验 / 58
- 5.5 通过《夏季之门》最后再看一下前往未来的时间旅行 / 60

6 “出发，回到过去” / 63

- 6.1 超光速粒子 / 64
- 6.2 快子与悖论 / 65
- 6.3 再诠释原理 / 67
- 6.4 超光速参照系的一个问题 / 69
- 6.5 实验证据 / 71

7 时间箭头 / 77

- 7.1 熵、热力学第二定律以及热力学时间箭头 / 80
- 7.2 前因、后果及因果时间箭头 / 84
- 7.3 宇宙学时间箭头 / 86

8 广义相对论：弯曲的空间和翘曲的时间 / 89

- 8.1 引力与电磁学 / 90
- 8.2 质量与等效原理 / 91
- 8.3 重力与光 / 94
- 8.4 引潮力 / 95
- 8.5 重力与时间 / 98
- 8.6 广义相对论 / 100
- 8.7 广义相对论的三个经典验证 / 102

9 虫洞与曲速气泡 / 111

9.1 虫洞 / 112

9.2 曲速气泡 / 116

9.3 柯拉斯尼科夫管：超光速地铁 / 120

9.4 虫洞、曲速引擎及时间机器 / 122

9.5 “越发奇怪的”悖论 / 126

10 香蕉皮与平行世界 / 133

10.1 悖论的类型 / 134

10.2 信息悖论 / 134

10.3 “精灵球”与聪明的太空船 / 135

10.4 对虫洞时间机器和一致性悖论的重新考虑 / 137

10.5 香蕉皮 / 141

10.6 平行世界 / 142

10.7 “切碎捣烂” / 151

11 “别总是负面”：奇异物质 / 155

11.1 负能量 / 156

11.2 平均能量条件 / 163

11.3 量子不等式 / 165

11.4 所有完美的物理学都用过镜子 / 168

11.5 量子利息与卡西米尔效应 / 170

11.6 负能量与经典场 / 173

12 勇敢地航向…… / 177

12.1 弯曲与平直 / 178

12.2 虫洞与量子不等式 / 179

- 12.3 曲速引擎与量子不等式 / 181
- 12.4 凡·登·布洛克的“瓶子里的飞船” / 182
- 12.5 更多关于曲速引擎的问题 / 183
- 12.6 出路在哪? / 184
- 12.7 时间机器的毁灭与时序保护 / 185

13 圆柱体与弦 / 191

- 13.1 卷曲的宇宙 / 192
- 13.2 一个“旋转”的宇宙 / 193
- 13.3 圆柱状时间机器 / 194
- 13.4 马雷特的时间机器 / 196
- 13.5 戈特的宇宙弦时间机器 / 203

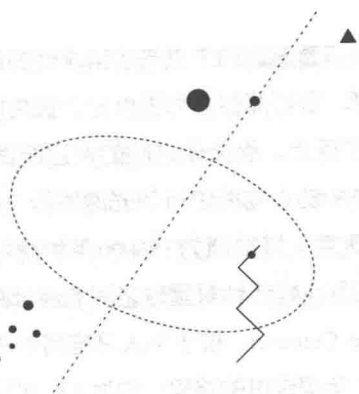
14 尾声 / 213

附录 / 221

- 附录1 对伽利略速度变换的推导 / 222
- 附录2 对洛伦兹变换的推导 / 223
- 附录3 对时空间隔不变性的证明 / 228
- 附录4 对 x' 、 t' 轴相对于 x 、 t 轴的方向说明 / 229
- 附录5 光钟造成的时间膨胀 / 231
- 附录6 霍金定理 / 235
- 附录7 马雷特时间机器中的光管 / 242

参考文献 / 245

索引 / 253



1

绪 论

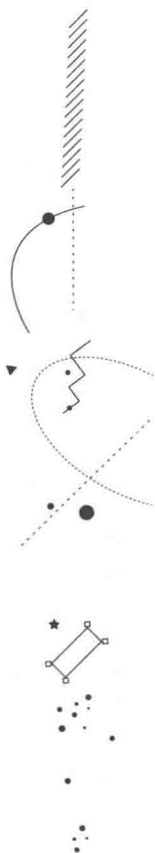
我们人类一直在响应着遥远的未来与宇宙深处的召唤。自从开始了解星星以来，我们一直就在思考，是否能够去那里旅行。长久以来，这些想法为科幻作家挖掘离奇的情节提供了沃土。而天体之间的遥远距离，迫使这些作者虚构了千奇百怪的机器，以便书中的人物能进行超光速旅行（物理学家一般用符号 c 来表示光在真空中的传播速度，其数值为186000英里/秒，即299792458米/秒）。现在，让我们先讲几个实例，好让你对星球之间的遥远距离有一个概念。最近的一颗恒星比邻星（Proxima Centauri，位于半人马座阿尔法星系），距离我们大约4光年。1光年就是光线在1年里走过的路程，约为 6×10^{12} 英里（ 9.46×10^{12} 千米）。所以这颗最近的恒星，距离我们也有 24×10^{12} 英里。即使每秒传播186000英里（约 3×10^8 米）的一束光，或者能够以相同速度传播的无线电信息，到达那里也需要4年的时间。

而在更大的尺度上，如我们所在的银河系的跨度，则差不多是10万光年。与我们相邻的星系仙女座星系（Andromeda），距离我们大约为200万英里（ 3.21×10^6 千米）。按照目前的技术，若只以远低于光速 c 的速度，即使是向最近的恒星发射过去一个探测器，也要花费数万年才能到达。所以我们对科幻作家早已想象出的各种能够在星际进行高于光速旅行的“捷径”毫不惊讶。否则的话，我们就很难看到科幻作品里面花样翻新的“联盟”或者“银河帝国”了。如果没有这些“捷径”，那宇宙可真是渺无边际了。

而宇宙之中最为神秘的时间又是什么呢？为什么过去与未来不同？为什么我们只记得过去，而对未来一无所知？过去和未来是否可以像现实中的任何地点，可以让人前去造访？我们又怎样才能做到？

本书基于近二十年来的物理学研究成果，探讨了以超越光速的速度在时间和空间中旅行的可能性。超光速旅行和时间旅行的观念，早就出现于大众的臆想之中。但你也许不知道，很多物理学家真的在严肃地研究这些臆想——当然不仅把它当做一个“或许能解决”的问题，而且也把它当做一个“我们可以从这些基础物理的研究中了解到什么”的课题。

像《星际迷航》那样的电视或电影系列片，就包含了许多超光速旅行的科幻事例。寇克舰长或皮卡德舰长会给企业号星舰（Enterprise）的舵手发出这样的命令：“曲速2（warp factor 2）全速前进”。没人告诉我们这是什么意思，不过我们



都明白这肯定比光速(c)还要快的速度。有些粉丝甚至认为这是 2^2c ,即四倍光速。人们认为,企业号星舰因为使用了“曲速引擎”(warp drive)才达到这个速度。从没有人解释过这个术语,它看上去也不是一个能让科幻作品更符合“科学”的专业术语的好例子。但是碰巧,或者说是先见之明,《星际迷航》中的曲速引擎却成为一种令人信服的对超光速旅行方法的最好描述,我们在后面会详细谈到这些。为此,从现在开始,我们将使用“曲速引擎”这个术语来表述超光速旅行的能力。

那么按照超声速是指超过声音在空气中传播的速度的说法类推,大于光速的速度,在物理学上通常被称为超光速。但是,超光速旅行似乎又违背了已知的物理学法则,也就是爱因斯坦的狭义相对论理论。在狭义相对论中,存在着一个光障。这个术语可以让人联想起声障,就是飞机的飞行速度接近声速时的遭遇,曾经有人认为,它可能会阻碍超声速飞行。不过后来的事实证明完全可以突破声障,而且也未违背任何物理学法则。而狭义相对论却似乎暗示超光速旅行,也就是由曲速引擎驱动的旅游,是被绝对禁止的,而不管未来的星际飞船有多么强大。

时间旅行也充斥在科幻作品之中。例如,某个故事中的人物会发现自己从未返回到我们的时代,并参与了NASA(美国宇航局)在地球上的太空发射。他也许是穿越了某个时间之门。在科幻小说中,常见的一些回到过去的旅行,似乎与星际飞船的那种曲速引擎毫无关系,即超光速旅行和时间旅行看起来是两种毫不相干的现象。实际上,我们将会看到,两者之间还是存在着直接关系的。

科幻小说家常常只能对那些“会有什么”之类的问题提供一些富有想象力的答案,比如“未来会出现什么科技成就”。不过从总体上来讲,科幻小说却不会回答你“怎样”的问题。科幻作品通常难以提供一些切合实际的指导,以说明将来能实现的特殊技术进步。与之相反,科学家和工程师却在致力于回答“怎样”的问题,并试图扩展我们对于大自然规律的认识,从而在新形势下创造性地去运用这些知识。

实际上,科学通常都及时地解决这类问题,诸如某一虚构出的技术进步竟然实现了,这会导致人们认为这种进步总是会出现的,但是事实并非如此。业已建立的物理学法则通常是否定某一种物理学现象的形式出现。例如,据我们所知,无论如何,宇宙中的各种能量总和不变。也就是说,用高中和大学理科课程里的

物理学术语来讲，能量是“守恒”的。

尽管科幻作品通常不能解答“怎样……”这类问题，但却能够通过探索“会有什么……”之类的问题来为科学服务。科幻作品在对我们日常所见之外可预想到的现象进行想象时，可以为科学提供一些可能的实验途径。本书的部分章节就包括一些我们向您建议的科幻读物和影片，这些内容都与那一章的主题相关，可以帮助你看到一些可能实现的事件的场景，例如有可能实现的时间旅行。

一位科幻作家可以任意想象出一个世界，人们在那里可以使用某种假想的设备，来制造无尽的能量。然而，物理学家却要说不，无论未来的科学家或工程师多么聪明，根据已有的物理学原理，那都是不可能实现的。换句话说，对于“怎样才能做到某事”这样的问题，答案是“毫无办法，做不到。”所以对于即将遇到的此类事例，我们必须要有准备。

除非特别说明，“时间旅行”一词，指的都是回到过去的旅行，这将会产生最为怪异的问题。为方便起见，我们把能够实现这种任务的工具称为“时间机器”，把研究能够回到过去旅行的过程称为“制造时间机器”。这意味着这样一种可能性，即你可以回到过去，见到年轻时代的自己。在物理学中，这一环形时空线路可以被称为“封闭类时曲线”。说它是“封闭”的，是因为你在时间和空间里都可以返回到始点。而说它是“类时”的，是因为时间在这个曲线的每个点上都发生变化。如果说存在着这种封闭的类时曲线，那不过是一种有趣的方式，用来说明你已经拥有了一台时间机器。

假如不是在科幻小说里面，而只是基于普通常理的话，由于回到过去的时间旅行会导致出现一些悖论，所以这种旅行应该是不可能的。这一类悖论通常被称为“外祖父悖论”。在这个悖论中，一位时间旅行者可能会回到过去，并在他的母亲出生之前杀死外祖父。如此一来，他也就从未出生，也从未回到过去并杀死他的外祖父，抑或他出生了，又回到过去杀死他的外祖父，如此这般，无穷无尽。总之，这个外孙进入时间机器的事件又会阻止他进入时间机器。这种造成逻辑矛盾的情况被称为非一致性因果循环（inconsistent causal loops）。在某一特定环境下，物理学法则可以预测某一事件发生或者不发生，所以按照物理学法则，非一致性因果循环是不被允许的。

一段时间以来，由于存在着狭义相对论的光障和回到过去的时间旅行所导致

