



开放人文

Hyperspace:

A Scientific Odyssey
Through Parallel Universes,
Time Warps, and the Tenth Dimension

通过平行宇宙、时间卷曲
和第十维度的科学之旅

Michio Kaku

超越时空

上海世纪出版集团



作者简介

加来道雄,美籍日裔物理学家,纽约市立大学城市学院理论物理学教授。他毕业于哈佛大学,获得加利福尼亚大学伯克利分校哲学博士学位。他是《超越爱因斯坦》(与特雷纳合著)、《量子场论》和《超弦导论》诸书的作者。在过去的10年里,他还是广播电台每周一次一小时科学节目的主持人。

谨以本书
献给我的父母

但是,创造的原则寓居于数学之中。因此,在某种意义上,我像古人所梦想的那样,认为纯思想可以把握实在。

——爱因斯坦

致 谢

在撰写这本书的过程中,我荣幸邀请到了罗宾斯(Jeffrey Robbins)担任本书的编辑。他也是我以前写的三本理论物理教科书的编辑。它们分别与统一场论、超弦理论以及量子场论有关,是为科学界写的。罗宾斯熟练指导着它们的出版。但是,这本书是第一本针对普通读者的科普书。我就是为他们而写的。和罗宾斯在一起紧密合作,我万分荣幸。

我要感谢特雷纳,她是我先前两本科普书的合著者。她又一次用她高超的技能使表达尽可能流畅和连贯。

我还要感谢支持和评阅了本书初稿的人:所罗门(Burt Solomon)、梅雷迪斯(Leslie Meredith)、马洛夫(Eugene Mallove)和我的代理人克里切夫斯基(Stuart Krichevsky)。

最后,我想感谢普林斯顿高等研究院的款待。本书的大部分是在那里写就的。这个研究院就是爱因斯坦度过其生命中最后十余年的地方。他的开创性工作中有许多已经被推广和完善。因此在这个地方撰写有关这些革命性发展的书籍是再恰当不过了。

序 言

科学革命,顾名思义,是向常识挑战。

如果我们关于宇宙的寻常观念都是正确的,那么科学早在数千年前就已揭开了宇宙的奥秘。科学的目标就是剥去客体的表层,揭示它们的内在本质。实际上,如果外表和本质是同一回事,那么科学也就没有存在的必要了。

对我们世界的认识,最牢固树立的常识性观念可能就是:世界是三维的。不言而喻,长、宽和高已经足以描述我们的可见宇宙中的所有物体。婴儿和动物实验已经证明,我们固有的观念——世界是三维的——可谓与生俱来。如果我们把时间作为另一维包含进来,那么四维足以记录宇宙中的所有事件。不管我们的仪器探测到哪里,从原子内部直到最遥远的星系团,我们所发现的都是这四维的踪迹。公开否认这种看法,即可能存在其他维度,或者我们的宇宙可能和其他宇宙共存,都会招致冷嘲热讽。对我们世界的这种根深蒂固的偏见,首先由 2000 年前古希腊哲学家作出推断。然而,它将服从于科学的进步。

本书涉及一场科学革命,这场科学革命由超空间理论所引发¹。超空间理论认为,有超越于人们普遍接受的四维时空的维度存在,宇宙可能确实存在于高维空间中。对此的认识,在世界范围的物理学

家——包括好几位诺贝尔奖得主——中正在扩大。如果这个理论被证明是正确的,它将会在我们对宇宙的认识上产生意义深远的哲学革命。用科学术语来讲,超空间理论是以卡鲁查-克莱因理论和超引力的名称出现的。但是它的最高级的表述形式被叫做超弦理论,这一理论甚至预言了精确的维数:十维。通常的四维即空间的三维(长、宽和高)和时间的一维,现在被六个更加宽广的维度所扩展。

我们注意到,超空间理论还没有在实验上被证实。实际上,在实验室中证明它极其困难。但是,这个理论已经横扫了世界上主要的物理研究实验室,不可逆转地改变了现代物理学的科学面貌,在科学文献中产生了数目大得令人惊愕的研究论文(每统计一次均超过5 000篇)。尽管如此,却几乎没有为非专业听众解释高维空间的迷人性质而写的东西。因此,公众至多也只是模糊地注意到了这场革命。实际上,在大众文化中随随便便提及其他维度和平行宇宙时常会引起误导。这是令人遗憾的,因为该理论的重要性在于它能在一个惊人简单的框架内统一所有已知的物理现象。本书第一次在科学上就有关超空间的引人入胜的现行研究作了可信易懂的描述。

为了解释超空间理论何以在理论物理学界产生如此巨大的骚动,我阐述了四个基本论题,它们像一根线贯穿在这本书中。这四个论题将本书分成了四篇。

在第一篇中,我强调的主题是:自然规律在高维空间中表达时,会变得更加简单和漂亮,并由此展开

了超空间的早期历史。

为了理解所增加的更高维度如何能简化物理问题,可以考虑下面的例子:对古埃及人来说,气候完全是神秘的。是什么引起季节的更替?为什么当他们往南走时天气会变暖?为什么风一般往一个方向吹?气候不可能从古埃及人很有限的实用观点得到解释。对他们来说,大地显然是平坦的,就像二维平面。但是,现在设想用火箭把古埃及人送到外层空间,在那里他们可以看到简单而完整的地球正在它的轨道上环绕太阳运行。刹那间,这些问题的答案变得清清楚楚。

从外层空间看,可以清楚地看到地球的轴偏离垂直方向约 23 度(“垂直方向”是指地球环绕太阳的轨道平面的垂直方向)。因为有了这种偏离,在它的部分轨道上北半球所接收到的太阳光比在另一部分轨道上接收到的少得多,所以我们就有了冬天和夏天。又因为赤道接收到的太阳光比北极或南极地区接收到的多,所以当我们接近赤道时,气候变暖。类似地,由于地球相对于站在北极的人作反时针自转,因此寒冷的极地空气朝着赤道往南移动时会突然转向。热空气团和冷空气团在移动。在移动中,地球的自转决定了它们的方向。这样的空气团有助于解释为什么风总是朝一个方向吹,而且在不同的地方吹的方向不一样。

概括地说,一旦我们从太空眺望地球,相当模糊的气候规律就很容易被认识。因此,解决这个问题的办法就是上升到太空、进入第三维。当在太空眺望三维的地球时,在平直世界上不可能明白的真相

就突然变得清清楚楚。

相似地,引力的规律和光的规律看起来完全不一样。它们遵守不同的物理假设和不同的数学。试图拼接这两种力总是归于失败。但是,如果我们在先前的四维(空间三维加时间)中增加一维即第五维,那么决定光和引力的方程看起来就像拼图游戏中的两块合并到了一起。光实际上可以被解释为第五维中的振动。以这种方式,我们发现光的规律和引力的规律在五维中变得更为简单。

因而,许多物理学家现在相信,传统的四维理论太“小”而不能充分地阐明描述我们宇宙的那些力。在四维理论中,物理学家不得不用笨拙的、不自然的方式把这些自然力挤压到一起。此外,这种杂配理论是不正确的。然而,当基本力在超越四维的维度中被表达时,我们就有了“足够的空间”可以用漂亮的、独立的方式去解释这些基本力。

在第二篇中,我们强调了超空间理论可能能把所有已知的自然力统一到一个理论中,并详尽阐述了这一简单思想。因此,超空间理论可能是2000年来科学探索的最大成就:所有已知的物理力的统一。它可能把难倒爱因斯坦(Einstein)好几十年的物理学圣杯即“万物至理”(theory of everything)赠送给了我们。

至于使宇宙结合在一起的基本力——引力、电磁力以及强核力和弱核力——为什么有那么大的差别,在过去的半个世纪里,科学家们一直为此感到困惑。20世纪最伟大的头脑企图提出某种统一所有已知力的绘景已告失败。但是,超空间理论可能能

够用非常漂亮的方法解释四种自然力,以及解释貌似随机群体的亚原子粒子。在超空间理论中,“物质”也可以被看作波动着穿过空间和时间结构的振动。因而可以得出一种迷人的可能性:在我们周围所能看到的一切东西,从树木和山脉到恒星本身,只不过是超空间中的振动。如果这是真的,那么它给了我们一种漂亮而简单的几何方法,对整个宇宙提供了一种条理清晰、令人信服的描述。

在第三篇中,我们探讨了在极端环境中空间可能被拉伸乃至被撕裂的可能性。换句话说,超空间可能提供了穿越空间和时间的一种途径。尽管我们强调指出这还是高度推测性的,但是物理学家们正在严肃地分析“蛀洞”的性质。这些蛀洞是连接互相远离的各部分空间和时间的隧道。例如,加利福尼亚理工学院的物理学家严肃提出了建造时间机器的可能性。这种机器包含一个连接过去和未来的蛀洞。时间机器现在已经离开了推测和幻想的王国,已经变成合法的科学研究领域。

宇宙学家还提出了一种令人大吃一惊的可能性,即我们的宇宙只是无穷多个平行宇宙中的一个。这些宇宙可以比作飘浮在空气中的巨大肥皂泡群。正常情况下,这些气泡宇宙之间的连接是不可能的,但是通过分析爱因斯坦方程组,宇宙学家已经证明连接这些平行宇宙的蛀洞或者管道网的可能是存在的。在每个气泡上,我们可以定义我们自己特有的空间和时间。它们只在气泡的表面有意义;在这些气泡以外,空间和时间都毫无意义。

尽管这类讨论的许多结果都是纯理论的,但是

超空间旅行有可能最终提供所有结果中最为实际的应用：从宇宙的死亡中拯救包括我们在内的智慧生命。科学家们普遍相信宇宙最终必定死亡，已经进化了数十亿年的所有生命也将随之死去。例如，根据时下流行的被称为大爆炸的理论，发生在 150 亿年到 200 亿年前的一场宇宙爆炸致使宇宙膨胀，恒星和星系都以巨大的速度猛然相离。但是，如果宇宙在某一天停止膨胀并开始收缩，那么它最终将坍缩到一场被称为“大坍聚”的灾难之中。在这个大火球中，所有的智慧生命都将被巨热所蒸发。然而，一些物理学家已经推测，超空间理论可能为智慧生命提供一种逃亡的希望，而且是唯一的希望。在我们宇宙死亡的最后几秒钟里，智慧生命有可能通过躲进超空间而逃脱这场坍缩。

在第四篇中，我们对一个最终具有实用性的问题作了推断：如果这个理论被证明是正确的，那么什么时候我们才能具有利用超空间理论的能力？这不只是一个学术上的问题，因为在过去仅仅是利用了四种基本力中的一种，就不可避免地改变着人类历史的进程，把我们从古代的无知和贫困、前工业社会提高到现代文明。在某种意义上，甚至人类社会的全面发展都可以用一种新的眼光来审视，即人类渐次掌握了四种自然力。文明史随着这些力中的每一种被发现和掌握，而经历着意义深远的变化。

例如，当牛顿(Isaac Newton)写下经典引力定律时，他发展了力学理论。这些理论为我们掌握机器提供了规律。这反过来又极大地加速了工业革命。工业革命产生了各种政治力量，它们最终推翻了欧

洲的封建王朝。在 19 世纪 60 年代中期,当麦克斯韦(James Clerk Maxwell)写下电磁力基本定律时,他开创了电的时代,这个时代为我们提供了发电机、收音机、电视机、雷达、家用电器、电话、微波炉、电子消费品、电子计算机、激光以及许多其他奇特的电子产品。人类要是没有认识和利用电磁力,文明就会在发明电灯泡和电动马达之前停滞一段时间。在 20 世纪 40 年代中期,当核力被利用时,随着这颗行星上最具破坏力的武器原子弹和氢弹的研制,世界又完全被颠倒了过来。因为我们还没有接近于统一认识主宰宇宙的全部自然力,所以人们可以猜想,掌握超空间理论的任何文明将会成为宇宙的君主。

由于超空间理论是一系列完备的数学方程,因而我们可以计算把空间和时间扭进一只法国号,或者产生连接我们宇宙中相隔遥远的各部分的蛀洞所必需的精确能量。不幸的是,计算结果令人失望。需求的能量远远超出我们的行星所能收集到的任何能量。实际上,这个能量比我们最大的原子对撞机的能量大几亿亿亿倍。我们必须等上数个世纪甚至上千年,我们的文明才可望发展出能操纵时空的技术,或是跟一个早已掌握了超空间的先进文明接触。因而,本书以探索一个吸引人的但又是推测性的科学问题的方式收尾。这个问题是:我们成为超空间的主宰者必须达到怎样的技术水平?

因为超空间理论远远超出了我们正常的、常识性的空间和时间概念,我在正文中穿插了几个纯粹是假设的故事。我受到了诺贝尔奖得主拉比(Isidore I. Rabi)向一群物理学家听众演讲这一故事的启发,

所以我就使用了这种讲授技巧。拉比为美国科学教育深奥难懂的状况而痛惜,批评物理学界在向普通公众、特别是青少年普及科学探索上忽视了自己的职责。实际上,他告诫道:科幻作家们在传播科学罗曼史上所做的比所有物理学家所做的总和还要多。

我在与特雷纳(Jennifer Trainer)合著的一本书《超越爱因斯坦:无穷无尽地探索宇宙理论》中研究了超弦理论,描绘了亚原子粒子的特性,用相当长的篇幅讨论了可见宇宙以及如何用微小的振动弦来解释物质的全部复杂性。在这本书中,我在一个不同的主题上展开、探索看不见的宇宙,即几何和时空世界。本书不是集中在亚原子粒子的特性上,而是在亚原子粒子可能所处的高维空间上。在这一过程中,读者将会看到高维空间不是一种空荡荡的、夸克靠着它扮演着永恒角色的被动背景;高维空间实际上已成为大自然这出戏中的主角。

在讨论超空间理论的迷人历史中,我们将会看到,由2000年前古希腊人开始的物质终极性质的探索是一部漫长而曲折的历史。当未来的科学史学家书写这段漫长历史的最后一篇时,他们很可能会记录着:决定性的突破是三维或四维常识性理论的失败以及超空间理论的胜利。

加来道雄

1993年5月于纽约

我常想，我们就像自鸣得意地在池中游动的鲤鱼。我们的一生就在我们自己的“池子”里度过，以为我们宇宙只包含那些看得见摸得着的事物。

——加来道雄

奥本海默说，爱因斯坦的工作无可救药地落在时代的后面；杨振宁说，大自然似乎利用了对称性定律的简单数学表示。



当代物理学中一些非常重要而又艰深的思想，往往因为难以形象浅显地解说而不易为公众所了解。本书作者不畏艰辛，用很生动的方式向读者展示了现代物理前沿之一——超空间理论——的来龙去脉。全书15章分为4篇，分别述说了超空间的早期历史，超空间理论可能通往爱因斯坦梦寐以求的“物理学圣杯”——统一场论，从理论上探讨通过超空间穿越时空的可能性，以及何时方能实际利用超空间理论所具有的潜在威力。详尽而又如此通俗地讲述这种理论，在本书之前尚未见先例。

加来道雄，美籍日裔物理学家，纽约市立大学城市学院理论物理学教授。他毕业于哈佛大学，获得加利福尼亚大学伯克利分校哲学博士学位，著有《超越爱因斯坦》（与特雷纳合著）、《量子场论》和《超弦导论》等书。在过去10年里，他还是广播电台每周一次一小时科学节目的主持人。

有些人通过个人所得、个人关系或个人经历寻求生命的意义。然而，在我看来，有幸得到能领悟自然之最终奥秘的智慧，才赋予生命充分的意义。

——加来道雄

内 容 提 要

当代物理学中一些非常重要而又艰深的思想,往往因为难以形象浅显地解说而不易为公众所了解。本书作者不畏艰辛,用很生动的方式向读者展示了现代物理前沿之一——超空间理论——的来龙去脉。全书 15 章分为 4 篇,分别述说了超空间的早期历史,超空间理论可能通往爱因斯坦梦寐以求的“物理学圣杯”——统一场论,从理论上探讨通过超空间穿越时空的可能性,以及何时方能实际利用超空间理论所具有的潜在威力。详尽而又如此通俗地讲述这种理论,在本书之前尚未见先例。

图书在版编目(CIP)数据

超越时空:通过平行宇宙、时间卷曲和第十维度的科学之旅/
(美)加来道雄(Kaku, M.)著;刘玉玺,曹志良译.—上海:上海科
技教育出版社,1999.5

(哲人石丛书·当代科普名著系列)

书名原文:Hyperspace: A Scientific Odyssey Through Parallel Uni-
verses, Time Warps, and the Tenth Dimension

ISBN 7-5428-1881-3

I.超… II.①加… ②刘… ③曹… III.相对论-空间
IV.0412.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 15796 号

目 录

序 言

第一篇 进入第五维

1

第一章
时空之外的世界

3

第二章
数学家与神秘主义者

37

第三章
“看见”第四维的人

65

第四章
光的奥秘：第五维中的振动

95

第二篇
十维中的统一

129

第五章
量子邪说

131

第六章
爱因斯坦雪耻

159

第七章
超弦

177

第八章
来自第十维的信号

209

第九章
创世之前

223

第三篇

蛀洞：通往另一个宇宙的通道？

249

第十章

黑洞与平行宇宙

251

第十一章

制造时间机器

267

第十二章

碰撞着的宇宙

293

第四篇

超空间的主宰者

315

第十三章

超越未来

317

第十四章
宇宙的命运

351

第十五章
结 语

365

注 释

391

参考文献和推荐读物

411

第一篇
进几第五维

第一章

时空之外的世界

我想知道上帝怎样创造了这个世界,对这样或那样的具体现象我不太感兴趣。我想知道世界的内在规律,其余则是零枝碎节。

——爱因斯坦

一名物理学家的教育历程

童年的两件趣事极大地丰富了我对世界的理解力,并且引导我走上成为一个理论物理学家的历程。

记得那时我的父母亲不时带我去旧金山游览著名的日本茶园。我蹲在那里的小池边,为慢慢畅游在水底睡莲之中五彩斑斓的鲤鱼所陶醉。这是我最快乐的童年记忆之一。

在那静静的时刻,我充满了无限的遐想。我常常给自己提出一些只有小孩才问的傻乎乎问题,比如水池中的鲤鱼怎样观察它们周围的世界。我想,它们的世界一定奇妙无比!

鲤鱼们的一生就在这浅浅的水池中度过。它们相信它们的“宇宙”就由阴暗的池水和睡莲构成。它们大部分时间在池底漫游,因此它们只模糊地意识到在水面之上存在有另一个外部世界。我的世界的本质超过了它们的理解能力。我喜欢坐在距离鲤鱼仅仅几厘米的地方,然而,我们之间却如距深渊。鲤鱼和我生活在两个截然不同的宇宙之中,从不进入对方的世界,我们之间被水面这一薄薄的“栅栏”分隔开来。

我曾想：在水底的鱼群中可能有一些鲤鱼“科学家”。我想这些鲤鱼“科学家”会对那些提出在睡莲之外还存在有另外一个平行世界的鱼冷嘲热讽。他们认为，唯一真实存在的事物就是鱼儿们看得见摸得着的。水池就是一切。水池之外看不见的世界没有科学意义。

有一次，我遇到了一场暴雨。我注意到成千上万的小雨滴轰击在池水的表面。池水表面变得湍乱，水中的睡莲在汹涌不息的水波冲刷下摇摆不定。在躲避风雨之时，我想弄清楚周围发生的一切将会以怎样的形式呈现在鲤鱼们的眼中。在它们看来，睡莲似乎是自己在运动，没有任何东西冲刷它们。因为就像我们看不见我们周围的空气和空间一样，鲤鱼们也看不见它们赖以生存的水，它们为睡莲自己能够运动而困惑不解。

我想，鲤鱼“科学家们”将会聪明地杜撰某种虚构的东西——它被称为“力”，来掩盖自己的无知。由于不能理解在看不见的水面上存在的水波，它们将得出这样一个结论：睡莲之所以能够不被触摸而运动，是因为有一种看不见的神秘力在对它起作用。它们可能给这种错觉起一个高深莫测的名称（如超距作用，或没有任何接触睡莲即会运动的能力）。

我曾想，如果从池水中抓出一个鲤鱼“科学家”，事情将会怎么样呢？放回池水之前，它可能随着我的查看而狂乱挣扎。那么别的鲤鱼又将怎样看待这件事呢？对于它们而言，这确实是一件可怖的事情。它们第一次意识到有一位鲤鱼“科学家”从它们的宇宙中消失了。就那么简简单单，没有留下任何踪迹。不管在它们的宇宙中怎么寻找，就是没有这条丢失的鲤鱼的踪影。然而，就那么几秒钟，当我把它放回池水之后，这位鲤鱼“科学家”便突然冒了出来。对于别的鲤鱼而言，这真是一个奇迹。

待神志镇定之后,这位鲤鱼“科学家”就会讲述一个真正令它们惊诧不已的传奇故事。它说:“突然之间,不知怎的我就被拉出了咱们的宇宙(池水),投进了一个冥冥世界,那里有令人目眩的强光和我从未见过的奇形怪状的物体。最奇怪的是那个抓住我的生物竟然一点也不像鱼。更使我震惊的是,无论如何也看不到它的鳍,但是没有鳍它还是能够运动。我感觉到熟习的自然规律不再适合于这个冥冥世界。随后,我发现自己突然又被扔回了咱们的世界。”(当然,这个到宇宙之外一游的故事对于鲤鱼是怪诞的,大多数鱼都认为这完全是胡说八道。)

我常想,我们就像自鸣得意地在池中游动的鲤鱼。我们的一生就在我们自己的“池子”里度过,以为我们宇宙只包含那些看得见摸得着的事物。就像鲤鱼一样,我们认为宇宙之中只包含有熟习可见的东西。我们自以为是地拒绝承认就在我们的宇宙跟前存在有别的平行宇宙或多维空间,而这些都超出了我们的理解力。如果我们的科学家发明像力这样一些概念,那仅仅是因为他们不能用眼检验出充满于我们周围空间的不可看见的各种振动。一些科学家鄙视更高维数世界的说法,是因为他们不能在实验室里便利地验证它。

此后,我一直对存在高维世界的可能极感兴趣。像许多孩子一样,我贪婪地阅读这样一类历险故事,其中讲述的是时间旅行者进入别的多维空间,探索我们看不见的平行宇宙,在那里能很容易使通常的物理定律不再起作用。我长大后想知道,是否在百慕大三角神秘消失的船只进入了一个空间漏洞,我对阿西莫夫(Isaac Asimov)的《基地》系列惊叹不已,书中超维空间旅行的发现导致了一个银河帝国的兴起。

童年时的第二件事也给我留下深刻的印象。我8岁时曾听过一个故事,此后它一直留在我的脑海里。记得我的中学

老师给班里讲了一个已故伟大科学家的故事。他们极其崇敬地讲到他,称他是整个人类历史上最伟大的科学家。他们说很少有人能够理解他的思想,但是他的发现却改变了整个世界和我们周围的一切。我不理解他们想告诉我们的许多东西,但是最使我对此人感兴趣的是他未能完成自己的伟大发现就撒手人寰。他们说他们多年潜心于这个理论,但是他死之后,他的未完成的论文仍然摆放在自己的办公桌上。

我被这个故事迷住了。对于一个孩子,这是很神秘的。他未完成的工作是什么?他桌上论文的内容是什么?什么问题可能会如此难以解决而又非常重要,值得如此伟大的科学家把他的有生之年花费在这种研究之中?由于好奇,我就决定学习我能学到的关于爱因斯坦的一切以及他的未完成的理论。我记得,我花了好多时间静静阅读我能够找到的关于这个伟人和他的理论的每一本书。这种记忆到现在仍然温暖如春。我读完当地图书馆的书之后,就开始在全市搜寻图书馆和书店,急切地查找有关线索。不久我就知道这个故事比任何的神秘谋杀故事更加激动人心,也比我曾想象的任何事情都重要。我决定要对这一秘密刨根究底,纵然为此而必须成为一名理论物理学家也在所不辞。

不久,我就知道爱因斯坦桌上未完成的论文就是他企图构造的所谓的统一场论。这个理论能解释所有的自然规律,从细小的原子到浩瀚的星系。然而,作为一个孩子,我却不能理解,畅游在茶园池水中的鲤鱼和爱因斯坦桌上未完成的论文可能存在着某种联系。对于用更高的维数可能是解决统一场论的关键这一点我不理解。

后来,在高中阶段,我看完了许多地方图书馆中这方面的书,并且常常造访斯坦福大学的物理学图书馆。在那里,我发现爱因斯坦的工作使一种称之为反物质的新型物质成为可

能。这种物质的作用形式与普通物质一样,但与普通物质接触之后它们将会湮没,并且猛然释放出能量。我也知道科学家已经建造了一些大型仪器,或者说是“原子对撞机”,这种仪器可以在实验室里产生微量的这种奇异物质,即反物质。

年轻人的一个优点就是不会由于世俗的约束而畏葸不前,而这种约束对于大多数成年人而言通常似乎又很难超越。没有考虑所要涉及的困难,我就开始着手建立我自己的原子对撞机。我一直研究科学文献,最后我确信能够建造一台所谓的电子感应加速器,这种加速器能把电子加速到数百万电子伏特(100万电子伏特是指电子在100万伏特的电场中被加速后所获得的能量)。

首先,我购买了少量的钠22,它是一种能够自然地放射正电子(电子的反物质)的放射性物质。然后我建造了一个云室,在云室中可以看到亚原子粒子留下的踪迹。这样我就能拍下好几百张由反物质留在云室中的精美照片。紧接着,我找遍周边地区大量的电子仓库,装配必需的硬件设备,包括好几百磅(1磅=454克)重的废品处理钢,在我的车间建造一个2.3百万电子伏特的电子感应加速器,这个加速器完全有能力产生一束反电子。为了产生电子感应加速器所必需的巨大磁场,我说服我的父母亲让他们帮助我在我读高中的那个学校的足球场中缠绕22英里(1英里=1.61千米)长的铜线。我们把整整一个圣诞假日花费在这条50码(1码=0.91米)长的线路上,缠绕和安装笨重的线圈,这种线圈将使高能电子的运动路径发生弯曲。

当最后建成时,这个300磅重、6千瓦的电子感应加速器耗掉了我屋子中所产生的每一点能量。当我接通它后,通常总是烧断每一根保险丝,屋子变得漆黑一团。在屋子周期性陷入黑暗的同时,妈妈常常在摇头。(我想,妈妈对于她不能

有一个在棒球场或篮球场玩耍、反而有一个在汽车间建造一架巨大的电子仪器的儿子而困惑不解。)使我感到欣慰的是,仪器成功产生了比地磁场强 2 万多倍的磁场,而这正是加速一束电子所必需的。

面向第五维

由于家境贫寒,我的父母担忧我将不能把自己的实验和教育继续下去。幸运的是,我为我的各种科学计划争取助学金的行动引起了原子科学家泰勒(Edward Teller)的注意。他的妻子慷慨地安排我接受四年的奖学金去哈佛大学学习,允许我在那里实现自己的梦想。

具有讽刺意味的是,尽管我在哈佛开始了自己在理论物理方面的正规教育,但也正是在这里我对更高维数的兴趣消失殆尽。像别的物理工作者一样,我开始严格而又全面地学习与每一种自然力所对应的高等数学,这些自然力彼此之间是完全孤立的。我仍然记得给我的电动力学老师解题,然后我又问他如果空间在更高的维数中弯曲,那么答案可能会是怎样。他以一种奇异的方式看着我,好像我有点疯狂似的。像比我先来的人一样,我不久就学会把孩提时代关于更高维数空间的念头搁置一边。我被告知:超维空间不是一个合适的严肃研究课题。

我从来就不满足于对物理学的这种支离破碎的处理,思绪常要飘回到茶园中鲤鱼的身上。虽然我们常用的电磁场方程在 19 世纪就被麦克斯韦发现,他的这一工作十分完美,但方程好像相当随意。我觉得物理学家们(像鲤鱼那样)发明的这些“力”,实际上掩盖了我们对物体怎样能够不彼此接触而运动这一问题的无知。

通过学习,我知道 19 世纪有一场大争论,就是光怎样在真空中传播。(事实上,从恒星上发出的光可以通过外部空无一物的空间毫不费力地传播好几万亿千米。)实验也毫无疑问证明了光是一种波。但是,如果光是波的话,那就需要一些使它发生“波动”的媒质。声波需要空气,水波需要水,而在真空中却没有可以使光波动的东西,人们对此深感疑惑。没有使光波动的媒质,它怎能成为波呢?于是,物理学家们就捏造出一种所谓的以太物质,这种物质作为光的媒质而充满整个真空的空间。然而,实验却无可辩驳证明了“以太”并不存在。”

后来,当我成为加利福尼亚大学伯克利分校的物理学研究生后,我非常意外地发现有一个变通的办法,尽管这个办法会引起人们的争论,但是它可以解释光怎么能在真空中传播。这个变通的理论十分古怪,因此当我偶然间发现它之后十分震惊。这种震惊与许多美国人乍闻肯尼迪(John Kennedy)总统被枪杀的感觉颇为相似。他们能永远记住他们听到这一惊闻的那一刻正在干什么,正在和谁说话。当我们第一次偶然遇到卡鲁查-克莱因(Kaluza-Klein)理论时,我们这些物理学家也深感震惊。因为这一理论被认为是一种不成熟的推测,因而从不在研究生课程上讲述。于是,留给年轻物理工作者们的只是在有关读物中偶然地去发现它。

这个变通的理论给光作了一个最为简单的解释:它实际上是一种第五维(或如神秘主义者通常所说的那个第四维)上的振动。如果光能通过真空传播,那是因为真空本身在振动,因为“真空”实际上存在于四维的空间和一维的时间之中。加

* 令人惊奇的是,直到如今,物理学家对这一难题仍然没有作出真正的回答,但数十年来,我们却对这样的思想习以为常;即使没有什么媒质,光照样可以在真空中传播。

上第五维之后,引力和光就能以惊人简单的方式统一起来。回顾我童年时代在茶园的体验,我突然意识到这就是我梦寐以求的数学理论。

然而,老的卡鲁查-克莱因理论有许多困难和技术问题,这就使得它半个多世纪来一直被束之高阁。可是,过去10年中这一切都发生了变化。这一理论的更高层次的翻版,如超引力理论,特别是超弦理论,已经最终消除了该理论的不自治性。突然之间,更高维数的理论正在世界各地的实验室中被竞相检验。世界上许多头面物理学家现在相信,在普通的四维时空之外存在有更高的维数。这一思想事实上已经成为科学研究的热点。的确,许多理论物理学家现在认为更高的维数是导致某种无所不包理论的关键步骤,这个理论——超维空间理论——将把许多自然规律统一起来。

如果这被证明是正确的,那么未来的科学史家们可能会很好地记下:20世纪科学一大观念性革命就是懂得了超维空间可能是解开自然和宇宙奥秘的关键。

这种富于启发性的概念导致这方面的科学研究纷至沓来:世界各国主要研究所的理论物理学家们写出了好几千篇探索超维空间性质的学术论文。《核物理》和《物理快报》这两种重要的科学杂志中登载着大量这方面理论分析的文章。已经举办了200多次国际物理学会议来探索高维数的重要性。

不幸的是,在验证我们的宇宙存在于更高的维数中方面,实验与理论还相差甚远。(究竟什么东西可以被认为是证明了该理论的正确性,以及可能开发超维空间的能力问题,将在本书后文中讨论。)然而,这个理论现在已经作为现代理论物理学一个合法分支而牢固地确立起来。例如,爱因斯坦度过他生命最后时光的普林斯顿高等研究院(我在那里写成了本书)现在是一个研究高维时空的活跃的中心。

1979年诺贝尔物理学奖得主温伯格(Steven Weinberg)最近在评述理论物理似乎变得越来越像科幻小说时,对这一观念革命作了总结。

我们何以不能看见高维?

这种革命性的思想初看起来似乎很奇怪,因为我们理所当然地认为我们天天生活在三维世界之中。已故物理学家帕格尔斯(Heinz Pagels)曾说过:“我们物理世界的一个特点如此显而易见,以至于大多数人从未怀疑过空间是三维的这一事实。”¹几乎是出于本能,我们知道任何一个物体可以用它的长、宽、高来描述。通过给出三个数字,我们就可以在空间确定一个位置。如果我们想在纽约请某人吃饭,我们就说:“在第42街和第1大道拐角处那座大楼的24层楼见面。”头两个数字给我们确定的是街的拐角处,第三个数字则描述离地面的高度。

飞行员也可用三个数字来确定他们的精确位置,这三个数字是他们的高度和在坐标网格或地图上确定其位置的两个坐标。事实上,通过精确测定这三个数字,就可以把世界上从我们的鼻子尖到可见宇宙中的每一点都准确地定出位置。甚至婴儿也懂得这一点。婴儿实验已经证明,他们将爬到峭壁的边缘,看看边缘的对面,然后就又爬了回来。另外,他们也本能地懂得“左”,“右”,“向前”,“向后”,“向上”,“向下”。这样直观的三维概念从童年开始就牢固扎根于我们的脑海之中。

爱因斯坦扩展了这一概念,把时间作为第四维包括进来。例如,请某人吃饭,我们必须讲明中午12点30分在曼哈顿见,即为了详述一个事件,我们必须对它的第四维——事件发生的时间加以描述。

当代科学家对爱因斯坦第四维概念以外的东西产生了兴趣。流行的科学兴趣集中于第五维(在时间和三维空间之外的那个空间维度)和五维以外的东西。(为了避免混淆,在本书中,我们屈从于习惯的说法,把第四维称为长、宽、高之外的空间维。物理学家实际上把它当作第五维,但是我将遵从历史的惯例。我们把时间称为第四时间维。)

我们如何看见第四空间维呢?

问题是我们不能看见。高维空间是不可能用眼睛观察的,因此再努力也没用。著名德国物理学家亥姆霍兹(Hermann von Helmholtz)把人们不能“看见”第四维和盲人不能想象颜色的概念相提并论。无论我们怎么滔滔不绝为盲人描述“红”颜色,但是用语言总是不能确切地把丰富的颜色告知盲人。甚至已经对高维空间做了多年研究的有经验的数学家和理论物理学家也承认,他们不能形象化地描述高维空间,而是退到了数学方程的世界中。尽管数学家、物理学家和计算机专家在解多维空间的方程时并没有什么困难,人类发现还是无法想象他们自己这个宇宙之外的宇宙。

我们充其量只能利用各种数学技巧来一睹高维客体的影子;这些技巧是由数学家兼神秘主义者欣顿(Charles Hinton)在20世纪伊始构想出来的。其他数学家,如布朗大学数学系主任班乔夫(Thomas Banchoff)已经写出一个计算机程序,它能把高维客体投影到二维平面即计算机显示屏上,而让我们来操纵它。就像古希腊哲学家柏拉图(Plato)所说的那样,我们像穴居者一样抱怨只能看到洞外丰富生活的朦胧而灰暗的影子,班乔夫的计算机程序也只能让我们瞥见高维客体的影子。(事实上,由于进化的原因,我们不可能目睹更高的维数。我们的大脑已经进化到能在三维之中处理大量的紧急事件。我们能即刻认出跳跃的狮子或突袭的大象,并作出反应。事实

上,那些能较好地看出物体在三维空间中如何运动、旋转、扭曲的人,与那些不能看出这些运动的人相比,具有明显的生存优势。遗憾的是,人类并没有需要把握在四个空间维度中运动的生存压力。能够看见第四空间维当然无助于人们抵御剑齿虎的突袭。狮子和老虎不会通过第四维来袭击我们。)

自然规律在高维中更简单

芝加哥大学著名的费米研究所的理论物理学教授弗罗因德(Peter Freund),是喜欢用高维宇宙的性质来愉悦听众的一个物理学家。他是超维空间理论的早期工作者之一,当时这一理论与主流物理学相比被认为是奇谈怪论。他和一小部分科学家孤立地对高维科学研究了多年。而现在这门学科已经变成一个时髦而又合法的科研分支。使他高兴的是,他早期的兴趣最终得到了回报。

弗罗因德与传统的那种狭隘、顽固、不修边幅的科学家形象极不相符。相反,他文雅、口齿伶俐而又富于教养。他善于诡譎而顽皮地笑,他的笑使那些非科学家人士为突破性科学发现的迷人故事而倾倒。他会随意写上满满一黑板方程式,或者与别人在鸡尾酒会上开点无伤大雅的玩笑。他说话时带着浓重而明显的罗马尼亚口音,拥有生动迷人地解释那些极为神秘复杂的物理概念的绝技。

弗罗因德通常会提醒我们,科学家们已用怀疑的眼光来评述更高的维数,因为它们既不能被测量也没有特殊的用途。然而,当今的科学家却逐步意识到,任何一种三维理论都“太小”,不足以描述控制我们宇宙的力。

像弗罗因德强调的那样,过去10年中贯穿于物理学的基本主题是:自然规律在高维空间表述时会变得更为简单和优

美。高维空间是自然规律的天然栖息地。光和引力的定律在高维时空中找到了一种天然表述。统一自然规律的关键步骤是增加时空的维数,从而能合理安排越来越多的力。在更高维中,我们有足够的“空间”来统一所有已知的物理力。

在解释为什么更高的维数正在激发起科学世界的想象力时,弗罗因德用了下列类比:“想想地球上跑得最快的动物中的猎豹,它皮毛光滑而又美丽,在非洲的热带草原上漫游。在它的天然栖息地,猎豹是一种了不起的动物,简直是一件艺术品,它的奔跑速度或奔跑动作的优美简直无与伦比。现在,”他继续说道:

想想被捕获并且投进动物园简陋笼子里的猎豹吧。它已失去了原有的优雅和美丽,为了我们的娱乐而被安排去展出。我们只看到笼子里神情绝望而不是原来那种优雅和精力充沛的猎豹。猎豹可与物理规律相提并论,物理规律就其本身而言是优美的。物理规律的天然栖息地就是高维时空。然而,我们只能测量那些被拆散且放在笼子里展出的物理规律,这个笼子就是我们的三维实验室。我们只能看到已经被剥夺了优雅和美丽的猎豹。²

几十年来,物理学家们想知道为什么四种自然力以如此支离破碎的形式出现——为什么在笼子里的这些“猎豹”看起来神情如此绝望和可怜。弗罗因德注意到,四种力看起来似乎大不相同的基本原因,是我们一直在观察“笼子里的猎豹”。对于物理规律而言,我们的三维实验室是一个无能的动物笼子。但是,当我们在高维时空(它是物理规律的天然栖息地)中表述物理规律时,我们就看到了它们名副其实的显赫和有力,物理规律就变得简单而富有生命力。现在这场席卷物理学的革命,就是认识到了猎豹天然栖息地也许正是超维空间。

为了阐明如何加进一个较高的维数就能使事情变得简

单,试想古罗马人是怎样打那些大仗的。伟大的罗马战争常常包含了许多较小的战场,它一定伴随着来自四面八方的谣言和误传,把事情弄得混乱不堪。战争在多个前线进行,罗马的将军们却常常盲目指挥。罗马人往往是靠暴力而不是靠优美的战略赢得战争的胜利。那就是为什么战争的首要原则是占领高地——即上升进入二维战场上方的第三维。在可看到战场全景的巨大山丘的有利地位上,战争的喧嚣突然变小了。换句话说,从第三维(即从山丘的顶部)来观察,较小战场的混乱结合成了一幅首尾连贯的单一画面。

这个原理——自然规律在高维中表达时可以变得较为简单——的另一个应用,是爱因斯坦狭义相对论背后的中心思想。爱因斯坦揭示了时间是第四维,证明了在四维理论中时间和空间能够便利地统一起来。这进而必然导致所有用时间和空间来测量的物理量的统一,比如质量和能量。他还发现了质量和能量统一的精确数学表达式: $E = mc^2$,这就是所有科学方程式中最为著名的质能公式。^{*}

为了鉴赏这个统一的巨大威力,现在我们来描述四种基本力,强调它们如何不同,如何在高维中给出这四种力的统一表述。过去 2000 多年来,科学家们发现我们宇宙中的一切现象能够被归结为四种力,它们从一开始就彼此互不相似。

电 磁 力

电磁力以多种形式存在,它包括电、磁和光本身。电磁力

* 高维理论绝不仅仅是一个学术理论,因为爱因斯坦理论最简单的结果乃是原子弹,它改变了人类的命运。在这一意义上,引入高维已成为人类历史中至关重要的科学发现之一。

照亮我们的城市,可使收音机和电唱机发出的音乐充满整个空间,可用电视给我们以娱乐,用电器来减少家务劳动,用微波炉烘烤食物,用雷达跟踪飞机和进行空间侦察,用电厂发电。最近,电磁力已被用于电子计算机(这使办公室、家庭、学校、军队大为改观)和激光(这对于通信、外科手术、光盘、五角大楼高级武器系统,甚至于售货台的付款机有重大意义)。在某种意义上,地球上多半的国民生产总值(它代表着人类积累的财富)都依赖于电磁力。

强核力

强核力为恒星燃烧提供能量,它使群星争辉,产生哺育生命的太阳光。如果强核力突然消失,太阳将一团漆黑,地球上一切生命将会灭亡。事实上,一些科学家认为恐龙灭绝于6500万年前的原因,是一次彗星撞击的碎屑来到高空大气层之中,使地球暗淡无光,引起整个地球温度骤然下降。具有讽刺意味的是,也正是强核力可以一天之间收回它赠予的生命。如果不限制氢弹爆发,强核力就有可能在一天之内结束地球上所有的生命。

弱核力

弱核力控制某些形式的放射性衰变。因为放射性材料在衰变或分裂时发出热,弱核力使地球内部深处的放射性岩石变热。这种热又偶而会使火山把熔岩猛烈地喷向地球表面。弱核力和电磁力还被用来治疗严重的疾病:放射性碘被用来杀死甲状腺肿瘤和抑制某些种类的癌。放射性衰变力也能致死:它在三里岛和切尔诺贝利造成严重的破坏;它也产生放射

性废料——核武器生产和商用核电厂的必然的副产品,这些废料都有可能贻害几百万年。

引 力

引力使地球和行星在各自的轨道上运动,引力也约束整个星系。如果没有地球的引力,地球的自转将使我们像布娃娃一样被抛进太空。我们用以呼吸的空气将快速地扩散到太空中,从而使我们窒息或使地球上无法存在生命。没有太阳的引力,包括地球在内的所有行星将被从太阳系扔到寒冷的太空深处,那里阳光不足,生命无法赖以生存。事实上,没有引力,太阳本身也将爆炸。太阳是引力和核力精确平衡作用的结果,引力企图挤碎太阳,核力却又想将太阳分开。没有引力,太阳将会像千百万亿颗氢弹那样轰然起爆。

现在理论物理的主要挑战是把这四种力统一成一种力。从爱因斯坦开始,20世纪的许多物理学巨人已经寻求,但苦于找不到这样一种统一方案。然而,爱因斯坦一生最后30年没有找到的答案可能就在于超维空间。

寻 求 统 一

爱因斯坦曾说:“自然呈现给我们的仅仅是狮子的尾巴。尽管因为狮子身躯庞大而不能立即展现其自身,我也不会怀疑长着这条尾巴的那头狮子之存在。”³如果爱因斯坦是正确的话,那么可能这四种力就是“狮子的尾巴”,而“狮子”本身就是高维时空。这种思想已经激起人们向往有一天宇宙中的物理规律可以用一个方程来阐释,而这些规律造成的结果则由

充满着图表的书籍布满了图书馆的墙壁。

对于宇宙的这一革命性前瞻的核心,就是认识到更高维的几何可能是统一宇宙中物理规律的最终源泉。简言之,尽管宇宙中的物质和把物质束缚在一起的力以一种使人困惑不解和变化无穷的复杂形式出现,但是它们可能只是超空间上的不同振动而已。然而,这一概念与科学家们的传统思想相抵触,他们把空间和时间视为一个被动的舞台,而恒星和原子是其上面的主角。对于科学家而言,可见的物质宇宙似乎比空无一物而又不能运动的时空这种不可见宇宙舞台更加丰富和变化多端。从历史的角度看,粒子物理方面几乎所有的科学努力以及大量的政府基金都被投入到诸如“夸克”和“胶子”等亚原子粒子的性质上,而不是领悟其几何本质。现在,科学家们正在意识到时间和空间这些“无用”概念可能是大自然之美与简单性的最终源头。

有一种把光解释为在第五维中的振动的新型引力理论,按提出该理论的两科学家的姓氏被命名为卡鲁查-克莱因理论,它是有关高维空间的第一个理论。把它延拓到 N 维空间(这里 N 代表任何整数)之后,原先看起来很笨拙的这个亚原子粒子理论便戏剧性地呈现出一种惊人的对称性。然而,原先的卡鲁查-克莱因理论不能决定 N 的准确值,在描述所有的亚原子粒子时也存在一些技术问题。这个理论更为先进的叙述,即所谓的超引力理论也有问题。近来,在理论上的兴趣是由物理学家格林(Michael Green)和施瓦茨(John Schwarz)在1984年引发的,他们证明了卡鲁查-克莱因理论的最新翻版,即所谓的超弦理论的自治性,这个理论假设所有的物质都由细小的振动弦组成。令人吃惊的是,超弦理论预言了时空

的精确维数：十维。^{*}

十维空间的优点是可以给四种基本力提供“足够的地盘”。此外，我们有一种简单的物理绘景来解释由大型原子对撞机产生的亚原子粒子的杂乱的混合物。过去30年中，物理学家们已经仔细编排和研究了轰击原子中的电子和质子所产生的几百种亚原子粒子。像昆虫捕捉者耐心地给大量昆虫品种命名一样，物理学家时常被这些亚原子粒子的多样性和复杂性所困惑。今天，这令人糊涂的一大堆亚原子粒子可以被解释为只是超空间理论中的振动而已。

穿越时空的旅行

超空间理论重新提出了超维空间是否能用于穿越时间和空间的旅行。为了理解这个概念，想象一下生活在巨大苹果表面的小小的平面虫。显然，对于这些虫子而言它们的世界像它们自己一样是平的和二维的，它们称它们的世界为苹果世界。然而，一个名叫哥伦布(Columbus)的虫子，不断地被苹果世界不知何故在它称之为第三维的某种东西中有限且弯曲的观念所困扰。它发明了上和下两个新词来描述在看不见的第三维中的运动。然而，由于他相信苹果世界会在一些不能看见或感觉到的维数中弯曲，所以他的朋友们称他为傻瓜。有一天，哥伦布开始踏上一个漫长而艰苦的旅程，并且消失在

* 弗罗因德被问及我们何时能够看见这些高维时，他报以一笑。我们不能看见这些高维，乃因为它们“蜷缩”成非常小的球，这些球无法被检测到。按照卡鲁查-克莱因理论，这些蜷缩维的大小叫做普朗克长度⁴，相当于质子的万亿亿分之一，小到用我们最大的原子对撞机也无法探测的地步。高能物理学家曾经指望造价110亿美元的超导超级对撞机(简称SSC)能够间接揭示超维空间的某些线索，但SSC于1993年10月被美国国会所否决。

地平线处。最后,他回到了自己的出发点,证明了苹果世界在看不见的更高的第三维中确实是弯曲的。尽管它的旅行使它疲倦,哥伦布还是发现在苹果上彼此远离的两点之间旅行还有另外一种方法:即通过在苹果上挖掘,他能挖出一条隧道,这就在苹果上远离的两点之间建起了一条便利的近路。哥伦布称这些大大减少长途旅行的时间与不适的隧道为蛀洞。这些隧道证明了两点之间最短的路径不一定是别人告诉它的直线,而是一个蛀洞。

哥伦布发现的一个奇异效应,就是当它进入某个隧道、并且从另一端出去时,他发现自己回到了过去。显然,这些蛀洞连接着苹果上的不同地方,而这些地方的时间却有着不同的节拍。一些虫子甚至声称这些蛀洞能造就一架可以运转的时间机器。

后来,哥伦布又作出了一项更加重大的发现——苹果世界在宇宙中实际上并不是唯一的一个世界。苹果世界只是巨大苹果园中的一个苹果。他发现他的苹果与其他数以百计的苹果并存,一些苹果上有虫子,而另一些没有。他猜想,在某些罕见的情况下,可在苹果园里的不同苹果之间旅行。

我们人类自己就像那些平面虫。常识告诉我们,像平面虫的苹果一样,我们的世界是平坦的三维世界。无论我们跟随我们的火箭飞船走到哪里,宇宙似乎总是平坦的。然而,正如苹果世界那样,我们的宇宙在我们不可见的一维中是弯曲的,这个看不见的维度超出了我们的空间理解力。这一事实已经被大量的精确实验所验证。在光束所经的路径上做的这些实验证明,星光在宇宙中运动时是弯曲的。

多连通的宇宙

早晨,当我们醒来打开窗户让新鲜空气进来时,我们希望看见前面的院子。我们不想面对高耸的埃及金字塔。类似地,当我们打开前门时,希望看见街上的汽车而不是看见有一个阴冷有如月面景色的火山口和死火山。甚至不必考虑,我们就假定我们能安全地打开窗户和门,不会被吓得不知所措。幸运的是,我们的世界不是斯皮尔伯格(Steven Spielberg)的电影。我们做事有一个根深蒂固的偏见(这个偏见永远是正确的),即我们的世界是单连通的,我们的窗户和门不是连接我们的家到遥远宇宙的蛀洞入口。(在通常的空间,套索总是能被收缩到一点。如果套索可以收缩到一点,那么空间就叫单连通的。然而,如果套索绕蛀洞的入口放置,它就不能被收缩到一点,事实上,套索进入了蛀洞。这种套索不可收缩的空间称为多连通的。虽然我们的宇宙在不可见的维度中弯曲已被作过实验测量,但蛀洞的存在性,以及我们宇宙是否是多连通的,却仍然是科学界长期争论的话题。)

自黎曼(Georg Bernhard Riemann)以来的数学家们,研究了由不同的时空域被叠接在一起的多连通空间的性质。那些从前认为多连通空间只是一个智力习题的物理学家,现在正在把多连通世界作为我们宇宙的实际模型而加以研究。这些模型是爱丽丝(Alice)穿衣镜的科学类比。当卡罗尔(Lewis Carroll)的白兔掉到兔子洞里而进入仙境时,它实际上是掉进了一个蛀洞。

用一片纸和一把剪刀就能演示用眼看到的蛀洞。拿一片纸,在它的上面剪两个孔,然后用一根长管重新连接这两个孔(图 1.1)。只要你避开蛀洞而不走进去,那么我们的世界就

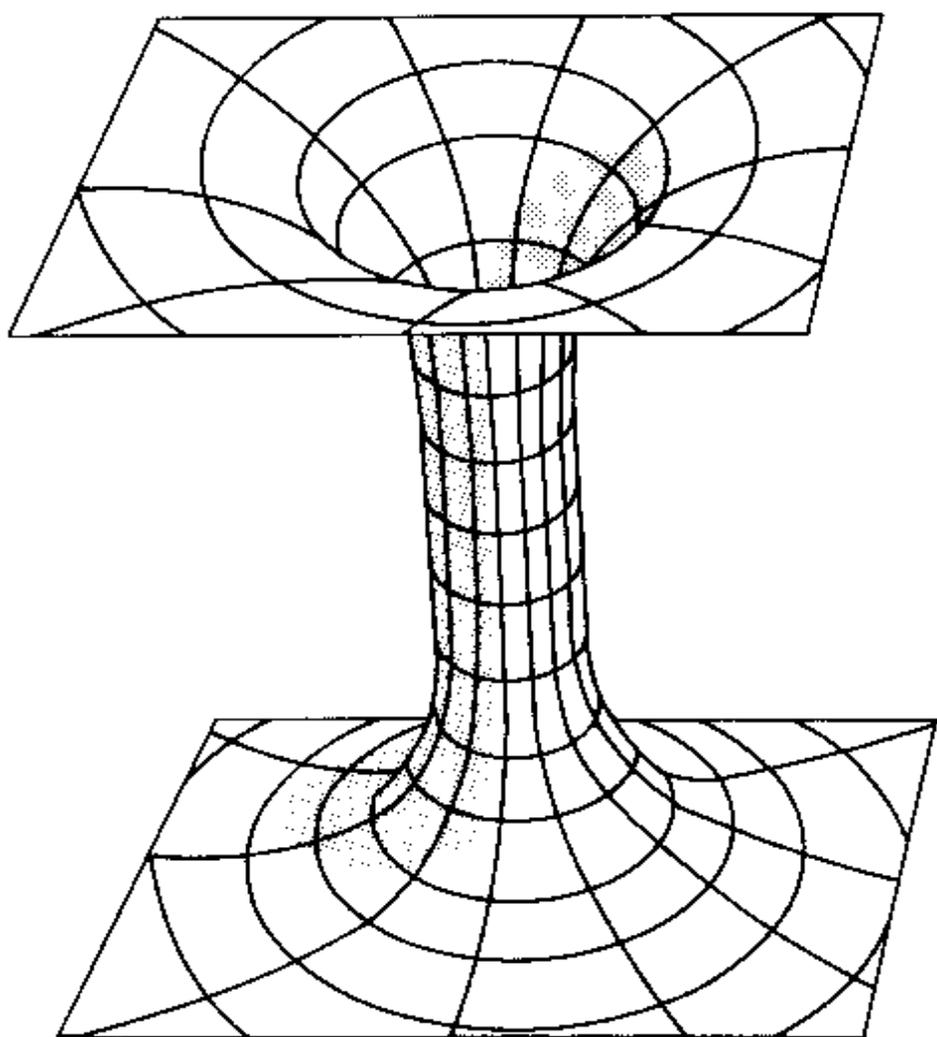


图 1.1 平行宇宙可用两个平行平面来图示。通常,它们彼此间并无相互作用。然而,有时它们之间的蛀洞或管道可能会打通,这就可能在它们之间通信和旅行。这是当今理论物理学家极感兴趣的课题。

似乎完全正常。在学校里教的通常的几何定律是成立的。然而,如果你掉进蛀洞,你就立即被输送到不同的时空域。只有原路返回并且撤离掉进的蛀洞,你才能回到你所熟悉的世界。

时间旅行和婴儿宇宙

虽然蛀洞给人们提供了一个迷人的研究领域,但是或许

从超维空间的讨论中显露出来的最引人入胜的概念,是时间旅行。在电影《回到未来》中,福克斯(Michael J. Fox)的旅程逆着时间倒退,他看见的他的父母亲还是未婚青年。糟糕的是,他的妈妈爱上了他,并且抛弃了他的爸爸。一个棘手的问题出现了:那就是如果他的父母亲从未结婚和生孩子,那他又是怎么出生的。

提出时间旅行问题的科学家们习惯持有—种模糊的主张。因果律(先因后果而不是先果后因)被牢固植根于现代科学的根基之中。然而,在蛀洞物理学方面,“非因果”效应反复出现。事实上,我们必须作出很强的假设,才能防止发生时间旅行。主要的问题是蛀洞不仅可能连接空间的两点,而且也可能把过去和未来连接起来。

1988年,加利福尼亚理工学院的物理学家索恩(Kip Thorne)及其合作者给出了一种非常惊人(和大胆的)说法,他们认为实际上在某些条件下时间旅行不仅有可能、而且很可能发生。他们不是在无名的“花边”杂志,而是在有声望的《物理评论快报》上公开发表他们的主张。这第一次标志着有名的物理学家们,而不是乖僻的狂想者,正在科学地提出改变时间本身的进程的主张。他们的宣言基于蛀洞连接着存在于不同时间的两个域的简单观察。这样,蛀洞可以连接过去和现在。因为通过蛀洞进行旅行几乎是瞬间的事情,所以人们能用蛀洞逆着时间退行。在威尔斯(H. G. Wells)的《时间机器》一书中描述的那架机器,利用—个简单刻度盘的扭曲就能把主人公甩出好几百万年,从而到达英国的遥远未来。和这架机器不同,产生蛀洞可能需要极其巨大的能量,在未来的几个世纪中技术上还不可能做到这一点。

蛀洞物理的另外一个奇妙结果,是在实验室中制造—个“婴孩宇宙”。当然,我们不能重新制造大爆炸和目击我们宇

宙的诞生。然而,对宇宙学作出重大贡献的麻省理工学院的古思(Alan Guth)几年前声称,蛀洞物理学使我们有可能在实验室里创造一个婴儿宇宙。他的见解震惊了许多物理学家。通过给一个小室里集聚强大的热量和能量,蛀洞最终可能打通,这个蛀洞可作为连接我们宇宙和另外一个较小宇宙的脐带。如果可能,当蛀洞在实验室里诞生之后,它就会给科学家们带来一种崭新的宇宙观。

神秘主义者和超维空间

这些概念中有些并不是新的。过去的几个世纪,神学家和哲学家已经推测存在有别的宇宙,而且它们之间有隧道相通。他们久久地迷恋于可能存在着别的世界,这个世界不可用视力和听觉来探测,然而它与我们的宇宙同在。他们被那些可能存在而未探知的冥冥世界所吸引,这些世界甚至可能就近在咫尺,事实上包围着我们并且弥漫于我们所到之处,然而它正好超出了我们的物理理解力,避开了我们的直观感觉。不过,这样的清谈归根到底是无用的,因为没有一种切实可行的方法在数学上表述这些思想,并最终地验证这些思想。

我们的宇宙和别的维度之间的通道也是一个讨人喜欢的文学题材。科幻作家发现高维是星际旅行必不可少的媒介。由于天空中恒星间的距离非常之大,科幻作家们便把高维作为群星间微妙的捷径。火箭不是踏上直接通到其他星系的漫漫长途,而只是借助于它们周围的空间弯曲而沿着超空间一掠而过。例如,在电影《星球大战》中,超维空间是一个避难所,在这里“巡天者”卢克(Luke)能安全地躲避帝国的“帝国星际飞船”。在电视连续剧《星际旅行:深空9》中有个蛀洞,通过近处的一个远程空间站,这样就可以在几秒钟内跨越银河

系中巨大的距离。围绕谁该控制通往银河系中其他地方的枢纽这一关键环节,这个空间站突然间变成了一场星系际剧烈对抗的中心。

自从30年前美国军用鱼雷轰炸机第19飞行大队消失在加勒比海之后,神秘小说作家也把高维作为解决百慕大三角(或叫魔鬼三角)之谜的合适途径。有些人猜测,消失在百慕大三角的那些飞机和船只实际上进入了通往别的世界的航道。

几百年来,存在这些难以捉摸的平行世界,引起了好些宗教猜测。唯灵论者想知道他亡故爱人的灵魂是否飘进另外一维之中。17世纪英国哲学家莫尔(Henry More)认为灵魂和精神确实存在,断言它们是居住在第四维空间中。在《形而上学手册》(1671)中,他坚持认为在我们的触觉之外存在一个冥冥的理想王国,这个王国就是灵魂和精神的家园。

19世纪的神学家们茫然不知天堂和地狱位于何处,他们考虑天堂和地狱是否存在于更高的维数之中。一些人写下宇宙包括三个平行的平面:大地、天堂和地狱。根据神学家威林克(Arthur Willink)的说法,上帝自己可在远离这三个平面的世界中找到自己的归宿,上帝居住在无限维的空间之中。

1870年到1920年间,人们对高维空间的兴趣达到了顶峰,当时“第四维”(它是一个空间维数,不同于我们所熟知的空间第四维)抓住了公众的想象力并且逐渐地渗透于艺术和科学的每一个分支,“第四维”变成奇怪和神秘的代名词。第四维出现在王尔德(Oscar Wilde)、陀思妥耶夫斯基(Fyodor Dostoyevsky)、普鲁斯特(Marcel Proust)、威尔斯和康拉德(Joseph Conrad)这些人的文学作品中。它使斯克里亚宾(Alexander Scriabin)、瓦雷兹(Edgard Varèse)和安泰尔(George Antheil)的某些音乐作品富于灵感。它也使各种各样的名人

着迷,例如心理学家詹姆斯(William James),文学家斯泰因(Gertrude Stein),以及社会主义革命家列宁(Vladimir Lenin)。

第四维也使毕加索(Pablo Picasso)和杜尚(Marcel Duchamp)的作品富于活力,强烈影响了本世纪两次最有影响的艺术运动——立体主义运动和表现主义运动的发展。艺术史学家亨德森(Linda Dalrymple Henderson)写道,“就像一个黑洞,‘第四维’拥有一些甚至连科学家自己都不能完全理解的奇异特性。自1919年以后,‘第四维’的影响竟然比黑洞或其他新提出的科学假设都要广泛得多,只有相对论除外。”⁵

这种否认每一个常识性公理,符合逻辑而又奇异的另一种形式的几何学,同样久久地引起了数学家们的兴趣。例如,任教于牛津大学的数学家道奇森(Charles L. Dodgson),以卡罗尔为笔名写的书,给一代又一代的小学生们带来了欢乐,书中就结合了这些奇妙的数学思想。当艾丽丝掉进兔子洞或者穿过奇镜时,她就进入了仙境,在这奇妙的地方柴郡猫不见了(只留下它们龇牙咧嘴的笑)。具有魔法的蘑菇把小孩们变成一个一个巨人,疯帽匠庆祝“没生日”。镜子把艾丽丝的世界和那一块神奇的土地连接起来,在那块土地上每一个人说的话都是谜语,常识也不再成其为常识。

卡罗尔思想中的一些灵感最有可能来源于19世纪德国大数学家黎曼,他第一次把几何的数学基础置于高维空间。黎曼通过证明这些在常人看来十分奇怪的宇宙完全自洽且符合其内在逻辑,而改变了下一个世纪的数学进程。为了阐明这类思想,请设想一沓纸片,它们一片压在另一片上面。现在我们设想每一片纸代表一整个世界,另一个世界遵守它自己的物理定律,而且不同于别的所有世界的物理规律。那么,我们的宇宙将不再孤独,它将是许多可能的平行世界中的一员。在这些平面中,有些可能居住着智慧生物,它们完全不知道存

在着别的平面。在某片纸上,我们可以有艾丽丝田园式的英国乡村,另一片纸可能是由一些仙境中神秘生物居住的奇妙世界。

通常,生活在这每一个平行平面中的生命是彼此独立的。然而,在很少的场合,这些平面可能贯穿,有那么很短暂的一瞬,扯开空间本身的帷幕,在两个宇宙之间打通一个洞——或一个通道。像出现在《星际旅行:深空9》中的蛀洞一样,这些通道宛如连接两个不同宇宙或同一宇宙中两个不同点的宇宙桥,使得在这些世界中旅行成为可能(图1.2)。毫不奇怪,卡罗尔发现孩子们能比成人更好地展现这种可能,成年人长时间以来对空间和逻辑的成见更加深厚。事实上,像卡罗尔所解释的一样,黎曼的高维理论已经成为儿童文学作品和民间故事的永恒成分,几十年来,诞生了许多的儿童文学经典作品,如多萝茜(Dorothy)的奥兹国,以及彼得·潘(Peter Pan)的理想国。

然而,没有任何实验验证或迫切的物理动机,这些平行世界的理论作为一个科学分支备受冷落。2000多年来,科学家们不时地捡起高维空间的想法,又仅仅因为不可验证而抛弃它。虽然黎曼的高维几何理论从数学的角度引起人们的兴趣,然而它还是被认为是技巧性很强但没有什么用处而不予考虑。在高维理论上甘愿以他们的荣誉冒险的科学家们发现,他们自己正被科学界所嘲笑。高维空间变成了神秘主义者、思想怪诞者以及江湖术士们的最后一个避难所。

在本书中,我们将研究这些早期神秘主义者们的的工作,这主要是因为他们设计了一种灵巧的方法,借助于这个方法,非专业人员可以“设想”高维物体可能是什么样子。在理解高维理论如何能为普通公众领悟这一方面,这些技巧将很有用。

通过研究这些早期神秘主义者们的的工作,我们也可以更

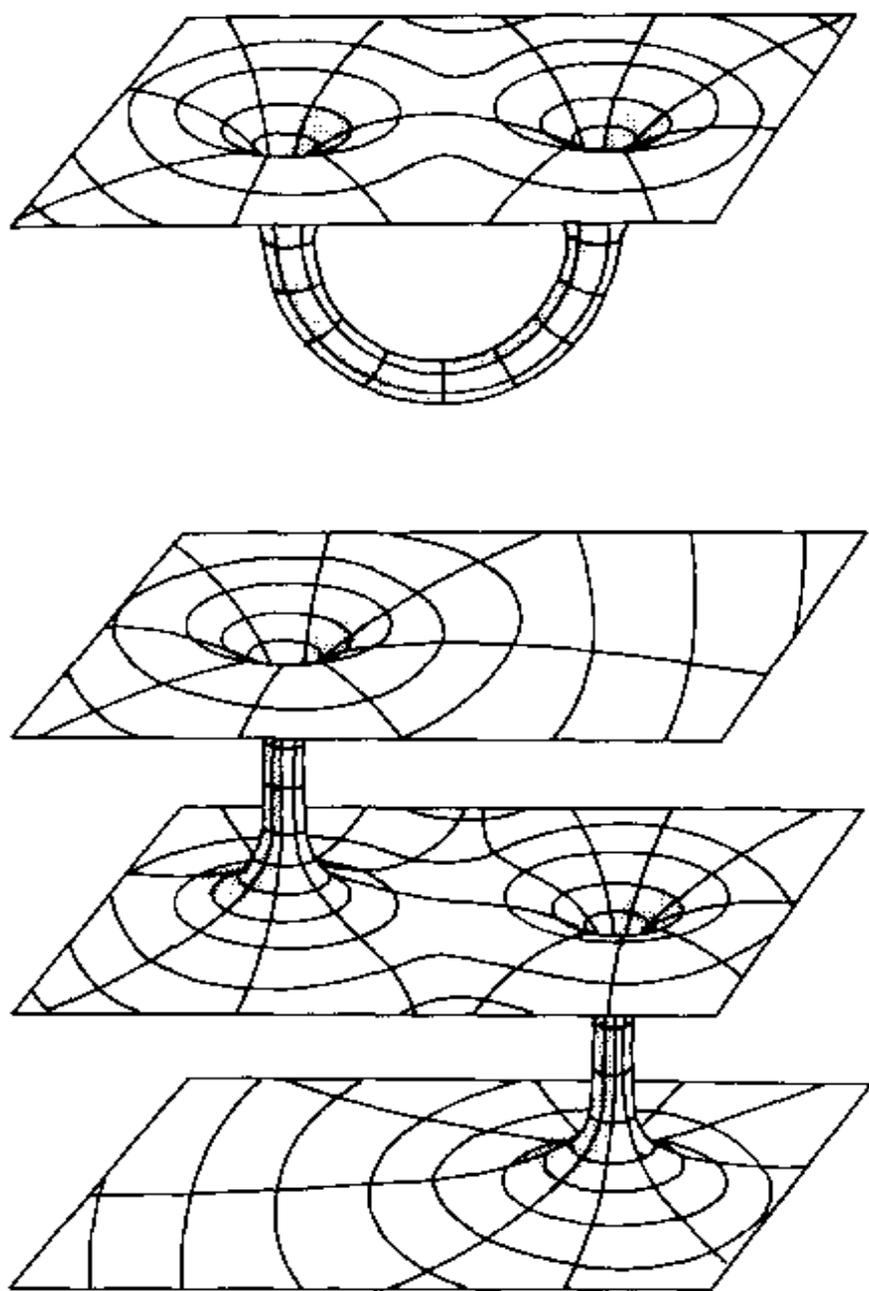


图 1.2 蛙洞可以把宇宙自己连接起来,可能提供一条星际旅行的途径。因为蛙洞可以把两个不同的时代连接起来,蛙洞也可以提供一条时间旅行的途径。蛙洞还可以连接一系列无穷多个平行宇宙。希望是,超维空间理论将能够确定蛙洞究竟是物理上的可能,抑或只是数学上的奇观。

加清楚地看到,在他们的研究工作中哪些内容正在逐渐消失。我们看到他们的猜想缺乏两个重要观念:一个是物理原理,另一个是数学原理。从现代物理角度看,我们现在知道,他们所缺少的物理原理就是超维空间使自然规律简单化,从而提供了用纯几何学方法统一所有自然力的可能性。他们所缺少的数学原理称为场论,它是理论物理学中普遍使用的数学语言。

场论:物理学的语言

场论由 19 世纪英国大科学家法拉第(Michael Faraday)首先引入。作为一个贫穷铁匠的儿子,法拉第是一个自学的天才,他设计了一个关于电磁方面的精巧实验。他用眼睛观测到的那些从电荷和磁体向四面八方发出并且充满整个空间的“力线”像植物伸展开的长长藤蔓。法拉第用他的仪器能够在实验室的任一点测量出这些由电荷和磁体发出的力线的强度。这样他就能确定相应于该点(以及空间任一点)的一系列数字(这些数字代表力的强度和方向)。他把空间任意一点的这些数字总括起来作为单一的实体处理,这就是场。[关于法拉第有一个著名的故事。由于他声名远扬,因此常常有一些好奇者来访。当人们问他的工作有什么用时,他回答道,“一个小孩有什么用呢?那就是他能长大成人。”有一天,当时任财政大臣的格拉德斯通(William Gladstone)在法拉第的实验室里访问了他。格拉德斯通对科学一窍不通,因此他挖苦地问法拉第,他实验室里的这些巨大的电玩意儿可能对英国有什么用途。法拉第回答道:“先生,我不知道这些机器将作何用,但是我相信有朝一日你将收它们的税。”今天,英国的一大部分财富被投入到法拉第的劳动成果之中。]

简单地说,场就是定义在空间每一点的数字的集合。这

些数字完整地描述了所对应空间各点的力。例如,空间每一点的3个数字能描述磁力线的强度和方向。空间各点的另外3个数字能够描述电场。法拉第想到由农夫耕种的“田地”之后就获得了“场”这个概念。农田占有空间的二维区域。在农田的每一点,人们都能标出一系列数字(例如,这些数字描述了田地上相应各点的种子数量)。然而,法拉第的场占有空间的三维区域。在每一点,都有一个由6个数组成的数组来描述这点的磁力线和电力线。

法拉第的场的概念所以具有如此强大的生命力,原因在于:自然界所有的力都能被表述为场的形式。然而,在我们能理解任何力的本质之前,我们还需要另外一个组成成分:即我们必须能建立这些场所遵守的方程。过去100年来在理论物理方面的进展,可以简洁地总结为寻求自然力的场方程。

例如,在19世纪60年代,苏格兰物理学家麦克斯韦建立了电磁场方程。1915年,爱因斯坦发现了引力的场方程。经过无数次错误的尝试之后,利用杨振宁和他的学生米尔斯(R. L. Mills)的早期工作,20世纪70年代亚原子力的场方程最终被建立了。这些场控制着所有的亚原子粒子之间的相互作用。现在这些场被称作为杨-米尔斯场。然而,在本世纪,使物理学家们困惑不解的难题是为什么亚原子的场方程与爱因斯坦的场方程具有如此巨大的差异——为什么核力似乎与引力存在着如此的差异。一些最伟大的物理学头脑处理过这一难题,但结果总是失败。

他们失败的原因或许是落入了常识的俗套。如果限制在三维或四维空间,亚原子世界的场方程与引力就难以统一。超维空间理论的优点,就是杨-米尔斯场、麦克斯韦场以及爱因斯坦场都能被恰当地纳入超维空间场之中。我们看到,这些场就像拼图游戏中的一小块块拼板那样,一起被精确地安置

在超维空间场中。超维空间理论的另一个优点是,它允许我们精确地计算空间和时间构成蛀洞所需的能量。所以,与古人不同,我们在建造机器时有数学工具作指导,也许有朝一日,这些机器会顺乎我们的奇思异想而令时空弯曲。

创生的奥秘

难道这就意味着狩猎者现在可以去中生代组织狩猎巨大的恐龙了吗?不,不是这样。索恩、古思和弗罗因德都将告诉你,研究这些空间反常必须具有的能量远远超过了地球上任何现有事物的能量大小。弗罗因德提醒我们,探测第十维必须具有的能量超过了我们最大的原子对撞机所产生能量的1000万亿倍。

把时空扭成一些结所需的能量,在今后几百年甚至几千年中还无法获得。即使世界上所有国家通力合作制造一个能够探测超维空间的机器,他们最终的结果也还是失败。并且,像古思指出的那样,在实验室里产生婴儿宇宙所必须的温度是1000亿亿亿度,远远超过了我们所能得到的任何温度。事实上,这个温度比恒星内部任何东西的温度都高。因此,虽然爱因斯坦定律和量子理论的定律也许有可能允许时间旅行,但是它却不在像我们这些凡人的能力范围之内。我们几乎不能逃脱我们自己这颗行星微弱的引力场。我们对蛀洞研究的含意大为惊讶的同时,也体会到蛀洞的潜力只能为先进的地外文明所利用。

只有一段时间真能达到如此巨大的能量,那就是宇宙创生的时刻。事实上,我们最大的原子对撞机还不能验证超空间理论的原因是,该理论实际上是有关宇宙创生的理论。只有在大爆炸的时刻,我们才能看到超空间理论发挥的全部威

力。这引起了一种激动人心的可能性,那就是超维空间理论有可能解开宇宙起源的奥秘。

在探索宇宙创生的奥秘方面,引进高维可能至关重要。按照这种理论,在大爆炸之前,我们的宇宙实际上是一个完美的十维宇宙,一个可能实现维际旅行的世界。然而,这个十维世界是不稳定的,它最终“裂”而为二,产生了两个分开的宇宙:一个是四维宇宙,另一个是六维宇宙。我们居住的宇宙就在那个宇宙剧变的时刻诞生了。我们的四维宇宙像爆炸般地膨胀,而它的孪生六维宇宙却在剧烈地收缩,直到它收缩到几乎是无穷小的地步。这可能就解释了大爆炸的起源。如果正确的话,这个理论将证明宇宙的暴胀只是一个更加大得多的宇宙剧烈变动的一次相当次要的余震而已。这次剧烈变动使空间和时间本身开裂了。于是,驱使可观测到的宇宙膨胀的能量,乃是存在于十维空间和时间的坍塌之中。根据这个理论,由于十维空间和时间原初的坍塌,遥远的恒星和星系便以天文速度退离我们而去。

这个理论预言,我们的宇宙仍然有一个侏儒孪生兄弟,一个伴宇宙。它卷曲成一个六维小球,其尺度小得很难被观测到。这个六维宇宙远远不只是我们世界的无用的附属物,它最终可能是我们的救世主。

躲避宇宙之死

常常听说,人类社会唯一不变的东西是死亡和税收。对于宇宙学家而言,唯一确定的是宇宙有朝一日会死亡。有人认为宇宙最终以大坍塌的形式而死亡。引力将使大爆炸产生的宇宙膨胀朝反方向逆转,它把恒星和星系再次拉回到一团原始物质中。随着恒星的收缩,温度将急剧上升,直到宇宙中

所有的物质和能量都集结成一个庞大的火球,它将会摧毁我们所知的这个宇宙。一切形式的生命都将被毁灭。一切都在劫难逃。像达尔文(Charles Darwin)和罗素(Bertrand Russell)那样的科学家和哲学家曾悲哀地写道,我们可怜的生存真是无用。他们知道世界终结之时,我们的文明也必将灭亡。显然,物理学定律已经为宇宙中所有智慧生命开具了最终的、无法更改的死亡证明。

根据哥伦比亚大学已故物理学家范伯格(Gerald Feinberg)的看法,有且仅有一种避免世界末日的希望。他猜测智慧生命经过几十亿年之后最终将能掌握高维空间的秘密,他们能把别的维数作为逃脱大坍塌的紧急出口。在我们宇宙坍塌的最后时刻,我们的姊妹宇宙将再次打开,维际旅行将变成可能。在所有的物质被挤压到世界末日来临之前的最后时刻,这些智慧生命可能会通过隧道进到高维空间,或者进入另一个宇宙之中,以避免我们宇宙的似乎必然的死亡。于是,这些智慧生命有可能从高维空间中的庇护所亲眼目睹坍塌中的宇宙在一场剧烈的大灾变中死亡。随着我们的宇宙家园被挤压得无以辨认,温度将剧烈上升,从而将产生另一次大爆炸。这些智慧生命将从高维空间中的有利地位,对所有科学现象中最稀有的现象,即另一个宇宙与他们的新家园的产生,看得清清楚楚。

超维空间的主宰者

场论证明产生这些不可思议的时空扭曲所必需的能量远远超过了现代文明之所能,这就引起了两个重要的问题:我们的知识和能力正在以指数律的形式增长,我们的文明以这种速度要花多长时间才能达到利用超维空间理论的地步?宇宙

中别的智慧生命又怎么样,是否可能已经达到了利用超维空间理论的地步?

这个讨论使人感兴趣的原因,是那些严肃的科学家们试图对未来的文明进程作出定量的判断;那时空间旅行将成为很平常的事情,邻近的恒星系统或者甚至邻近的星系将被人居住。虽然驾驭超维空间所必须的能量大如天文数字,但是,这些科学家指出下几个世纪中科学仍可能以指数律的形式增长,从而超过人类领悟超维空间的能力。自从第二次世界大战以来,人类科学知识的总量大约每10年到20年就要翻一番,因此,进入21世纪的科学技术可能超越我们的最高期望。现在只能是梦想的技术在下一世纪可能会变得很平常。那时,或许人们就能讨论我们什么时候可能成为超维空间的主宰者这一问题了。

时间旅行,平行宇宙,维数窗口。

就这些概念本身而言,它们处于我们认识物理宇宙的前沿。然而,因为超维空间理论是一种名副其实的场论,我们最终希望它给出一种数量上的答案,来确定这些使人感兴趣的概念是否可能。如果这一理论导致与物理学资料相违的无意义的解答,那么不管其数学形式如何优美,我们都必须抛弃它。在最终的分析中,我们是物理学家而不是哲学家。但是,如果超维空间理论证明是正确的,并且解释了现代物理的各种对称性,那么它将预示着一场可能相当于哥白尼革命或牛顿革命的科学革命。

然而,为了对这些概念有一个直观上的理解,重要的是从头开始。在我们能体会到十维之舒适安逸之前,我们必须学会如何驾驭四个空间维。运用历史上的例子,我们将仔细探究几十年来科学家们所做的种种高明尝试,这些尝试希望对

高维空间给出一种看得见摸得着的表示。所以,本书的第一部分将强调高维空间发现背后的历史,而高维空间的发现最早开始于数学家黎曼。黎曼预料到科学在下一个世纪的发展,首先陈述了他的见解:大自然在高维空间几何学中找到它的天然归宿。

第二章

数学家与神秘主义者

魔术就是十分高超的技术。

——克拉克(Arthur C. Clarke)

1854年6月10日,一种新的几何学诞生了。

黎曼在向德国格丁根大学教员作他的著名讲演时引入了高维理论。这绝妙的一招,像是给一个黑暗而又充满霉味的屋子中送进了温暖的夏日阳光,从而使屋子变得熠熠生辉。黎曼的演讲把世界暴露于高维空间令人眩目的特点面前。

2000多年来,古典希腊几何学的大厦成功地经历了各种怀疑冲击的风风雨雨,终于被黎曼非常重要而又特别优美的短文“论几何基础中的假说”推翻了。旧的欧几里得几何学大厦倒塌之后,新的黎曼几何从它的废墟中崛起。在旧的欧几里得几何中,所有的图形不是二维就是三维。黎曼革命对艺术和科学的未来有着深远的意义。

在黎曼讲演后30年,“神秘的第四维”将在欧洲影响着艺术、哲学和文学的进程。

在黎曼讲演后60年,爱因斯坦用四维黎曼几何解释了宇宙的创生及其演化。

在黎曼讲演后130年,物理学家们企图用十维几何来统一物理宇宙的所有定律。

黎曼工作的核心是使物理定律在高维空间的简化得以实现,这正是本书的主题。

贫困中的辉煌

具有讽刺意味的是,黎曼是一个最不像能在数学和物理思想方面预示如此深刻而又彻底的革命的人。他非常害羞,几乎有点神经质,遭受着经常性的神经衰弱带来的痛苦。他还得了两种伴生的疾患。在整个历史长河中,世界上许多大科学家的生命都毁于这两种疾病:赤贫和肺结核。从他的性格和气质中看不出他作品中表现的惊人大胆、果断和非凡的自信。

黎曼于1826年出生于德国的汉诺威,他是一个贫穷的路德会牧师的儿子,在兄妹六个中排行第二。他的父亲在拿破仑战争中作战过,且作为一个乡村牧师为这个大家庭的衣食而苦苦奋斗。像传记作家贝尔(E. T. Bell)记述的那样:“黎曼家中大多数孩子身体虚弱和夭折,是由于他们青少年时代的营养不良,而不是由于缺乏忍耐能力。他们的母亲也在他们长大成人之前故世。”¹

在很小的时候,黎曼就表现出他的显著特点:令人惊奇的计算能力,胆怯,终身害怕在任何公众场合讲话。他极度害羞,成了别的孩子们无情的笑料,这就使得他进一步退却到了高度个人化的数学世界之中。

他也对他的家庭高度忠诚,竭尽他虚弱身体的全力为父母特别是为他所钟爱的妹妹们买一些礼物。使他父亲高兴的是,黎曼决心成为一个学习神学的学生。他的目标是尽快成为一个挣钱的牧师,从而补贴家用。(我们很难想象比这更难以置信的情况:一个说话张口结舌而又羞怯的男孩,想象他能传达火一样热情的教义,来谴责那些不道德行为和驱逐邪恶。)

在高中,他刻苦学习《圣经》,但是,他的思想总是要飘回到数学中来;他曾经企图给《创世记》的正确性提供一个数学证明。他的学习进步很快,以至于超过了他的老师们所掌握的知识。这些老师发现要赶上这个男孩子是不可能的。最后,学校的校长给了他一本内容冗长的书供他阅读,这本书就是勒让德尔(Adrien-Marie Legendre)的《数论》,一本 859 页的鸿篇巨制,它是当时世界上处理数论难题的最先进的论著。黎曼一口气用 6 天的时间就读完了这本书。

他的校长问他“这本书你看了多少”时,年轻的黎曼回答道,“那无疑是一本奇妙的书,我已经掌握了它的内容。”校长简直不相信这个小伙子的狂言,几个月后,校长问他书中的一些难题,黎曼都给出了完美的回答。²

由于被日常的柴米油盐所困,黎曼的父亲理应让黎曼做一些他力所能及的工作。可是与此相反,他凑集足够的钱送他 19 岁的儿子去久负盛名的格丁根大学,在那里,黎曼第一次见到高斯(Carl Friedrich Gauss)。高斯是人类历史上最伟大的数学家之一,被人们赞誉为“数学王子”。即使是现在,如果你让任何一个数学家列出人类历史上最著名的三个数学家,那么,阿基米德、牛顿以及高斯的名字将会永无变化地出现。

然而,生活对黎曼而言是永无止境的艰难和挫折,他用那虚弱的身体勉强克服了巨大的困难。他的每一次成功之后都伴随着不幸和失败。例如,正当他的命运开始好转,且在高斯的指导下开始正规学习的时候,一场大规模的革命席卷了德国。长期以来遭受非人生活条件的工人阶级起来反抗政府。德国很多城市的工人都拿起了武器。1848 年初的示威运动和起义给另一个德国人马克思(Karl Marx)以创作的灵感。马克思的作品影响了此后 50 年整个欧洲革命运动的进程。

随着席卷整个德国的大动乱,黎曼的学习被中断了。他

被征入学生军,在那里,他花费了令人生厌的 16 个小时保护了一个甚至比他还要胆战心惊的人——国王,从而获得一个值得怀疑的荣誉。当时国王正在柏林的王宫里害怕得发抖,企图躲过工人阶级的狂怒。

超越欧几里得几何学

不仅在德国,而且在整个数学界,一场强劲的革命之风正在猛烈地袭来。吸引黎曼感兴趣的问题是一个权威性的学术堡垒正面临着瓦解,这个学术堡垒就是欧几里得几何学。欧几里得几何学认为空间是三维的,而且这个三维空间是“平坦的”。(在平坦的空间,两点之间最短的距离是直线,这就忽略了空间能被弯曲的可能,如在球面上。)

实际上,在《圣经》之后,欧几里得的《几何原本》可能是最具空前影响的书。2000 年来,西方文明中思想最为敏锐的人们对它的优雅及其几何学之美叹为观止。根据它的原理,欧洲建立了好几千座精美的教堂。回顾起来,可能它太成功了。好多个世纪来,它变成了某种神圣的东西;任何敢于提出弯曲空间和更高维数的人都会被贬为思想怪诞或异教徒。不知经历多少代,学生们致力于欧几里得几何学原理:圆的周长等于它的直径乘以 π ;三角形内角之和为 180 度。然而,尽管尽了最大的努力,几个世纪来最精妙的数学头脑仍不能证明这些貌似简单的命题。事实上,欧洲的数学家们开始意识到,人们持续不变地敬仰了 2300 年的欧几里得《几何原本》是不完整的。如果人们只局限于平坦表面,欧几里得几何仍然能行得通;但是,如果人们进入弯曲表面的世界,那么欧几里得几何学实际上就是错误的。

对于黎曼而言,欧几里得几何学与丰富的世界多样性相

比尤其显得贫瘠。自然界中没有什么地方能使我们看到平坦的、理想化的欧几里得几何图形。山脉、海浪、云彩和漩涡都不是完美的圆形、三角形和正方形,而是以无穷多样的方式表现出的弯弯扭扭的弯曲物体。

革命的时机已经成熟,关键是谁来领导它,用什么来取代旧的几何学?

黎曼几何的出现

黎曼反叛古希腊几何学表面上的数学精确性。他发现,希腊几何学归根到底是建立在常识和直观知识的沙滩上,而不是建立在坚实的逻辑基础之上。

欧几里得说,显然,点根本没有维。线有一维,即长度。平面有二维,即长和宽。立体有三维,即长、宽和高。到此为止。没有什么东西会有四维。这些观点被哲学家亚里士多德(Aristotle)附和着。亚里士多德显然是第一个详细陈述不可能有第四个空间维的人。在《论天》一书中,他写道:“直线由一个方向度量,平面由两个方向度量,立体由三个方向度量。除此之外,别无他物,因为这个三就是一切。”更进一步,公元150年,来自亚历山大的天文学家托勒密(Ptolemy)比亚里士多德更有甚之,他在《论距离》一书中,提供了四维不可能存在的第一个巧妙“证明”。

他说,首先,画三条相互垂直的线。例如,一个立方体的角有三条相互垂直的棱。然后,他论证道,尽力去画一条与这三条线都垂直的第四条线。他推理道,不论怎么努力,四条相互垂直的线是不可能被画出的。托勒密声称第四条垂线“完全不能测量和无法定义”。因而四维是不可能的。

托勒密实际上证明的是,不可能用我们的三维脑筋去想

象第四维。(事实上,现在我们知道数学中的许多物体不能被想象,但能被证明是存在的。)托勒密作为一个反对两大科学思想的人而青史留名。这两大科学思想就是太阳居于中心的太阳系和第四维。

事实上,好几个世纪来,一些数学家肆意公开指责第四维。1685年,数学家沃利斯(John Wallis)反驳第四维的概念,称它是“自然界的怪物,它比狮首羊身蛇尾怪物或者人头马身怪更不可能存在。……长、宽、高占据了整个空间。鬼也不会想象出在这些三维之外怎么还会有第四个局部的维。”³几千年来,数学家们重复着这个简单却又致命的错误:第四维不能存在,因为我们的心智无法描绘它。

所有物理定律的统一

就在高斯让他的学生黎曼准备一个关于“几何基础”的口头报告之时,欧几里得几何学被决定性地突破了。高斯对观察他的学生是否能提出除欧几里得几何学以外的其他方案有着强烈的兴趣。(数十年前,高斯曾私下表示对欧几里得几何学持有深刻而又广泛的保留意见。他曾经向他的同事们说起假想完全生活在二维表面上的“书虫”。他说要把这推广到高维空间的几何学中去。然而,作为一个非常保守的人,由于害怕受到那些心胸狭窄、顽固守旧的卫道士们的迫害,高斯从来没有公开发表过关于高维几何理论的任何作品。他戏谑地称这些守旧者为皮奥夏人,这原是一个智力低下的古希腊部族。⁴)

然而,黎曼害怕了。这个害羞的小伙子害怕在公众面前讲话。他的导师要求他准备一个面向全体教员演讲,它的内容则是19世纪最为困难的数学难题。

接下来好几个月,黎曼痛苦地开始发展高维理论。他竭尽全力地工作着,不良的经济状况使得他的体质进一步变坏。他被迫从事低薪的家教工作来养家糊口。此外,他正在转变自己的研究方向,试图去解释一些物理问题。特别是他正在帮助另外一位教授韦伯(Wilhelm Weber),在一个迷人的新研究领域——电学中做一些实验。

当然,众所周知,电的始祖是火花和闪电。但是,在19世纪初,这个现象变成物理研究的焦点问题。特别是,一根通电导线经过指南针时能使后者偏转,这一发现吸引了物理学界的注意。相反,垂直于磁场运动的金属棒会在导线中感生出电流。(这被称为法拉第定律,今天所有的发电机和变压器——因此大多数现代技术的基础——都以这个定律为基础。)

对于黎曼而言,这个现象表明电和磁是同一种力的某种表现形式。黎曼被这个新的发现所鼓舞,深信他能对此给出一个数学解释,这个解释将把电和磁统一起来。他自己泡在韦伯的实验室,坚信新型的数学将会给出对这些力的全面解释。

现在,一方面他有必须准备一个关于“几何基础”的重要公开演讲的重负,另一方面,他要供养家庭还要做科学实验,最后他病倒了,在1854年,他得了神经衰弱症。后来,他写信给他父亲,“我专注于关于所有物理定律统一的研究,因此,当这个试验性的演讲题目给了我时,我不能停下我的研究。于是,一方面是由于思考这些问题的结果,另一方面是由于在这种恶劣的气候中我在户内停留的时间太长,我就病了。”⁵ 这封信很重要,因为它清楚地表明即使在他生病的几个月中,他仍坚信他将发现“所有物理定律的统一”,而且数学将最终为这种统一铺平道路。

力 = 几何

尽管他常常生病,最终他还是提出一种惊人的“力”的含意的新绘景。自从牛顿开始,科学家们认为力是两个远距离物体之间的瞬时相互作用。物理学家们称它为超距作用,这意味着一个物体能在瞬间影响与它相距甚远的其他物体的运动。牛顿力学毫无疑问能描述行星的运动。然而,好几个世纪来,批评者们坚持认为超距作用是反常的,因为它意味着一个物体即使不碰另外一个物体,它也能改变后者的方向。

黎曼提出一种全新的物理绘景。像高斯的“书虫”一样,黎曼描绘了一个生活在一张纸上的二维动物种族。但是他作出的决定性突破,是把把这些书虫放在一张弄皱的纸上。⁶这些书虫们将会把它们的世界想象成什么呢?黎曼认为,他们仍会推断他们的世界是完全平坦的。因为他们的身体也将被弄皱,这些书虫们从没注意到它们的世界被扭曲了。然而,黎曼指出,如果这些书虫企图在这张皱纸上运动时,它们将觉得有一种神秘的看不见的“力”在阻止它们沿直线运动。每当它们的身体越过纸上的一道皱纹,它们都会被推得左右晃动。

这样,黎曼在牛顿力学 200 年的历史上作出了第一个重要突破。他排除了远距作用原理。对于黎曼而言,“力”是几何的结果。

接着,黎曼用在第四维中被弄皱的我们的三维世界来代替二维的纸。我们的宇宙是弯曲的,这一事实对于我们而言并非显然。然而,我们立即会意识到,当我们企图沿直线行走时,有些事情就会出差错。我们将像醉鬼一样走着,好像有一种看不见的力在拉扯着我们,推得我们左摇右晃。

黎曼推断,电、磁和引力皆由我们的三维宇宙在看不见的

第四维中起皱所致。因此，“力”本身并不存在，它只是几何畸变引起的明显结果。通过引进第四个空间维，黎曼意外地发现自然规律在高维空间中表述时显得简单了，后来这成了现代理论物理学中的一个重要论题。然后，他就着手研究能够表述这种思想的数学语言。

黎曼度规张量： 一种新的毕达哥拉斯定理

黎曼花费了几个月治愈了他的神经衰弱。最后，当他在1854年作他的口头报告时，收到了非常好的反应。回顾起来，毫无疑问这是数学史上最为重要的公开演讲。黎曼突破了统治数学2000多年的欧几里得几何学的演讲很快传遍了整个欧洲所有研究中心，他对数学的贡献博得整个理论界的称道。他的讲演被翻译成好几种语言，且在数学家中产生了相当的轰动。没有什么地方需要回到欧几里得的工作。

像物理学和数学中的许多伟大著作一样，黎曼这篇伟大论文的基本核心并不难理解。黎曼从著名的毕达哥拉斯定理出发，它是古希腊人在数学中最伟大的发现之一。这个定理建立了直角三角形三边长度之间的关系，它表述为直角三角形两条短边的平方和等于最长边即斜边的平方；即若 a 和 b 是两条短边， c 是斜边，则 $a^2 + b^2 = c^2$ 。（当然，毕达哥拉斯定理是所有建筑的基础，地球上的每一个建筑物都以这个定理为基础。）

对于三维空间而言，这个定理很易于被推广。在三维空间中毕达哥拉斯定理可表述为：立方体中相邻三边的平方和等于对角线的平方，故若 a, b 和 c 代表立方体中的三条边， d 是这个立方体对角线的长度，则 $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$ （图 2.1）。

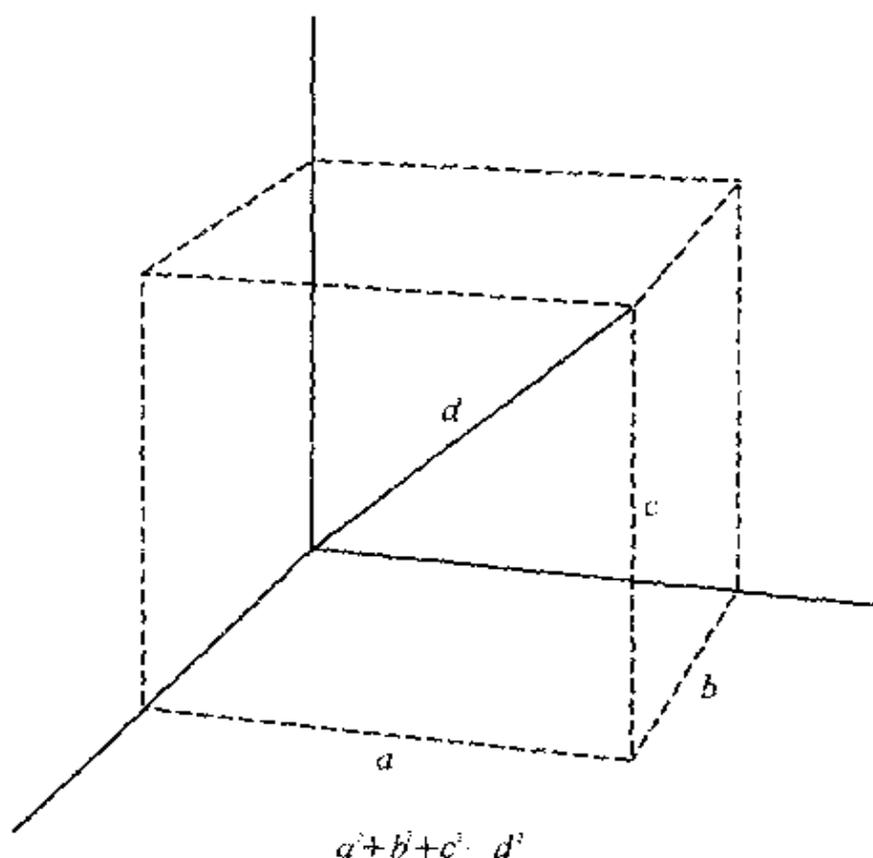


图 2.1 立方体的对角线长度可以由毕达哥拉斯定理的三维形式 $a^2 + b^2 + c^2 = d^2$ 给出。通过简单地给毕达哥拉斯定理加上更多的项, 这个方程很容易推广到 n 维中的超立方体的对角线。因此虽然高维不能被形象化地展现, 但在数学上 n 维却很容易表示。

现在, 把这个定理推广到 n 维情形也很简单。设想一个 n 维立方体, 若 a, b, c, \dots 是这个“超立方体”的边长, 且 z 是这个“超立方体”的对角线长度, 则 $a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots = z^2$ 。显然, 虽然我们头脑中不能想象出一个 n 维立方体, 但是, 却很容易写出关于它的边和对角线的关系的公式。(这是一个在超维空间中工作的普遍特点。从数学的角度考虑, 操纵 n 维空间并不比操纵三维空间更为困难。令人惊奇的是, 在一

张平平的纸上,你能用数学语言描述一个我们的脑子不可形象化的高维客体的性质。)

接着,黎曼把这些方程推广到任意维的空间。这些空间既可以是平坦的,也可以是弯曲的。如果是平坦的,那么欧几里得定理适用:两点之间直线最短,平行线永不相交,三角形三内角之和等于180度。但是黎曼还发现,面可以具有“正曲率”,就像球面那样,这些面上的平行线总会相交,而且三角形的三个内角之和可以超过180度。面也可以有“负曲率”,如马鞍形的或喇叭形的表面。在这些面上,三角形三内角之和小于180度。给出一条直线和直线外的一点,人们可以通过这点作出该直线的无穷多条平行线(图2.2)。

黎曼的目标是从数学上引进一种能够描述所有表面(不管它们有多复杂)的新客体。这必然促使他重新引进法拉第的场的概念。

我们记得,法拉第的场像是农田,后者占据着某个二维空间域。法拉第的场则占有一个三维空间域,在空间任何一点,我们指定一组描述这一点磁力或电力的数。黎曼的思想是在空间的每一点引进一组数,这组数将描述空间在这一点被挠曲或弯曲的程度。

例如,对于一个普通的二维表面,黎曼在每一点引进一组3个数,这个数组就完全描述了该表面的弯曲。黎曼发现,在四维空间,人们需要在每一点引进一组10个数来描述它的性质。无论这个空间被弄皱或扭曲成什么样子,在每一点的每一组10个数已足以表达该空间的所有信息。让我们用记号 $g_{11}, g_{12}, g_{13}, \dots$ 来标记这10个数字。(当分析一个四维空间时,下标可以从1到4变化。)这时,黎曼的10个数字可以像图2.3一样对称地安排。⁷(它看起来好像有16个分量。然而 $g_{12} = g_{21}, g_{13} = g_{31}$,如此等等。因此真正独立的分量只有

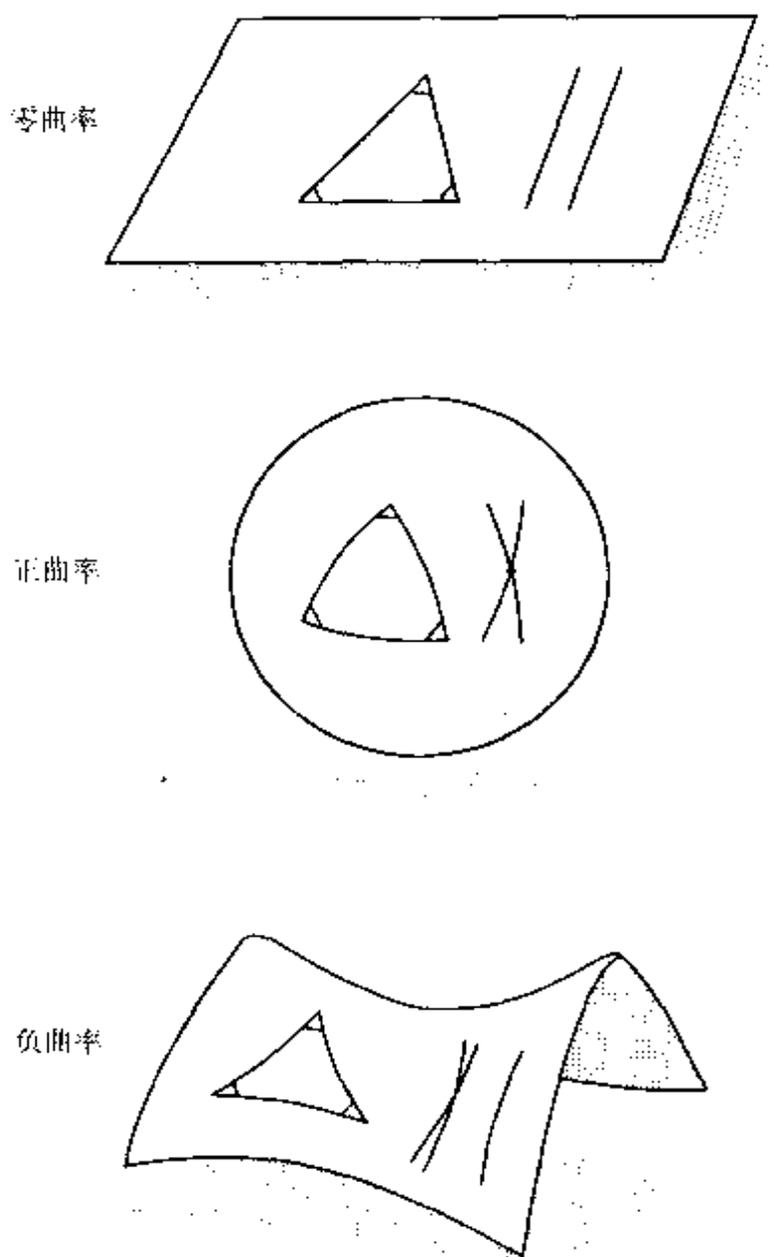


图 2.2 平面有零曲率。在欧几里得几何中,三角形三内角之和为 180 度,平行线从不相交。在非欧几里得几何中,球面有正曲率。三角形三内角之和超过 180 度,两平行线总是相交。(平行线包括中心与球心相合的弧线。这排除了纬线。)马鞍形表面有负曲率,三角形三内角和小于 180 度。过直线外一点可作无穷多条线与它相平行。

$$\begin{pmatrix}
 g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\
 g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\
 g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\
 g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44}
 \end{pmatrix}$$

图 2.3 黎曼的度规张量包含了在数学上描述一个弯曲的 n 维空间所必需的全部信息。在四维空间中每一点的度规张量需要 16 个数来描述。这些数字可以排列成一个正方形(这些数中的 6 个实际上是多余的,因此说度规张量有 10 个独立的数)。

10 个。)现在,这个数组被称为黎曼度规张量。粗略地讲,度规张量的值越大,纸的折皱程度也越大。不管纸被弄皱的程度如何,度规张量给了我们一种测量纸面任何一点曲率的简单方法。如果我们完全展平弄皱的纸,那么我们就又回到了毕达哥拉斯定理。

黎曼的度规张量使他建立了一种强有力的工具来描述具有任意曲率的任何维空间。他惊奇地发现,所有这些空间都能明确定义,而且也很自治。早先人们认为,在研究被禁止的高维世界时,将会出现可怕的矛盾。使黎曼惊奇的是,他发现根本没有任何矛盾。事实上,把黎曼的工作推广到 n 维空间几乎轻而易举。度规张量现在形如一个大小为 $n \times n$ 的象棋棋盘。这在我们下几章讨论所有力的统一时有着深刻的物理

意义。

(我们将看到,统一的秘密在于把黎曼度规扩展到 n 维空间,接着再把它拆成一些矩形块。每一个矩形块与一种不同的力相对应。用这种方法,通过把各种自然力安排成像拼图板块一样的度规张量,我们就能描述它们了。这是高维空间统一了自然规律这一原理的一种数学表述。这个原理也就是在 n 维空间中有“足够的余地”来统一它们。更准确地说,在黎曼度规中有“足够的余地”去统一自然界的力。)

黎曼预见了物理学中的另一个发展。黎曼是首先讨论多连通空间或蛀洞的人。为了想象这一概念,拿两片纸并且把一片放在另一片的上面。在每一片纸上用剪刀剪一个短的切口,然后用胶水把这两张纸沿这两个切口粘贴起来(图 2.4)。(从拓扑学角度讲,此图与图 1.1 是相同的,只是图 2.4 中蛀洞颈部的长度为零而已。)

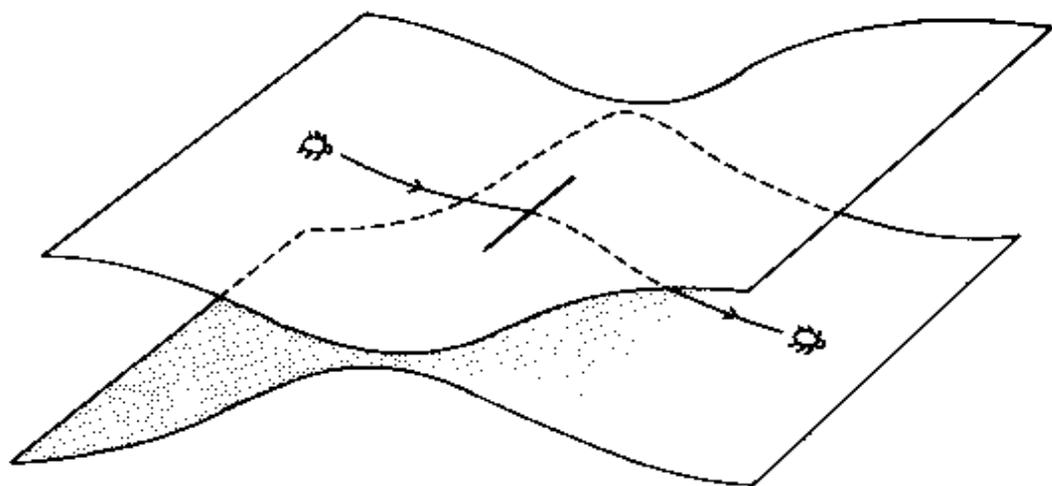


图 2.4 黎曼切口,两张纸沿着一条线粘连起来。如果我们绕开切口走,我们就一直逗留在同一个空间。但是如果我们从切口通过,那么我们就从一张纸走到了另一张纸。这是一个多连通的面。

如果虫子生活在上面这片纸上,有一天它可能偶然进入

切口,并发现自己到了下面那片纸上。由于每件事都不太对头,为此它困惑不解。经过更多的试验之后,虫子将发现它能重新进入切口,从而重新出现在它通常所在的世界中。如果它绕着切口走,那么它的世界看起来还是正常的。但是,当它企图通过切口走捷径,就会发生问题。

黎曼的切口是一个蛀洞的例子(只是该蛀洞的长度为零),这个蛀洞连接了两个空间。黎曼的切口被数学家卡罗尔成功地运用在他的《艾丽丝镜中奇遇记》一书中。黎曼切口把英国和一个仙境连接起来,这个切口是一面镜子。今天,黎曼切口以两种形式存在。首先当它们应用于静电学理论和共形映射时,世界各国的每一部研究生数学教程都会引用它。其次,黎曼切口在“曙暮带”会被找到。(应该强调的是,黎曼自己并没有把他的切口视为在不同宇宙之间旅行的一种方式。)

黎曼的遗产

黎曼一直坚持他在物理学方面的工作。他曾宣布他成功完成了光和电的统一描述。他写道:“我完全相信我的理论是正确的,在不久的将来,它将被公认为确实如此。”⁸ 他的度规张量为他提供了一种描述任意弯曲的任意维空间的有力方法,但是他不知道度规张量所遵循的精确方程,即他不知道什么使纸张起皱。

不幸的是,黎曼解决这些问题的尝试常常受到难熬的贫穷的阻碍。他的成就不能转化成金钱。1857年他又一次得了神经衰弱。多年后,他终于在格丁根大学被任命为高斯曾担任的令人羡慕的职位,但是这太迟了。贫穷的生活损害了他的健康,像历史长河中许多大数学家一样,黎曼在他能完成引力、电和磁的几何理论之前,英年早逝于肺结核,当时他才

39岁。

总之，黎曼的工作不仅仅是给超维空间的数学理论打下了基础，而且远远超过了这些。回顾起来，我们看到黎曼讨论过现代物理中的一些主要课题。特别是：

1. 他用高维空间简化了自然规律；即对他而言，电磁以及引力仅仅是由超维空间的褶皱或弯曲所引起的结果。
2. 他讨论了蛀洞的概念。黎曼切口是多连通空间的最简单范例。
3. 他把引力表述为场。由于度规张量（借助于曲率）描述了空间任一点的引力，因此说当把度规张量用于引力时它就是精确的法拉第场的概念。

黎曼所以不能完成他的关于力场的工作，是因为他缺乏电磁以及引力所遵守的方程。换句话说，他不能精确地知道为了产生引力，宇宙将被怎样弄皱。他企图发现电和磁的场方程，但是在完成这个计划之前他离开了人世。在他死的时候，他仍然没有为描述各种力而必须使空间褶皱多少的计算方法。这些关键性的进展留给了麦克斯韦和爱因斯坦。

生活在空间卷曲中

符咒终于被打破了。

黎曼在他短暂的一生中，解除了2000多年前由欧几里得设置的符咒。黎曼度规张量是年轻数学家们反抗那些嘲笑高维表述的皮奥夏人的武器。那些追随黎曼足迹的人则发现谈论看不见的世界变得更容易了。

不久，研究之花开遍了整个欧洲。杰出的科学家们开始向公众推广这种思想。亥姆霍兹可能是他同时代的人中最著

名的德国物理学家,他深深地被黎曼的工作所影响,并广泛地为公众写作或讲演有关生活在一个球上的智慧生物的数学知识。

根据亥姆霍兹的说法,球面上那些推理能力与我们相似的生物将独立地发现,欧几里得的所有假设和定理都是无用的。例如,在球面上,三角形三内角之和不等于180度。由高斯首先谈到的“书虫们”现在发现他们自己居住在亥姆霍兹的二维球面上。亥姆霍兹写道:“几何定理必须随着那些推理能力与我们一致的生物所居住的空间而变化。”⁹然而,在他的《科学课题普及讲座》(1881年)一书中,亥姆霍兹告诫他的读者说,对于我们而言,形象化地表现第四维是不可能的。事实上,他说到对第四维的“这样一种‘表现’之不可能,就像对生来就盲的人‘表现’颜色一样不可能”。¹⁰

惊讶于黎曼工作之优美的科学家们,企图找出这个有力工具的物理应用。¹¹当一些科学家正在探索高维的应用之时,另外一些科学家却在问一些更实际和平凡的问题,如二维生物怎么吃东西?为了使高斯的二维人吃东西,他们的嘴将不得不对着一边。但是如果我们现在画出他们的消化道,我们注意到这个通道完全把它们的身体一分为二了(图2.5)。这样,如果他们吃东西,他们的身体就将分成两块。事实上,任何一条连接它们身上两个开口的管子都将会把他们的身体分成互不相连的两块。这给了我们一种困难的选择。要么这些人像我们一样吃而他们的身体将分开,要么他们将遵守不同的生物学规律。

不幸的是,黎曼先进的数学超过了19世纪相对落后的物理认识。没有指导人们进一步研究的物理原理。为了使物理学家赶上数学家,我们必须等待又一个世纪。但是这并没有阻碍19世纪科学家们无休止地猜测从第四维中出来的生物

会像什么模样。不久,他们意识到这样一个四维生物几乎具有如神灵般的能力。

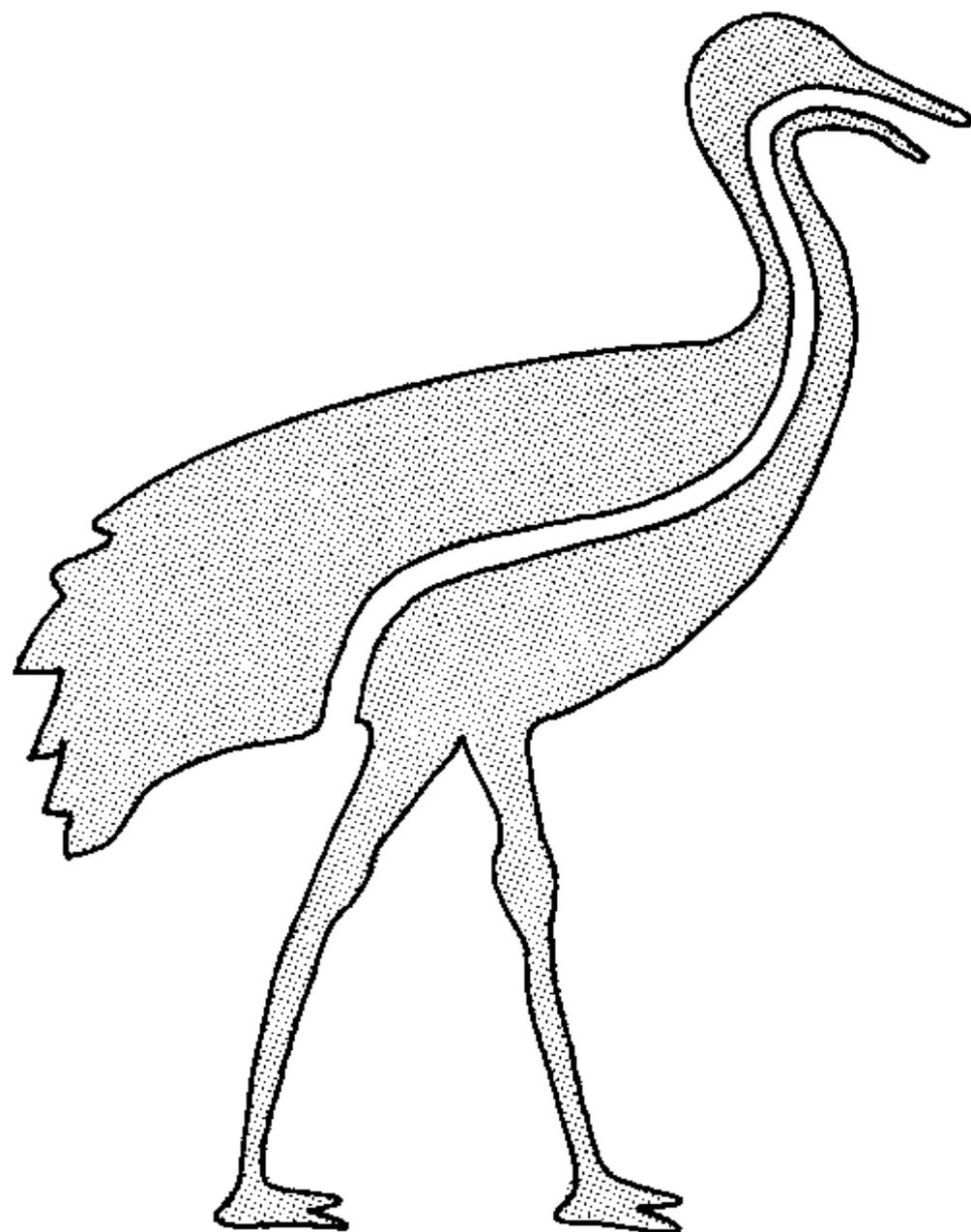


图 2.5 二维生物不能吃。它的消化道一定会把它分成两块,这个生物就完了。

成为神灵

设想人能穿墙而过。

你不必为开门而操心,你能顺利地穿墙而过。你不必绕开各种大楼,你能进入它们的里面经过它们的墙和墙柱最后从后墙出去。你不必迂回高山,你能顺利地走进它们。当饿了的时候,你能不打开冰箱的门而从中轻松地拿出东西。你不会由于偶然的失误而被锁在汽车门外;你能轻松地穿过车门。

设想人能随意地消失和重新出现。那么取代驾车上学或上班的是你刚消失就会出现在你的教室或办公室。你不必乘飞机去遥远的地方,你刚从这里消失就能到达你想到达的地方。在上下班高峰期,你将不必陷在城市交通阻塞之中,你和你的汽车将轻松地消失并且出现在你的目的地。

设想有一双X射线的眼睛,你能看见正发生在远处的事情。在任意消失和出现的事故地点,即使受害者被埋在碎石之下,你也能看到他们的确切所在。

设想不打开一个物体就能进入它的里面。你不必剥或切橘子就能从中取出一片。作为一个主治外科医生你将会大受欢迎,你不切开患者的皮肤就能修复他内部的器官,因此也就大大减少了疼痛和感染的危险。你能直接通过皮肤轻松地进入人的身体并且完成一个棘手的手术。

设想一个具有这些能力的罪犯能干些什么。他能进入戒备森严的银行。他能看穿存放贵重物品和现金的拱顶建筑结实的大门且进入那里把钱物取出来。然后,在卫兵的子弹穿身而过的情况下他能信步溜达出去。有了这些能力,没人能抓住罪犯。

没有什么秘密可不让我们知晓。没有什么金银珠宝可被隐藏。没有什么障碍物可挡得住我们。我们将确确实实是神奇的工人,我们完成的各种技艺超出了人类的理解能力。我们将法力无边。

什么样的人能拥有这种神灵般的能力?回答是:来自于高维世界的人。当然,这些技艺超出了任何一个三维人的能力。对我们而言,墙是实的,监狱的门门是不可打破的。企图穿墙而过只能使我们碰得鼻青脸肿、头破血流。但是对于一个四维人而言,这些技艺将易如反掌。

为了理解这些不可思议的技艺如何能被完成,我们再来考虑一下高斯设想的居住在二维桌面上的二维人。为了监禁一个罪犯,平面国人只需轻松地绕他画一个圆圈。不管罪犯向哪儿移动,他总是要碰到这个不可逾越的圆圈。然而,对于我们而言把这个罪犯从监狱中带出来却是一件很平常的事。我们只需伸一下手,抓起这个平面国人,把他从二维世界中剥下来,重新把他安置在他那个世界的其他地方(图 2.6)。这种在三维世界中十分容易的技艺,在二维世界中却显得奇妙无比。

对于狱吏而言,囚犯突然从防逃监狱中不见了,他消失得无影无踪。接着正如刚才的消失那样,他突然又重新出现在别的地方。如果你对狱吏解释说囚犯被“向上”移动且离开了平面世界,狱吏将不理解你在说些什么。向上这个词在平面国人的词汇中是没有的,他也无法想象出这个概念。

别的技艺也能以类似的方式解释。例如,注意到平面国人的内部器官(如胃或心脏)对于我们而言完全可以看见,这就像我们能看见显微镜载片上的细胞内部组织一样。现在进入平面国人体内,不切开他的皮肤而完成外科手术也是很平常的事情。我们还能把平面国人剥离他的世界,猝然把他一

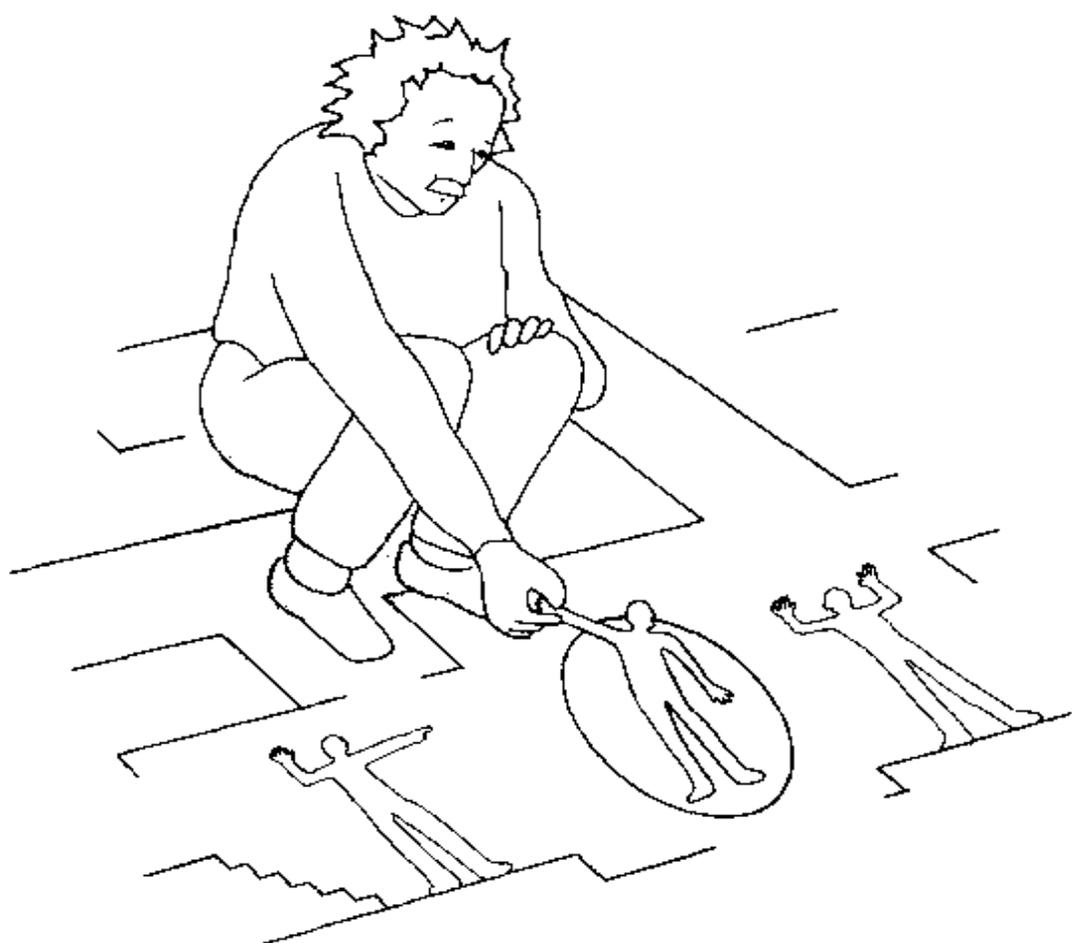


图 2.6 在平面国中，一个“监狱”就是绕人画的一个圈。在二维情况下从这个圈中逃脱是不可能的。然而，一个三维人却能把平面国人从他的监狱中用力拉进第三维。对于狱吏而言，囚犯好像神秘地消失得无影无踪。

掷，使他翻个身。注意他的器官现在被左右颠倒，因此他的心脏是在右边(图 2.7)。

观察平面国人，就会注意到我们神通广大。即使平面国人躲在房子里或者躲在地下，我们也能一目了然。他将认为我们的能力是魔术般地不可思议。然而，我们知道那并不是魔术在起作用，而只是一种更高级的透视。(虽然原则上，这样的“魔术”技艺在超维空间物理王国中是可能的，但是我们应该再次注意到，驾驭时空所必须的技术远远超过了地球上

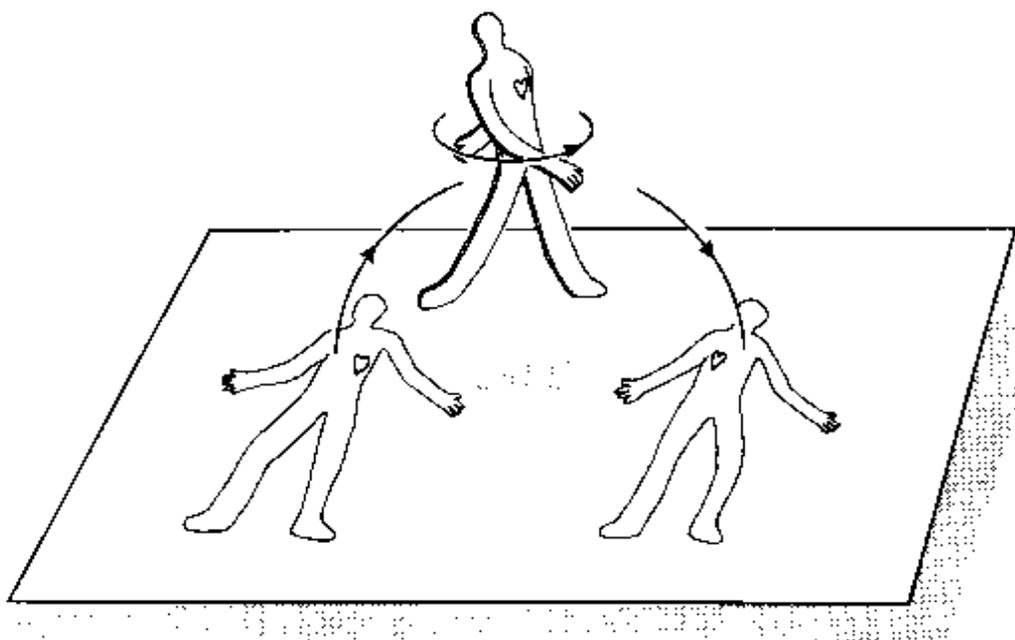


图 2.7 如果我们把平面国人从他的世界剥落,并在三维世界中把他翻转过来,他的心脏现在就出现在右边。他的所有内部器官已经被反转。从医学的角度看对于一个严格地生活在平面世界中的人而言,这种变换是不可能的。

所能拥有的任何技术水平,至少几百年内是如此。驾驭时空有可能在宇宙中某些地外生命的能力范围之内。他们的能力远远高于地球上所能发现的任何事物。他们拥有的技术所能控制的能量,要比我们最强有力的机器产生的能量还大 1000 万亿倍。)

虽然黎曼的著名演讲通过亥姆霍兹和其他许多人的工作而被推广,但是普通公众并不了解其中的含意,或者说二维生物进食习惯的含意。对于普通人而言,问题要更加直截了当:什么样的人能穿墙而过,看透钢材,作出奇迹?什么样的人神通广大并且遵守不同于我们的一套规律?

莫非真有幽灵?当然!

在缺乏任何物理原理激励引进高维的情况下,第四维的理论突然有了意想不到的转变。现在,在超维空间的历史中

我们将开始一次奇怪而重要的巡视,考察它对艺术和哲学的意想不到又非常重要的影响。这种对大众文化的巡视,将表明神秘主义者如何给我们一些聪明方法,而使高维空间“形象化”。

从第四维来的幽灵

1877年,第四维在公众中引起轩然大波。当时伦敦的一场丢人现眼的官司使得第四维在国际社会臭名昭著。

伦敦各大报纸广泛报道了灵媒斯莱德(Henry Slade)耸人听闻的声称和怪异的诉讼。当时一些最著名的物理学家卷入了这场闹哄哄的审判。宣传的结果是,第四维的讨论从抽象数学家们的黑板上蹦进了上流社会,并成了整个伦敦餐桌上的谈资。“臭名昭著的第四维”成了伦敦街谈巷议的话题。

开始是无意的,当时从美国来的灵媒斯莱德访问了伦敦,为闻人名士举行了多次降神会。结果由于行骗而被逮捕,斯莱德被指控“用巧妙的手法和道具,通过手相术和其他方法”欺骗顾客。¹²通常,这场官司可能不被注意地就过去了。但是,一些著名物理学家挺身为他辩护,宣称斯莱德的通灵技艺实际证明他能召集居住在第四维中的灵魂,使伦敦社会遭到了诽谤和嘲笑。这场丑闻被火上加油,因为斯莱德的辩护者们不是普通的英国科学家,而是一些世界级的大物理学家,他们中有几人后来还得了诺贝尔物理学奖。

在惹起这场丑闻的过程中,莱比锡大学的物理学和天文学教授策耳纳(Johann Zöllner)起了主要作用。正是策耳纳率领了一群头面物理学家来为斯莱德辩护。

当然,神秘主义者们为宫廷和上流社会表演一些小把戏,并不新鲜。几个世纪来,神秘主义者们就宣称他们能召来灵

魂阅读封装在信封中的字,把物体从密封的瓶中取出,重新接好掰断的火柴棒,将戒指套在一起。对这场官司最奇怪的曲解是,那些头面物理学家竟宣称通过操纵第四维中的物体有可能实现这些通灵技艺。在此过程中,他们给了公众如何通过第四维来完成这些神奇技艺的先入为主的理解。

策耳纳谋得了一些国际知名物理学家对他的支持,这些物理学家是心灵研究会会员,有的甚至是心灵研究会会长,其中包括 19 世纪物理学界中一些大名鼎鼎的人物:克鲁克斯(William Crookes),阴极射线管的发明人(现在阴极射线管被世界上的每一台电视机和计算机所使用);¹³韦伯,高斯的合作者且是黎曼的指导老师(现在,磁场的国际制单位已被正式称为“韦伯”);汤姆逊(J. J. Thomson),由于发现电子而于 1906 年获得诺贝尔奖;瑞利(Lord Rayleigh),被历史学家公认为 19 世纪末最伟大的经典物理学家之一,1904 年诺贝尔物理学奖得主。

克鲁克斯、韦伯和策耳纳尤其对斯莱德的工作感兴趣,斯莱德最终被法庭判为诈骗罪。然而,斯莱德坚持他能通过在科学家们面前重复他的通灵技艺而证明自己是无辜的。策耳纳受到迷惑,接受了这一挑战。1877 年实施了大量受控实验用来验证斯莱德通过第四维运送物体的本领。策耳纳邀请了好几位著名科学家来评估斯莱德的通灵能力。

首先,斯莱德拿到两个分开的、没有断缝的木质环。他能迫使一个环穿过另一个、使它们不被弄断而缠在一起吗?如果斯莱德成功了,策耳纳写道:它将“代表一个奇迹,即一种直到此前我们的物理概念和生理过程都绝对不能解释的现象”。¹⁴

其次,给斯莱德一个海蜗牛壳,这个蜗牛壳或者是向左扭曲或者是向右扭曲。斯莱德能把向右扭曲的蜗牛壳变成向左

扭曲的吗？反过来也行吗？

第三，给斯莱德一个由干燥的动物肠子制成的封闭绳圈，他能不切断这个绳圈而在其中间打上一个结吗？

斯莱德还受到了诸如此类的各种测试，如一段绳子被打成右手结，它的两端用蜡封好且盖上策耳纳的私人图章。要求斯莱德在不损坏蜡封的情况下打开这个结并把它重新打成左手结。因为结在第四维中总能被解开，所以这种技艺对第四维中的人而言应该易如反掌。斯莱德还被要求把封在瓶中的东西在不打碎瓶子的情况下取出来。

斯莱德能表演这些惊人的本领吗？

第四维中的魔术

如今我们认识到，像斯莱德宣称的操纵高维空间的技术，远远超过了可以预见的将来地球上所能拥有的任何事情。然而，这件臭名昭著的案例令人感兴趣的是，策耳纳正确地得出了这样一个结论，即如果人们能通过第四维稍微移动一下物体，则斯莱德的通灵技艺就能得到解释。这样，由于教学上的原因，策耳纳的实验是非做不可而且值得讨论的。

例如，在三维空间中，分离的环不被折断就不能彼此通过而纠缠在一起。同理，在没有切断绳子之前是不能在封闭绳圈的一小段弧上打结的。任何一个为获得功勋章而奋斗的男童子军或女童子军都知道，绳圈上的纽结是不能被移动的。然而，在高维空间，纽结很容易被解开，环能纠缠在一起。这是因为有“更多的余地”来移动绳子使之彼此穿过，以及移动环圈，使之相互缠结。如果存在第四维，绳和环就能被逸出我们的宇宙，它们缠结在一起，然后重新回到我们的世界。事实上，在第四维中，纽结从来就没有被系住。纽结总是能在不切

断绳子的情况下被解开。这种技艺在三维中是不可能的,然而在第四维中却很平常。正如业已查明的那样,第三维乃是纽结能保持打结的唯一的维。(注释中给出了这个相当意想不到的结果的证明。¹⁵)

同理,在三维中不能把无法改变的左旋物体转换成一个右旋物体。人的心脏生来就在左边,无论现在的技术如何高明,没有哪个外科医生能改变人类内脏器官的位置。正如数学家默比乌斯(August Möbius)在1827年首次指出的那样,只有把我们的身体提离我们的宇宙之外这才有可能:在第四维中翻转身体,然后把它重新嵌入我们的宇宙。图2.8描述了两个这样的小把戏。只有物体能在第四维中移动的情况下这两个小把戏才能实现。

科学界的两极分化

策耳纳在《科学季刊》和《超凡物理学》上宣称,在著名科学家的见证下,斯莱德在降神会上用这些“神奇”技艺使他的观众们大为惊讶。他的言论掀起了一场争论。(然而,有些在受控条件下进行的测试,斯莱德也没做成功)。

策耳纳竭力为斯莱德通灵技艺辩论,轰动了整个伦敦社会。(事实上,这确实是几个大肆宣扬的事件之一,19世纪末的一些唯灵论者和灵媒卷入这些事件中。维多利亚时代的英国特别着迷于这类神秘事情。)科学家以及普通百姓很快地袒护这件事。支持策耳纳声称的,是他圈内(包括韦伯和克鲁克斯在内)的一些久负盛名的科学家。他们不是一般的科学家,而是科学艺术大师和老练的实验观察者。他们毕生都献身于研究自然现象,现在在他们的眼皮底下,斯莱德正在完成一些只有在魂灵居住的第四维中才可能的技艺。

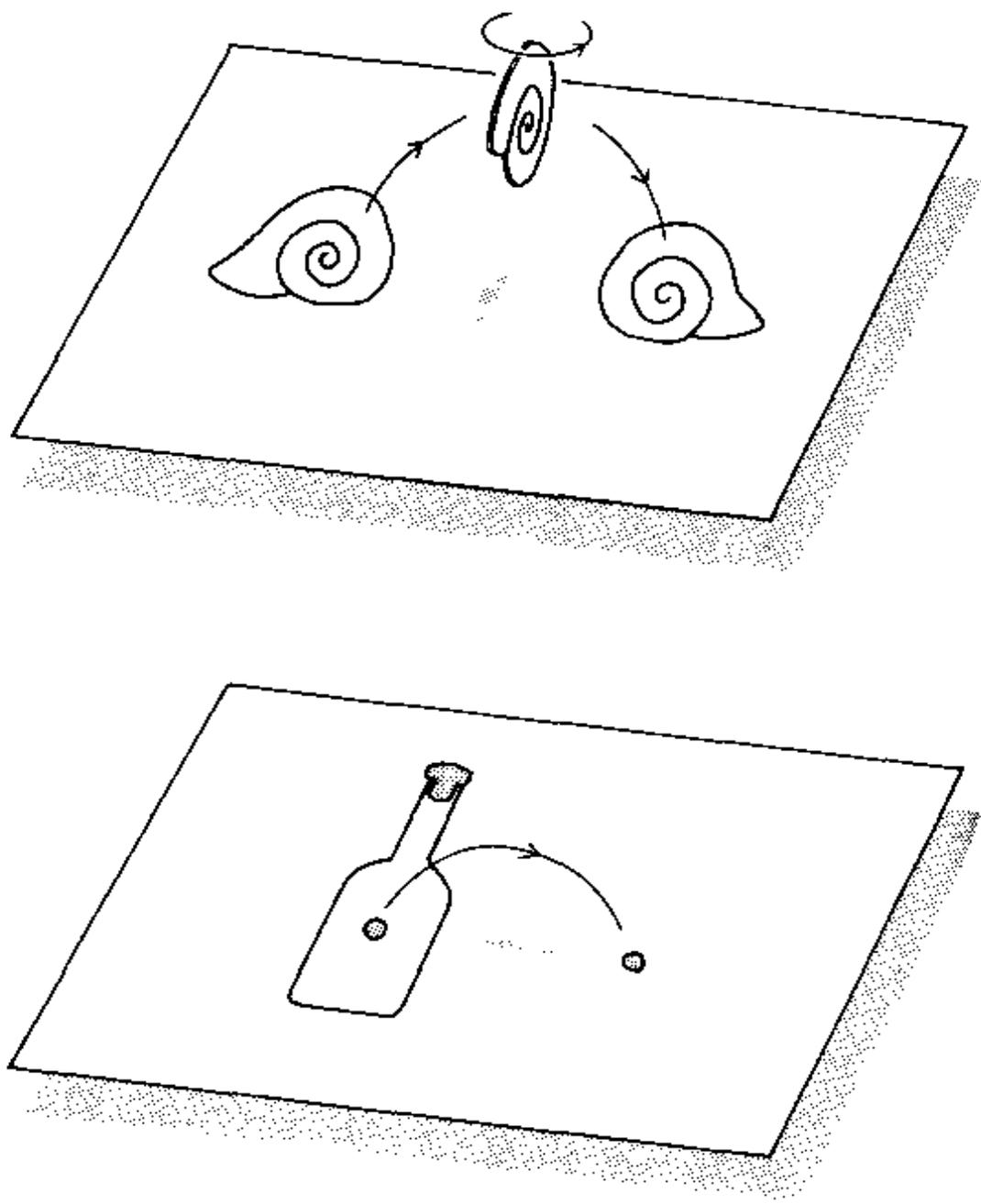


图 2.8 神秘主义者斯莱德宣称能把右旋的蜗牛壳变成左旋的,能把物体从密封的瓶中拿走。这些技艺在三维中是不可能的,但是如果人们能通过第四维来移动物体,这些事情就很平常了。

但是贬损策耳纳的人们指出,科学家是评估魔术师的最差人选,因为他们接受的训练是相信感觉。而魔术师接受的专门训练是转移注意力、遮人耳目以及把这些感觉相混淆。

一个科学家可能专心盯住魔术师的右手,但魔术师却用左手出其不意完成了魔术。批评者们还指出,只有另一个魔术师才能足智多谋地探知同行魔术师的精妙手法。只有贼能抓住贼。

发表在科学季刊《基本原则》上的一篇特别猛烈的批评文章,针对的是另外两位著名物理学家巴雷特(W. F. Barrett)爵士和洛奇(Oliver Lodge)爵士,以及他们对传心术的研究。文章毫不客气地写道:

不必把所谓的传心术当作为无法解释的现象,也不必把巴雷特爵士和洛奇爵士的智力状况当作是白痴。还有第三种可能。信则灵使他们准备接受在一定条件下获得的证据,但如果他们接受过实验心理学方面的训练,他们就会承认这些条件是不健全的。

一个多世纪之后,在围绕以色列通灵人盖勒(Uni Celler)的技艺的争论中,同样的论据再次被赞成和反对双方所引用。盖勒使加利福尼亚斯坦福研究所的两位知名科学家确信,他单用心力就能把钥匙弄弯,并且还能完成别的奇迹。(评论这事时,一些科学家津津乐道罗马人的一句谚语:“想受骗者必受骗。”)

英国科学界盛行的狂热触发了一场激烈的争论,这场争论很快穿越英吉利海峡传了开来。不幸的是,在黎曼死后的几十年内,科学家们忘记了黎曼当初的目标,即通过高维来简化自然规律。结果,高维理论徘徊在许多有趣却问题百出的研究方向上。这是一个重要的教训。没有清楚的物理动机或没有指导性的物理绘景,纯粹的数学概念有时会流于臆想。

然而,这几十年来也没有完全迷失方向,因为像欣顿那样的数学家兼神秘主义者想出了一些很机敏的方法,可以用来“看见”第四维。最终,第四维的广泛影响将经历一个轮回,再次与物理世界交融起来。

第三章

“看见”四维的人

到了 1910 年,四维几乎成为一个家喻户晓的词。……从柏拉图式的理念或康德的实在——或者甚至天堂——对困惑当时科学的所有问题的回答,四维让人人满意。

——亨德森

伴随着“臭名昭著的斯莱德先生”官司所激起的狂热,长期的争论最终酿成一部畅销小说也许是必然的事情。

1884 年,激烈争论的 10 年之后,伦敦公学校长、牧师阿博特(Edwin Abbot)写了一部极其成功而又常销不衰的小说《平面国——正方形在多维中的传奇故事》。^{*} 由于高维强烈的公众感染力,这本书在英国一炮走红,及至 1915 年已连续重印 9 次,如今其版本之多已无法胜数。

小说《平面国》的惊人之处,是阿博特第一次把围绕四维的长期争论作为辛辣社会批评和讽刺的载体。阿博特设法

* 牧师写小说并不令人惊奇,因为英国教会的神学家首先介入了这场轰动官司所产生的争吵。数百年来,牧师巧妙地回避常年不解的问题,如:天堂和地狱在哪里? 天使住在何处? 现在,他们为这些天界事物找到了安身之地——四维。基督教唯灵论者斯科菲尔德(A. T. Schofield)在他 1888 年出版的《彼岸世界》中提出,上帝和神灵住在四维之中。¹ 不必恼火,神学家威林克(Arthur Willink)于 1893 年写就《看不见的世界》,他在书中断言,上帝住在低级的四维中是不相称的,唯有无穷维空间才适合上帝。²

戏谑地抨击那些顽固不化而又虔诚的人,这些人不承认有别的世界的可能性。高斯的“书虫们”变成了一些平面国人。高斯如此害怕的皮奥夏人变成了一些主教,这些主教们将——以西班牙宗教法庭的严酷和公正——来迫害那些胆敢提到看不见的第三维的人。

阿博特的《平面国》是对无法形容的顽固行为和令人窒息的偏见的毫不掩饰的批评,这种行为和偏见流行于维多利亚时代的英国。小说的主人公是正方形先生,一个生活在二维国等级社会中的守旧绅士,二维国的每一个人都是几何体。女人是社会阶层中最低等的,她们只是线条,贵族们是多边形,主教们是圆圈。人们具有的边越多,他们在社会阶层中就越高贵。

讨论第三维是绝对不允许的,凡是提到第三维的人都会被判以严厉的惩罚。正方形先生是一个自满而又自以为公正的人,他从未想向当权派的这种不公正行为提出异议。然而,有一天,当一位神秘的球面勋爵访问了他之后,他的生活就永远颠倒了。球面勋爵是一个三维的球,可是对于正方形先生而言,他却是一个能魔术般地改变大小的圆圈(图 3.1)。

球面勋爵耐心地向正方形先生解释他来自另一个称作为“空间国”的地方,那里所有的物体都有三维。然而,正方形先生仍不相信,他固执地拒绝三维存在的思想。球面勋爵解释失败之后,决定诉诸行动,而不仅仅是语言。后来,他就把正方形先生剥离二维平面国,把他扔进空间国里。正是这次奇妙而几乎是神秘的经历,改变了正方形先生的一生。

像飘荡在风中的一页纸,当扁平的正方形先生飘浮在三维中时,他只能设想出空间国中的二维薄片。由于他看到的只是三维物体的横截面,所以他观察到了一个奇妙的世界。在这个世界中,物体千变万化,来无影去无踪。然而,当他企

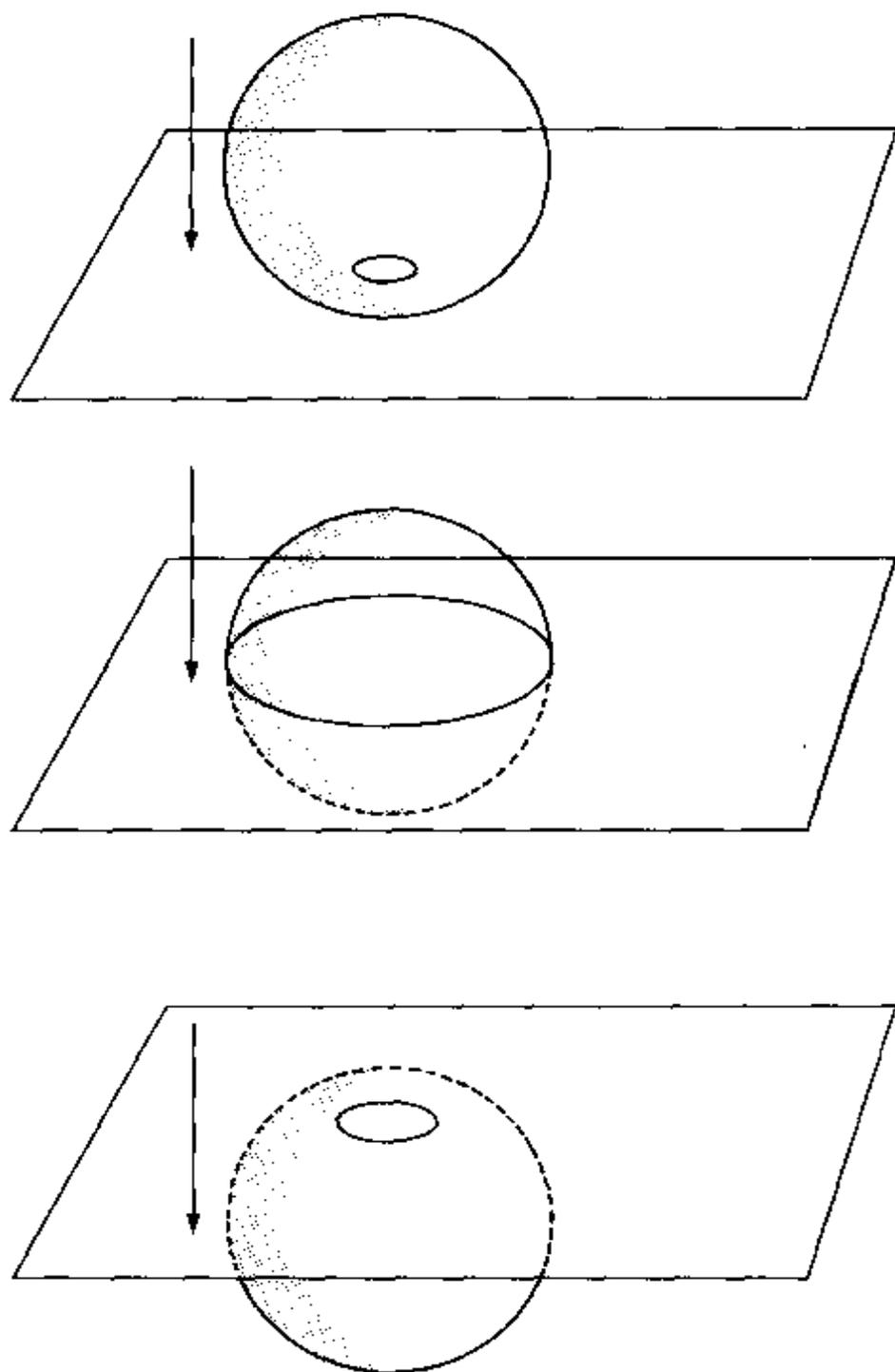


图 3.1 在平面国中,正方形先生遇到球面勋爵。当球面勋爵穿过平面国时,他表现为一个大小连续变化的圆圈。因而,平面国人虽然不能想象出三维生物,但能理解三维生物的横截面。

图把他在游览第三维看到的情景告诉他的同类平面国人时，主教们认为他是一个胡言乱语、煽风点火的狂乱分子。正方形先生成为主教们的一种威胁，因为他胆敢向主教们的权威以及只有二维才能存在那不可冒犯的信条提出挑战。

此书以悲观口吻结束，虽然正方形先生坚信他确实到了空间国的三维世界一游，然而他还是被投进监狱，判处他在孤独的监禁中度过余生。

第四维中的晚宴

阿博特的小说是重要的，因为它是第一部造访高维世界的通俗易懂的大众读物。从数学角度来说，他对正方形先生在空间国中梦幻般旅程的描述是正确的。在通俗讲座和电影中，超维空间各维之间的旅程常常被描绘为明暗闪烁和有着卷曲云层的场景。然而，高维旅行的数学比科幻作家的想象更为有趣。为了设想维际旅行到底像什么，想象把正方形先生从平面国中剥落并且把他掷入空中的过程。当他飘浮过我们的三维世界时，比如说他偶然发现了人类。对于正方形先生而言，我们看起来像什么？

由于他的二维眼睛能看到的只是我们世界的平坦切面，对他而言，人看起来就像是一个非常丑陋而恐怖的物体。首先，他可能看到两个皮圈在他前面盘旋（我们的鞋）。当他飘上去时，这两个圈改变了颜色并且转变成布料（我们的内裤）。然后这两个圈合并成一个圈（我们的腰），接着又分裂成三个布圈而且又一次改变了颜色（我们的衬衫和胳膊）。当他继续往上飘浮时，这三个布圈合并为一个较小的肉圈（我们的颈和头）。最后，这个肉圈变成一团毛发，接着当正方形先生飘过我们的头顶之后，一切都突然消失了。对正方形先生而言，这

些神秘的“人”是可怕而又费解的混杂物的结合体，这些混杂物是一些由皮革、布料、肉和毛发组成的不断变化的圆圈。

类似地，如果我们被剥离我们的三维宇宙且被扔进第四维中，我们将发现常识变得没用了。当我们飘浮通过第四维时，一团团黑乎乎的东西出现在我们的眼前。它们不断改变着颜色、大小和组成，不服从我们三维世界中的所有逻辑规则。它们消失得无影无踪，被别的盘旋着的团块所代替。

如果我们应邀参加第四维中的晚宴，我们将如何区分这些生物？我们将必须通过它们团块变化之差异来辨认它们。高维中的每一个人都有其自身团块变化的特征序列。过一段时间之后，我们将学会靠辨认其团块及颜色的变化方式来辨认它们。在高维空间中参加晚宴可能是一种痛苦的经历。

第四维中的阶级斗争

及至 19 世纪末，第四维的概念已经如此普遍地感染了知识界，以至于剧作家都用它来嘲弄时弊了。1891 年，王尔德写了一个关于这类鬼故事的讽刺剧“坎特维尔的幽灵”，批评和讽刺一个必定会上当的“灵学协会”的“功绩”（毫不掩饰地影射了克鲁克斯的心灵研究会）。王尔德写了一个长期遭受苦难的幽灵，他遇到一个新近到达美国坎特维尔的房客。王尔德写道：“没有明显的消失时间，如此草率地采用空间的第四维作为逃跑的方式，他[幽灵]通过护墙板消失，房子变得平静下来了。”

威尔斯的著作对第四维文学的贡献更大。虽然人们主要由科幻作品而想到他，但他是伦敦社会知识界最有影响的人物，以其文学批评、评论和才华横溢而著称。在 1894 年发表的小说《时间机器》中，他把关于数学、哲学和政治的几个主题

结合起来。他推广了科学中的一种新思想——第四维也许可以看作时间,而不一定是空间:*

显然……任何一个真实物体必定在四个方向上延伸:它一定有长、宽、高,以及——持续时间。但是由于肉体天生的弱点……我们往往会忽略这一事实。确实有四维,其中三维被称为空间的三个方向,还有一个第四维是时间。然而,存在着在前三维和后一维之间划一道并非实在的鸿沟的趋势,因为恰巧我们的意识自始至终沿着这后一方向断断续续地运动着。³

像在它之前的《平面国》一样,使《时间机器》在出版后一个世纪长盛不衰的原因,是它尖锐的政治和社会评论。威尔斯的主角发现,在 802701 年的英国不是实证论者预言的闪烁现代科学奇迹之光的堡垒。与此相反,将来的英国阶级斗争失败了。工人阶级被残忍地强迫居住在地下,直到他们变成了一个新人种——莫洛克;而放纵于声色犬马之中的统治阶级则腐败而发展成为像小精灵似的无用种族——埃洛依。

威尔斯是著名的费边主义社会学家,他是在用第四维展现阶级斗争的极端残酷。穷人和富人之间的社会契约已经十分不稳定。无用的埃洛依的吃饭穿衣由辛勤劳作的莫洛克供给,但是工人得到最后的复仇机会:莫洛克吃掉了埃洛依。换句话说,就马克思主义者对现代社会的批评而言,第四维成了一种陪衬,但是在小说中有一种曲解:工人阶级将不是像马克思预言的那样砸断富人的锁链,而是将吃掉富人。

在短篇小说《普拉特纳的故事》中,威尔斯甚至玩弄了左右易位的佯谬。理学教师普拉特纳(Gotfried Plattner)正在做一个精密的化学实验,但是他的实验爆炸了,冲击波把他送到

* 威尔斯不是第一个推测时间可以视为异于空间维的新型第四维的人。达朗贝尔(Jean d'Alembert)在他 1754 年的文章“维数”中已把时间视作第四维。

了另一个宇宙之中。当他从冥冥世界中返回真实世界之后，他发现他的身体被变成一种奇特的样子：他的心脏现在位于身体的右边，他成了左撇子。为他体检的医生们惊得目瞪口呆，他们发现他的整个身体已经被颠倒。在我们的三维世界，从生物学角度讲这是不可能的。“普拉特纳先生左右边的奇特改变，就是他已经搬出我们的空间进入到第四维且重返我们世界的证明。”然而，普拉特纳反对他死后验尸解剖的想法，从而将“确凿地证明他整个身体的左右边已经倒置”推迟到“也许是无限的将来”。

威尔斯充分意识到可以想象有两种方法将左手物体转换成右手物体。例如，平面国人被抬离他的世界，被突然翻个身然后又被安置到平面国中，因此颠倒了他的器官。或者是平面国人可能生活在默比乌斯带上。这个带是通过把一条纸带扭曲 180 度后用胶水把两端粘在一起制成的。如果一个平面国人沿着默比乌斯带行走完整的一周又回到起点，他就会发现自己的器官已经被倒置了(图 3.2)。默比乌斯带具有其他一些惊人的性质，这些性质使科学家们迷恋了一个多世纪。例如，如果你不断地顺着它的表面走，你将发现它只有一个面。而且，如果你沿着带的中部把它切成两半，带将继续以一条带形式存在，而不会断成两块。这使数学家们写了这样的五行打油诗：

一位数学家向人们倾诉，
默比乌斯带是单面的。
你将开怀大笑：
如果你把它切成两半，
因为它切开之后还是连在一起。

在威尔斯的名著《隐身人》中，他猜想一个人甚至可能通过一些技巧变得看不见，这些技巧涉及“在四维中的一个公

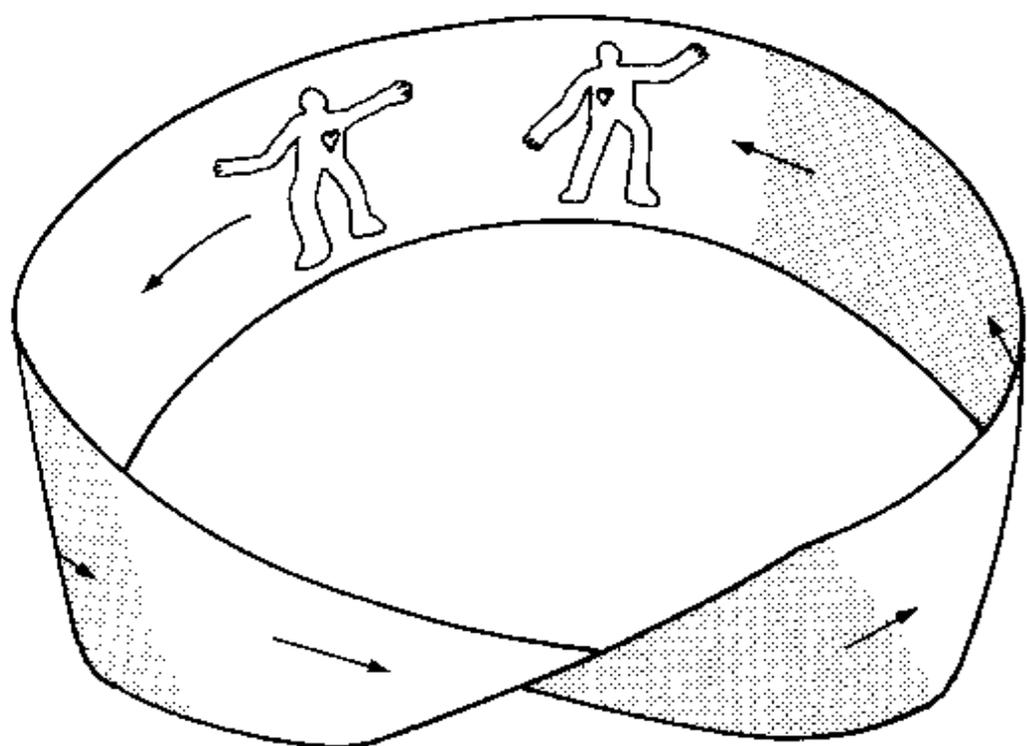


图 3.2 默比乌斯带是只有一个面的带。它的内表面和外表面就是同一个面。如果一个平面国人顺着默比乌斯带漫步,他的内脏器官将被左右倒置。

式,一种几何表述”。威尔斯知道,如果一个平面国人被剥离他的二维宇宙,他就消失了。类似地,如果一个人能设法跳进第四维中,那么他就能变得隐身不见。

在短篇小说《戴维森眼睛的不平常事例》中,威尔斯探究了“空间扭结”可能使人看到很大距离的想法。故事的主角戴维森(Davison)有一天发现他拥有一种使他不得安宁的能力,能看到正发生在远方南海岛屿中的事件。这种“空间扭结”是一种空间弯曲,所以从南海来的光穿越了超维空间进入了身在英国的他的眼中。这样威尔斯就把黎曼的蛀洞用作其科幻故事中的文学构思了。

在《奇妙的访问》中,威尔斯探索了天堂存在于平行世界

或平行维中的可能性。故事情节涉及一个天使偶然从天堂掉落到一个英国乡村而陷入的困境。

威尔斯作品的流行开辟了幻想故事的一种新体裁。数学家卡罗尔的朋友麦克唐纳(George McDonald)也猜想天堂存在于第四维中的可能性。在他写于1895年的幻想小说《夜妖》中,主人公依靠控制镜子的反射而在我们的宇宙和别的世界之间开辟了一个维度窗口。康拉德(Joseph Conrad)和福特(Ford Madox Ford)于1901年写的小说《继承者》中,来自第四维的超人族进入我们的世界,残暴无情地开始接管这个世界。

作为艺术的第四维

从1890年到1910年,被认为是第四维的黄金时代。在这段时间里,源于高斯和黎曼的思想在文学界、先锋派以及公众中间得到了普及,影响着艺术、文学和哲学的发展趋势。一个被称为通神学的新哲学分支就深受高维的影响。

一方面,严肃的科学家们为这种发展感到惋惜,因为黎曼的严格结论在宣传中被放到了很次要的地位。另一方面,第四维的普及也有它的正面效应。它不仅使公众可用的数学取得进步,而且也暗示了更加丰富和互相渗透的文化动向。

艺术史学家亨德森在《现代艺术中的第四维和非欧几里得几何学》一书中详细描述了这一点,指出第四维从根本上影响了艺术界中立体主义和表现主义的发展。她写道:“正是一些立体派艺术家,才使第一种基于新几何学而又首尾连贯的艺术理论得以发展。”⁴对于先锋派而言,第四维标志着对资本主义无节制行为的反叛。他们把第四维视为沉闷的实证主义和庸俗唯物主义抑制了创造性的表现。例如,立体派艺术家反对科学狂热分子们令人难以忍受的狂妄自大。他们认为

这些人使创作过程丧失人性。

先锋派利用第四维作为他们的载体。一方面,第四维把现代科学的界限推向了它们的极限。它比科学家更科学。另一方面,它又是神秘的。炫耀第四维拧了顽固而又自称无所不知的实证哲学家们的鼻子。特别是,这采取了反对透视规则的艺术反叛形式。

中世纪的宗教艺术很有特色,它故意缺乏透视效果。苦役、农民以及国王被描绘得都像是平的,很像孩子们画人的方法。这些画实质上反映了教会的观点:上帝无所不能,故能洞察我们世界的一切。艺术必须反映这个观点,因此世界被画作为二维的。例如,著名的巴约挂毯(图 3.3)画了英格兰国王哈罗德二世的迷信的战士们正在惊恐地指点着,他们猜想1066年4月飞临头顶的不祥彗星乃是面临失败的征兆。(6



图 3.3 巴约挂毯的一段描绘恐惧的英格兰军队指着天空中的奇物(哈雷彗星)。像中世纪的大多数艺术品一样,人物都是平面的。这意味着上帝全知全能,因而图被画成二维的。

个世纪后,这颗彗星被取名为哈雷彗星。)结果,哈罗德在与征服者威廉的关键一仗黑斯廷斯战役中失败,威廉被加冕英国国王,从此掀开了英国历史的新篇章。然而,像中世纪的其他艺术品一样,巴约挂毯把哈罗德士兵的臂和脸都画成了平面,好像有一块玻璃放在他们身上,把他们压到了挂毯上。

文艺复兴的艺术反对这种以上帝为中心的平面透视法,于是以人为中心的艺术繁荣起来,这种艺术从人的视觉出发,画出全景式的实际的三维人。在达·芬奇(Leonardo da Vinci)关于透视法的有力的研究中,我们看到在他的素描中线条都消失在地平线的某一点。文艺复兴的艺术反映了从观察者特有的视点用眼睛观察世界的方式。在米开朗琪罗(Michelangelo)的壁画或达·芬奇的素描书中,我们看到一些勇敢威武的人物,这些人物跃出了第二维。换句话说,文艺复兴艺术发现了第三维(图3.4)。

随着资本主义和机器时代的开始,艺术界反抗似乎支配着工业社会的客观的唯物主义。对于立体派艺术家而言,实证哲学是一个约束,它将我们限制在能进行测量的实验室中,抑制了我们的想象。他们问:为什么艺术非得是客观“现实主义”的?这个“反抗透视法”的立体派艺术家抓住了第四维,因为它从所有可能的透视效果触及着第三维。可以说,立体派艺术拥抱了第四维。

毕加索(Picasso)的画是极佳的例子,它们表明了透视法被完全抛弃,画中妇女们的脸可以同时从多个角度被观看。取代单一视点,毕加索的画表现了能同时看到所有场景的多重透视法,仿佛这些画是由某人从第四维中绘制的(图3.5)。

有一次,毕加索在火车上与一个认出他的陌生人攀谈。陌生人抱怨道:为什么他不能画出一幅恰如人物自己的画呢?为什么他老是扭曲人物的特征呢?毕加索让这个人向他展现

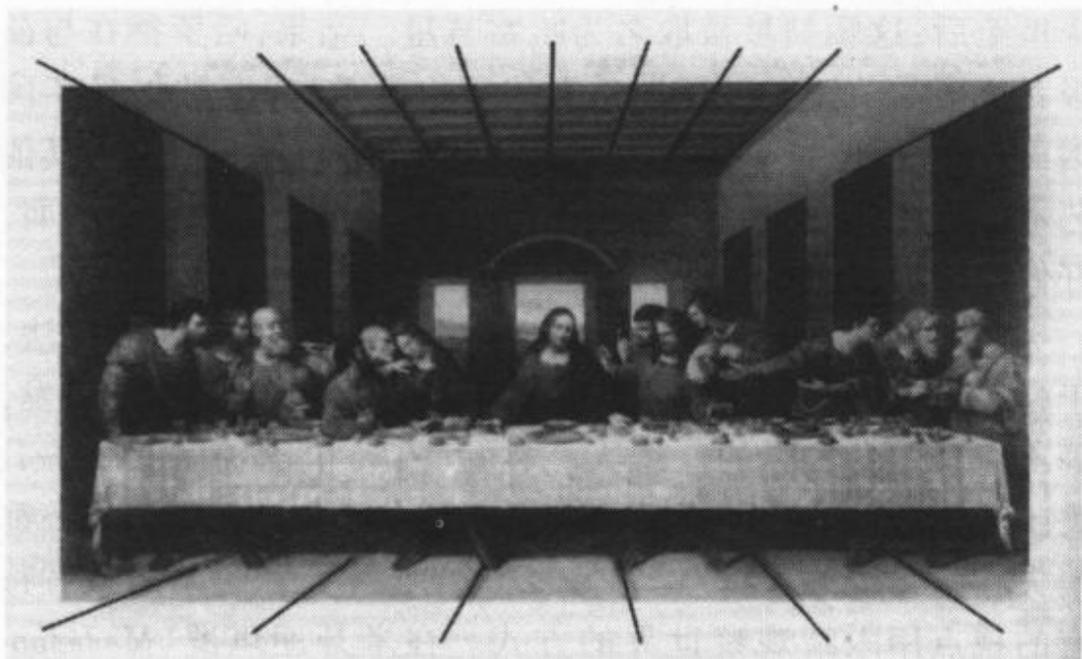


图 3.4 在文艺复兴时期,画家们发现了第三维。画用透视法绘出,且从对单个眼睛有利的地位观看,而不是从上帝的眼睛出发。注意达·芬奇的壁画《最后的晚餐》中的所有线条都汇集于地平线处的某一点。

一下他的全家福照片。毕加索盯了一会照片之后回答道：“噢，你妻子真是那样又小又平吗？”对于毕加索而言，任何一张照片不论它如何“真实”，都与观察者的透视有关。

抽象派画家们不但企图使人们的脸画得好像是由一个四维人画的那样，而且还把时间当作为第四维。在杜尚的画《下楼梯的裸女》中，我们看到一个妇女的模糊身影，因为当她走下楼梯时，整个过程中她的无穷多个像重叠起来。如果时间是第四维的话，这就是一个四维人看人的方式，他一次就可观察到全过程的效果。

1937年，艺术批评家夏皮罗（Mayer Schapiro）总结了新几何学对艺术界的这些影响，他当时写道：“如同非欧几里得几何学的发现给予数学独立于存在这一观点以巨大的刺激一样，这种抽象画切断了艺术模仿的古典思想之根。”或者，像艺



图 3.5 立体派受到第四维的强烈影响。例如,它企图通过一个四维人的眼睛来观察现实。这样的一个人在看人脸时将同时从各个角度来看。因此,两个眼睛立即就被一个四维人看见,就像毕加索画的《多拉·马尔肖像》那样。

术史家亨德森所说的那样：“第四维和非欧几里得几何学出现在统一许多现代艺术和理论的最重要的主题中。”⁵

布尔什维克和第四维

第四维也借助于神秘主义者乌斯片斯基(P. D. Ouspensky)的作品传入沙皇俄国。乌斯片斯基把作品中的神秘物介绍给俄国的知识分子。他的影响非常显著,甚至陀思妥耶夫斯基也让《卡拉马佐夫兄弟》中的主角卡拉马佐夫(Ivan Karamazov)在一场有关上帝存在性的讨论中推测高维和非欧几里得几何的存在性。

由于发生于俄国的历史事件,第四维在布尔什维克革命中起了一种奇特作用。今天,这段不可思议的插曲在科学史中是重要的,因为列宁加入了关于第四维的辩论,这最终将对前苏联的科学施加长达70年之久的巨大影响。⁶(当然,俄国物理学家在发展当今的十维理论中起到了关键性作用。)

沙皇野蛮地镇压了1905年革命之后,在布尔什维克党内出现了一个小宗派,称为“召回派”,或称为“造神派”。他们提出农民未对社会主义做好准备;要使农民做好准备,布尔什维克应该通过宗教和唯灵论来吸引他们。为了支持他们的异端邪说,造神派引证了德国物理学家、哲学家马赫(Ernst Mach)的著作。马赫雄辩地论述了第四维和新发现的物质的非凡性质,即放射性。造神派指出,法国科学家贝克勒尔(Henri Becquerel)于1896年发现的放射性和由玛丽·居里(Marie Curie)发现的镭,在法国和德国的知识界引起了激烈的哲学争论。看起来物质能慢慢地蜕变,能量则能(以辐射的形式)重新出现。

毫无疑问,关于辐射的新实验表明牛顿物理学的基石正

在崩溃。被古希腊人认为永恒不变的物质,正在我们的眼前蜕变。铀和镭正在实验室发生着突变,它们搅乱了已为人们接受的想法。对于某些人,马赫是一个把他们领出荒原的先导者。然而,他指错了方向,拒绝唯物主义,而宣称时间和空间是我们感觉的产物。他徒劳地写道:“我希望没有人会用我在这个问题上所说的和所写的东西替任何鬼神之说辩护。”⁷

分裂在布尔什维克内产生。他们的领袖列宁感到惊骇。妖魔鬼怪与社会主义能相容吗?1908年他流放在日内瓦时,写了一部哲学巨著《唯物主义和经验批判主义》,捍卫辩证唯物主义,使它不受神秘主义和形而上学的攻击。对列宁而言,物质和能量的神秘消失并不能证明灵魂的存在。他指出,这意味着取而代之的一种新辩证法正在出现,它既包含了物质又包含了能量。物质和能量不再像牛顿那样被认为是分离的实体。现在它们必须被看作辩证统一的一个方面。需要有一种新的守恒定律。(列宁当时不知道在3年前,即1905年,爱因斯坦已经提出了这个正确的原理。)此外,列宁对马赫轻信第四维提出了质疑。首先,列宁称赞马赫“提出了设想出来的 n 维空间这个十分重要而有用的问题”。接着他责备马赫没有强调只有三维空间才能被实验证明。列宁写道,数学可以探索第四维和可能存在的世界,这是件好事,但是沙皇却只能在第三维中被推翻!⁸

列宁战斗在第四维和新的辐射理论的战场上,他要把召回派从布尔什维克党中清除出去还需一些年头。然而,在1917年十月革命爆发前不久,他赢得了这场战斗的胜利。

重婚犯和第四维

最后,第四维的思想跨越了大西洋来到了美国。他们的

信使是一位很有特色的英国数学家查尔斯·欣顿。1905年，正当爱因斯坦在瑞士专利局的办公桌上操劳，在发现相对论定律之际，欣顿则在华盛顿的美国专利局工作。尽管他们可能从未谋面，但是他们走的路却在几个有趣的地方交汇起来。

欣顿终生迷恋于使第四维变得通俗化和形象化。他应该作为“看见”第四维的人而被载入科学史册。

欣顿是詹姆斯·欣顿(James Hinton)的儿子。詹姆斯·欣顿是著名的英国自由派耳外科医生，多年来，有个人魅力的老欣顿逐渐成为一个宗教哲学家，一个公开鼓吹自由恋爱和一夫多妻制的直率倡导者，最后是英格兰的一个有影响的教派的首领。他被一群极其忠诚和虔诚的自然神论信徒所簇拥。他的名言之一是：“基督是男人的救星，但我是女人的救星，我毫不妒忌他！”⁹

然而，他的儿子查尔斯似乎注定要过一种体面而又令人厌烦的数学家的生活。他没有被一夫多妻所迷惑，而是迷恋于多边形！1877年从牛津毕业之后，他成为阿平厄姆学院受人尊重的教师，同时他又在攻读数学硕士学位。在牛津，欣顿开始设想如何使第四维形象化。作为一名数学老师，他知道人无法想象作为整体的四维物体。然而，他断定人有可能形象地表示一个四维物体的截面。

欣顿在通俗报刊上发表他的观点。他给《都柏林大学杂志》和《切尔特南女子学院杂志》写了一篇有影响力的文章“什么是第四维？”。1884年再版时加上了一个诱人的副标题“解释幽灵”。

然而，欣顿安逸的学院生活由于一件坏事而于1885年发生了急剧转变，当时他由于重婚而被捕，而且被安排受审。早先，欣顿与玛丽·布尔(Mary Everest Boole)结婚，她是他父亲圈中一名成员的女儿，大数学家乔治·布尔(George Boole, 布尔代

数的创始人)的遗孀。然而,他还是--对双胞胎的父亲,这对双胞胎是由莫德·韦尔登(Maude Weldon)所生。

阿平厄姆学院院长注意到了欣顿的妻子玛丽和他的情妇莫德,他以为莫德是欣顿的妹妹。对于欣顿而言,在犯下与莫德结婚的错误之前,一切都很好。当院长知道他是一个重婚犯时,此事便引起了公愤。欣顿立即被阿平厄姆学院解雇,并且由于重婚而受审判。他被监禁了3天,但是玛丽·欣顿坚持拒绝指控,他们一起离开英国来到美国。

欣顿被普林斯顿大学数学系聘为--名讲师。在这里,他在发明棒球机时,暂时将对第四维的迷恋放到了一边。普林斯顿棒球队得益于他的机器,这种机器发射的棒球速度高达每小时110千米。今天,在世界上每一个主要的棒球场上仍能看到欣顿这项发明的后代。

欣顿最终还是被普林斯顿解雇了。但是,他通过美国海军天文台台长的影响,在该台谋得了一份工作。这位台长是第四维的热诚倡导者。后来于1902年,他又在华盛顿的专利局找到了工作。

欣顿立方体

欣顿费了好多年研究--种灵巧的方法,不仅专业数学家,而且那些普通百姓和不断增加的第四维的拥护者都能用它来“看见”四维物体。最终,他制成--种特殊的立方体,如果有人努力尝试,那么这个立方体就可使他想象出超立方体或四维立方体。这些立方体最后被称为欣顿立方体。欣顿曾给某种被拆解的超立方体起了--个正式的名字——超正方体,最终它进入了英语。

欣顿立方体在妇女杂志上被大肆宣扬。这些立方体也曾

被用在降神会上,在降神会上它们成为不可思议的重要物体。据上流社会人士宣称,通过调制欣顿立方体,你能瞥见第四维,因此也能看见幽灵的冥冥世界和你亡故的亲人。他的信徒们花费几小时注视和调制这些立方体,直到他们能获得用意念通过第四维将这些立方体重新安排和组合成为一个超立方体的能力。据说,能够完成这些意念技艺的人将能达到涅槃的最高境界。

作为一种类比,拿一个三维立方体。虽然平面国人不能想象整个立方体,但是对我们而言在三维中拆解立方体是可能的,这样我们就有了一组共6个构成十字状的正方形。当然,平面国人不能把这些正方形重新组成一个立方体。在第二维中,每两个正方形的接合处是僵硬而不能移动的。然而,这些接合处在第三维易于弯曲。目击这件事的平面国人将看到,正方形消失了,在他们的宇宙中只留下了一个正方形(图3.6)。

同样,四维中的超立方体无法形象化地表现。但是人们能把超立方体拆解成较低维的组成成分,它们是普通的三维立方体。这些立方体又可以被安排成某种三维的十字形——超正方体。对于我们而言,不可能想象如何缠卷这些立方体,从而使之构成超立方体。然而,一个高维人却能把每一个立方体“提离”我们的宇宙,然后把它们缠卷成超立方体。(我们的三维眼睛目击这一惊人事件,将看到别的立方体消失了,在我们的宇宙中只留下一个立方体。)欣顿的影响如此广泛,以至于达利(Salvatore Dali)把欣顿的超正方体用在他的著名油画《基督的超立方体》中,这幅画被展览在纽约都市艺术博物馆里,它描绘了基督被钉在四维的十字架上(图3.7)。

欣顿还知道想象高维物体的第二种方法,那就是观看高维物体在低维中的投影。例如,平面国人能通过看立方体的

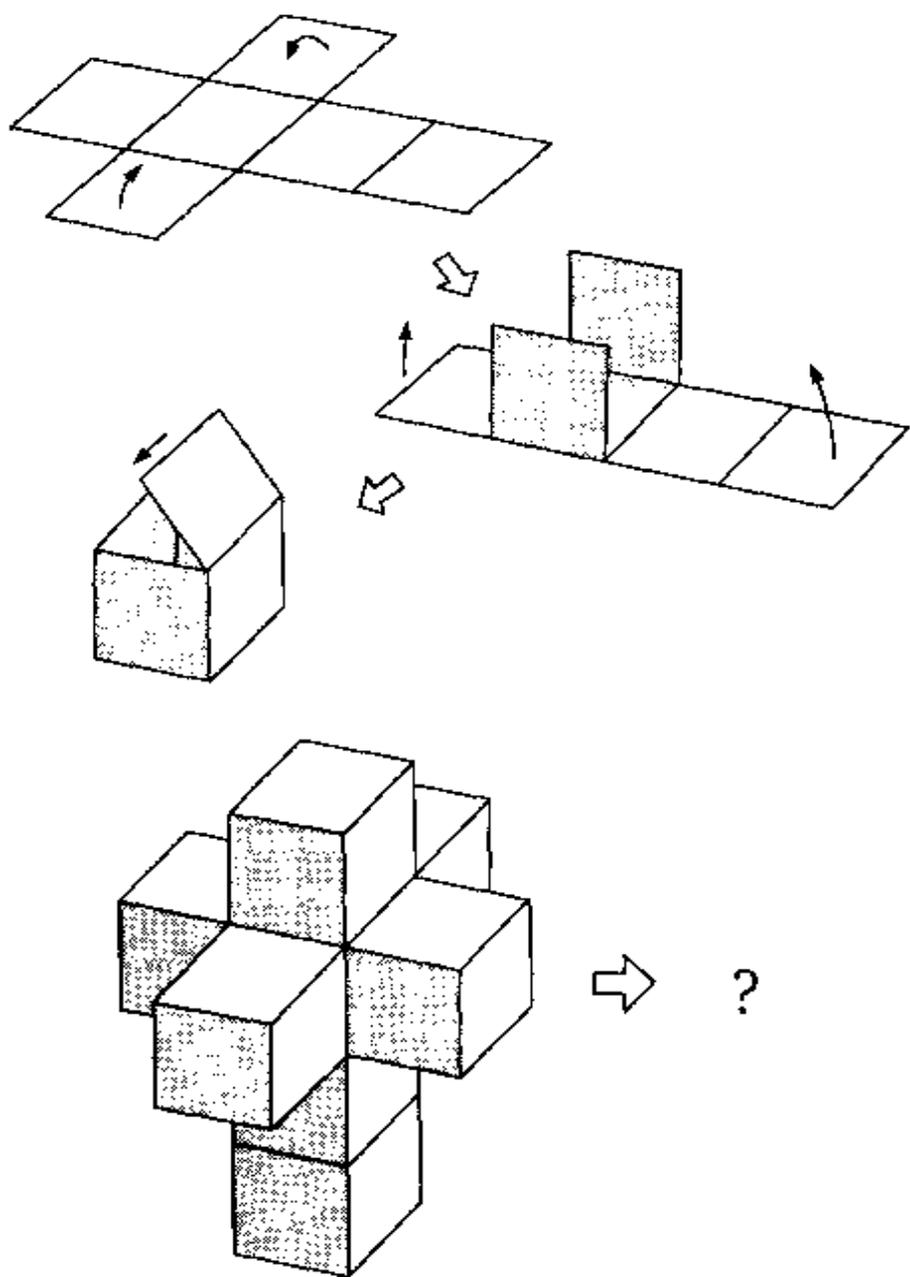


图 3.6 平面国人不能想象立方体,但是他们能通过拆解一个三维立方体而形成这一概念。对于平面国人,一个立方体被展开之后,与十字形相似,它包含有 6 个正方形。类似地,我们无法使一个四维超立方体形象化,但是如果我们打开它,我们就有了一组立方体,它们排成十字状的超正方体。尽管组成一个超正方体的诸立方体看来是不能运动的,但是一个四维人却能把这些立方体“装配”成一个超立方体。

二维影子来想象它。立方体看起来像连接在一起的两个正方形。同理,投影在第三维中的超立方体的影子是一个立方体

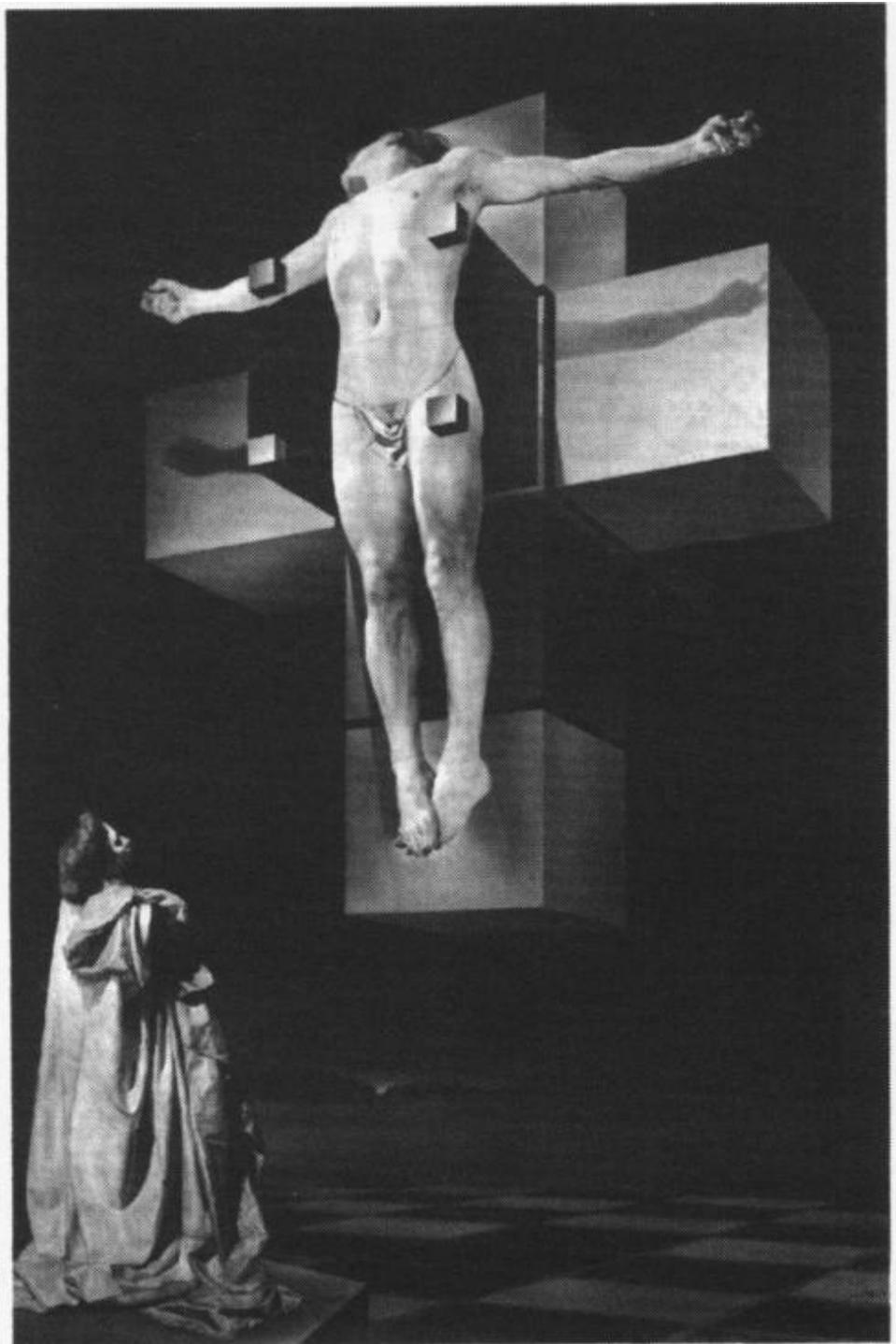


图 3.7 在《基督的超立方体》中,达利描绘了被钉在一个超正方体上的基督;超正方体则是一个被拆解的超立方体。

中套着另一个立方体(图 3.8)。

除了想象超立方体的拆解和考察它们的影子外,欣顿意识到建立第四维概念的第三种方法,那就是通过看截面。例如,当正方形先生被送进第三维时,他的眼睛只能看到第三维的二维截面。这样他只能看到一些圆出现、变大和改变颜色,接着突然消失。如果正方形先生向前走过一个苹果,他将看到突然间出现了一个红色的圆,它逐渐变大,然后又变小,接着变成一个很小的棕色圈(茎),最后消失。同样,欣顿知道如果我们被投进第四维中,我们将看到不知从何处突然出现一个奇异的物体,它变大,变色,变形,变小,最后消失。

总之,欣顿的贡献可能是用了三种方法使高维图形通俗化,即考察它们的影子,查看它们的截面,以及观看它们拆解的结果。即使现在,这三种方法仍是专业数学家和物理学家在工作中使高维物体概念化的主要方法。这些科学家的图表出现在当今的物理杂志上,他们应该深深感谢欣顿的工作。

关于第四维的竞赛

在欣顿的文章中,他回答了所有可能提出的问题。当人们让他给第四维起名时,他答道,阿纳和卡塔两词描述了第四维中的运动,他们与名词上和下或左和右的意思相当。当问第四维在哪儿时,他也有一个现成的回答。

现在,考虑一间密闭的屋子中香烟烟尘的运动。根据热力学定律,因为烟尘原子扩散到房子中所有可能到达的地方,我们能确定是否有一些三维空间区域,其中没有烟分子。然而,实验观察表明并没有这样的隐秘区域。所以说,只有当空间第四维的线度比烟尘粒子的线度小时,空间第四维才是可能的。于是,如果第四维确实存在,那么它一定非常之小,甚

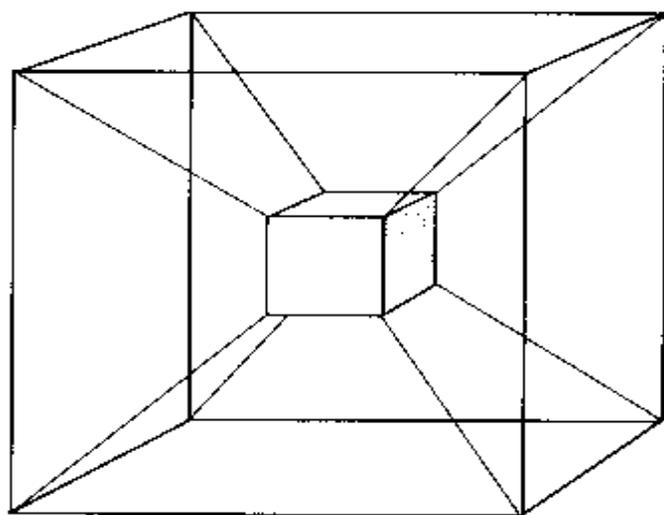
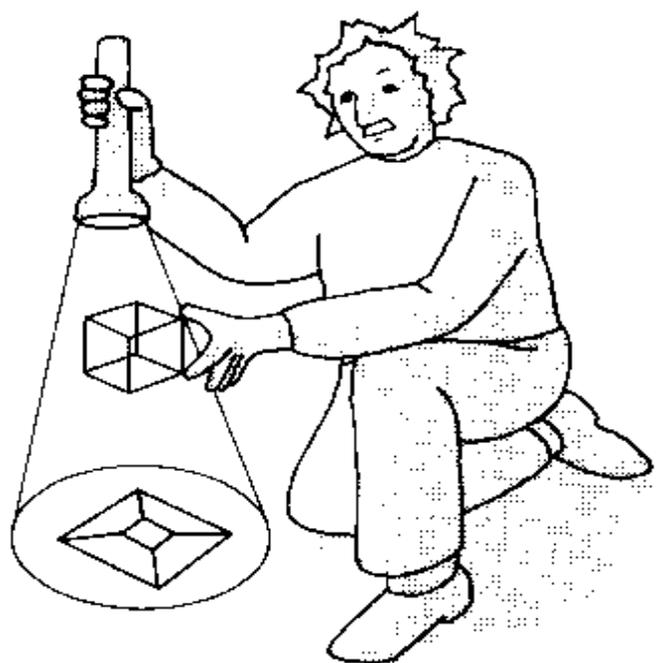


图 3.8 一个平面国人能通过考察一个立方体的影子来想象它。该影子表现为一个正方形中套有另一个正方形。如果立方体被旋转,则正方形执行的运动对于平面国人而言好像是不可能的。同理,超立方体的投影是立方体中套有另一个立方体。如果超立方体在四维中旋转,则对于我们的三维大脑而言立方体执行的运动好像是不可能的。

至比原子还要小。这是欣顿采用的基本原理。这个原理就是我们三维宇宙中的所有物体都存在于第四维中,但是第四维较小,它避开了所有的实验观察。(我们将发现,当今的物理学家基本上采用了与欣顿一样的原理,他们断定高维非常之小,以至于很难用实验观察到。若问欣顿“什么是光?”,他也有一个现成的回答。遵循黎曼的观点,欣顿认为光是看不见的第四维中的振动,这基本上是当今许多理论物理学家采用的观点。)

在美国,欣顿单枪匹马地激发起公众对第四维的巨大兴趣。像《哈珀周报》、《麦克卢尔》、《当代文学》、《大众科学月刊》以及《科学》这些流行杂志都不惜版面来培养公众对第四维的兴趣。但是,1909年由《科学美国人》发起的著名竞赛则可能确保了欣顿在美国的声誉。这场独特的竞赛悬赏500美元(这在1909年是一笔相当可观的钱)给“第四维最佳的通俗解释”。杂志的编辑们对涌进他们办公室的大量信件惊喜异常,其中包括来自遥远的土耳其、奥地利、荷兰、印度、澳大利亚、法国和德国的信件。

竞赛的宗旨是:“用不超过2500个单词的文章来阐明第四维的意义,以便一般的非专业读者能理解它。”它吸引了大量严肃的短文。有的人哀叹策耳纳和斯莱德这些人把第四维与唯灵论混为一谈,从而玷污了第四维的声誉。然而,在这些文章中,有不少文章认可了欣顿关于第四维的开拓性工作。(奇怪的是,没有一篇文章提到爱因斯坦的工作。1909年,人们还是一点也不清楚,爱因斯坦已揭开了空间和时间的秘密。事实上,时间作为第四维的思想没有出现在任何一篇文章之中。)

没有实验验证,《科学美国人》的竞赛当然不能解决高维的存在问题。然而,这场竞赛却提出了高维物体看起来可能

像什么的问题。

来自第四维的怪物

遇到从高维中来的生物时,人们的心情会怎样?

也许,解释对其他维度的假想访问之惊讶与激动心情的最佳方法,是利用科幻小说。在这些小说中,作者力图设法解决这个问题。

在“不知何处来的怪物”中,作家邦德(Nelson Bond)企图推测,如果一位拉丁美洲丛林中的探险者遇到一只来自高维的野兽,将发生什么情况?

我们的主角是伯奇·帕特森(Burch Patterson),一位冒险家,一名美食者,一个命运的斗士。他偶然想起一个在秘鲁高耸的山脉中猎捕野生动物的主意。远征队将由各种动物园付钱,动物园提供旅行资金,从而换取帕特森能发现的动物。随着大肆吹嘘,新闻界报道了他旅行进入未探索地区的远征进程。但是数周之后,远征队失去了与外部世界的联系,他们神秘地消失了,没有留下任何踪迹。经过漫长而无益的搜寻之后,权威人士只能认为探险家们已经死亡,放弃了对死者的搜寻。

2年后,帕特森突然重新出现。他秘密会见了记者们,向他们讲了他的不幸而又充满英雄主义色彩的惊人故事。恰好在远征队消失之前,他在上秘鲁的马拉坦高原碰到一个奇怪的动物。它像一团什么东西,以某种最为古怪的方式不断改变着它的形状。这些黑团团盘旋在空中,时隐时现而且改变大小和形状。突然间它们袭击了远征队,杀死了大多数的人。这些黑团团把剩下的人提离了地面,然后尖叫着消失得无影无踪。

只有伯奇逃脱了骚乱。尽管他又惶惑又害怕,但他还是从远处研究着这些黑团团,他渐渐地想出一个关于它们究竟是什么和怎样俘获它们的理论。他几年前读过《平面国》,他推测那些把自己的手指插入和抽出平面的人将使二维居民大为吃惊。平面国人将看到一个盘旋在空中的跳动着的肌肉环(我们的手指穿过平面国),它不断改变大小。类似地,帕特森推论:任何一个把脚和臂戳进我们宇宙的高维动物将表现为三维的、跳动着的肉团团,它们凭空出现了,改变着大小和形状。这也能解释为什么他的队员消失得无影无踪:他们已被拉进了某个高维宇宙。

但是有一个问题仍然烦扰着他:你怎能俘获一个高维生物?如果一个平面国人看到我们的手指穿过他的二维宇宙,他企图抓住我们的手指,他将不知所措。如果他企图用套索来捕捉我们的手指,我们只要移动我们的手指就能使它消失。类似地,帕特森推理:他能绕着一个肉团团安置一张网,但是后来这个高维生物把他的“手指”或“脚”抽出我们的宇宙,接着网就塌陷了。

突然间,他明白了答案:如果一个平面国人企图在我们的手指插入平面国时捉住它,那么平面国人可以通过我们的手指钉一根针,用力地把它钉在二维宇宙中。于是,帕特森的策略就是打一根大钉,穿过一个肉团,把这个生物钉在我们的宇宙中!

对这个生物观察几个月之后,帕特森确定出该生物的“脚”看起来像什么,他把一根钉子正好钉在脚上。他费了2年时间终于捕获了这个生物,并且用船把那个翻滚挣扎的肉团团运回到新泽西州。

最后,帕特森宣布举行一个重要的记者招待会,在招待会上他将展出在秘鲁抓来的奇怪生物。当这个生物被展出时,

它翻滚着与钢条抗争着,新闻记者和科学家们都吓得喘不过气来。像《金刚》中的一幕,一个记者违反规定拍了这个生物的闪光照片。闪光激怒了它,它猛烈地与钢条抗争着,它的肌肉开始撕破。突然,怪物挣脱了束缚,混乱的局面出现了。人们被撕成碎片,帕特森和其他人被怪物抓住消失在第四维之中。

这场悲剧的结果,有一个大屠杀的幸存者决定烧掉有关该生物的所有证据。这样做比留下这个永远的不解之谜更好。

建造一幢四维房子

在上一节中,我们研究了当我们遇到高维生物时会发生什么事情的问题。但是相反情形,当我们访问高维宇宙时,高维生物遇到我们又会发生什么事情呢?如上所述,一个平面国人不能想象三维宇宙的全貌。然而,正如欣顿所指出的那样,平面国人能用几种办法充分理解高维宇宙显露出的一些片断。

海因莱因(Robert Heinlein)在他的经典短篇小说“……他还造了一幢扭曲的房子……”中,探讨了在一个拆解的超立方体中居住的多种可能性。

蒂尔(Quintus Teal)是一位莽撞浮夸的建筑师,他的雄心就是以一种真正具有革命性的形状建造一幢房子:一个超正方体,一个在第三维中展开的超立方体。他说服了他的朋友贝利(Bailey)夫妇购买这幢房子。

房子建在洛杉矶,超正方体由一套8个超现代立方体组成,这些立方体一个叠一个地堆放成十字形。不幸的是,正当蒂尔准备向贝利夫妇炫耀他的新创作时,南加利福尼亚发生

了地震,房子坍塌了。立方体开始倒塌,但奇怪的是只有一个还耸立着。别的立方体都已神秘地消失。蒂尔和贝利夫妇小心地进入房中时——现在只是唯一的一个立方体,他们大为吃惊,通过二楼的窗口,可清楚地看到其他失踪的房间。但那是不可能的。现在这幢房子只是一个立方体。怎么能把这一个立方体的内部与不能从外面看见的其他一系列立方体连接起来呢?

他们爬上楼梯,在入口处发现了主人的卧室。然而,他们没有发现四楼,而是发现自己回到了一楼。惊恐的贝利夫妇,以为房屋在闹鬼,奔向前门,前门恰好把他们引向另一个房间,而不是把他们引向外面。贝利夫人差点晕倒了。

当他们查看房子时,他们发现每一个房间都与另一些不可能相连的房间连接着。在原来的房间中,每一个立方体都有一个观看外面的窗口。现在,所有的窗口都朝着其他房间,没有外面可言!

使他们惊恐万分的是,他们慢慢地尝试了所有房间的门,但是都只是以到达别的房间而告终。最后经过研究,他们决定打开四个软百叶帘向外张望。他们打开第一个软百叶帘时,发现他们正在俯视着帝国大厦,显然,那个窗口接通着恰好在塔顶上空的另一个空间“窗口”。他们打开第二个软百叶帘时,发现他们正在注视着浩瀚的大海,只是它已上下颠倒过来。打开第三个软百叶帘时,他们什么也没有看见。不是空洞的空间,或漆黑一团,而是什么也没有。最后,他们打开第四个软百叶帘时,发现他们正注视着荒凉的大漠风景,这可能是火星上的一幕。

经过各个房间的苦恼游历之后,这里的每一个房间以无法想象的方式与别的房间相连,蒂尔最后完全理解了它。他推断地震一定使得四维中各个立方体的连接点塌陷,从而

使得房子折叠起来。¹⁰

在外面,蒂尔的房子原本看起来就像一组普通的立方体。房子没有坍塌,因为在三维空间中这些立方体之间的连接是刚性而稳固的。然而,从第四维观看,蒂尔的房子是拆解开的超立方体,这个拆开的立方体可以重新装配和折叠成为超立方体。这样,当房子在地震中震动时,它就在四维空间中被某种程度地折叠起来,只留一个立方体悬挂在我们的第三维中。走进保留下来的唯一立方体中的人都将看到一系列的房间,这些房间以一种看起来简直不可能的方式与这一立方体相连。由于在各个屋子中奔跑,蒂尔没在意就跑到了第四维中。

虽然我们的主人公似乎注定要在超立方体内转着圈毫无结果地度过他们的一生,但是另一场猛烈的地震震动了这个超正方体。蒂尔和惊恐的贝利夫妇屏住呼吸从最近的窗口跃出。他们着地之后发现自己在约书亚特里国家纪念馆中,此处距洛杉矶有几公里。几小时后,他们搭便车返回城里,回到房子处,唯一发现的是上一次留下来的立方体已经无影无踪。超正方体到哪儿去了呢?它可能飘到了第四维中的某个地方。

无用的第四维

回顾起来,黎曼的著名演讲经由神秘主义者、哲学家和艺术家被普及到广大读者,但是这对于我们深化对自然的认识还远远不够。从现代物理学观点看,我们也能看到为什么从1860年到1905年在超维空间的认知中没有出现任何根本性的突破。

首先,没人试图利用超空间来简化自然规律。没有黎曼原来的指导性原则——自然规律在高维中变得更简单,这个

时期的科学家们就会在黑暗中摸索。黎曼运用几何学——褶皱的超空间——这种富于启发性的思想来解释“力”的本质，在这些年来被人遗忘了。

第二，没人试图利用法拉第的场概念或黎曼的度规张量去寻求超空间所遵循的场方程。与黎曼原来的意图相反，他提出的数学方法成了纯数学的一个分支。没有场论，你就不能用超空间作出任何预言。

这样，在世纪交替之际，讽世者们信誓旦旦地声称没有关于第四维的实验证明。更糟的是，他们声称没有引进第四维的物理动机，它只是用鬼神故事来取悦普通百姓。然而，这种可悲的情况不久就发生了变化。在仅仅几十年内，(时间的)第四维理论将永远改变人类历史的进程。它给了我们原子弹和创世本身的理论。做这件事的人是一个默默无闻的物理学家，他的名字就叫阿尔伯特·爱因斯坦。

第四章

光的奥秘：第五维中的振动

如果[相对论]被证明是正确的,我预期将会如此,那么他[爱因斯坦]将被认为是 20 世纪的哥白尼。

——普朗克(Max Planck)

爱因斯坦的生活似乎充满了一连串的失败和失望。甚至他的妈妈也因为他很费劲才学会说话而发愁。他的小学老师认为他是个愚蠢的梦想家。他们抱怨爱因斯坦常用他那些傻乎乎的问题来扰乱课堂纪律。有一个老师甚至直截了当告诉爱因斯坦还是不来上他的课为好。

在学校里他没有几个朋友。由于失去了对课程的兴趣,在高中时他退学了。由于没有高中文凭,他就必须经过特殊的考试才能进入大学,可是他第一次没有通过考试,不得不再考一次。由于他是扁平足,因此在瑞士的陆军考试中也同样没有通过。

大学毕业之后,他没有找到工作。他是一名未能在大学取得教职的失业的物理学家。他申请的所有地方都没能给他提供工作。他每小时只赚 3 法郎——当家庭教师辅导学生而得到的微薄津贴。他告诉他的朋友索洛文(Maurice Solovine):“较容易的谋生手段是在公共场所拉小提琴。”

爱因斯坦是一个拒绝权力和金钱之类东西的人,而这却是大多数人追逐的东西。然而他曾经悲观地写道:“只要有胃

存在,人人都得去参与那种追逐。”最后,通过他朋友的影响,他才得以在伯尔尼的瑞士专利局当一名低级办事员,在那里他挣的钱勉强够维持自己的生活,这样他的父母亲就不必供养他了。用他菲薄的薪金,他供养着他年轻的妻子和新生的幼儿。

在既缺乏资金又缺乏与科研机构联系的情况下,爱因斯坦单枪匹马在专利局开始了研究工作。在处理专利申请的空隙里,青年爱因斯坦的心思飘到了他感兴趣的问题之中。他从事了一项最终改变人类历史进程的工作。他的工具是四维。

孩子们的问题

爱因斯坦天才的本质表现在哪里呢?在《人的进化》中,布罗诺夫斯基(Jacob Bronowski)写道:“像牛顿和爱因斯坦这类人的天才在于,他们问出一些显而易见又很天真的问题,而这些问题最终会使科学产生巨大的变革。爱因斯坦是一个能问极其简单问题的人。”¹在孩提时代,爱因斯坦问自己这样一个简单问题:如果你能赶上一束光的话,它看起来会像什么样呢?你会看见一个静止的波冻结在时间中吗?这个问题促使他用50年的生命历程来探索空间和时间的奥秘。

试想一辆快速行驶的汽车企图超过一列火车。如果我们猛踩油门踏板,汽车与火车并驾齐驱地奔驰。我们能窥视到火车里面,火车对我们来说似乎是静止的。我们能看到火车里面的座位和做着各种动作的人,好像火车根本不在运动一样。类似地,作为孩子的爱因斯坦想象与光束一同旅行。他认为在一确定的时刻光束应该与一系列的驻波相类似;即光束看起来应该没有运动。

爱因斯坦 16 岁时,就看出了这种论证的漏洞。他后来回忆:

经过 10 年思考之后,从一个佯谬引出了这样一条原理。这个佯谬我在 16 岁时就已无意中想到:如果我以光速 c (光在真空中的速度)追逐光束,那么我观察到的这束光应该是一个停滞不前的在空间振荡的电磁场。然而,无论是基于经验还是根据麦克斯韦方程,看来都不存在这样的事情。²

在大学里,爱因斯坦证实了他的猜疑。他知道光可以用法拉第的电磁场来描述,这些场遵循由麦克斯韦发现的场方程。正如他猜测的那样,他发现麦克斯韦方程不允许静止的冻结的波。事实上,爱因斯坦证明,不管我们多么辛劳地追赶光束,这束光总是以同样的速度 c 前进。

乍看起来,这似乎是荒谬的。这意味着我们永远不能超过火车(光束)。更糟的是,无论我们把汽车开得多快,火车似乎总是以同样的速度跑在我们前面。换句话说,一束光像老水手们喜欢杜撰夸大其辞的“鬼船”一样。它是永远无法赶上的空幻船只。不管我们把船开得多快,鬼船总是躲开我们,嘲弄着我们。

1905 年,爱因斯坦在专利局有着充足的时间,他仔细分析了麦克斯韦的场方程,得出了狭义相对性原理:光速在所有作匀速运动的参考系中都相同。这个听起来似乎天真的原理是人的精神最伟大成就之一。有人说人类在地球上进化的 200 万年中,作为人的心智最伟大的科学创造之一的狭义相对论,与牛顿的万有引力定律并驾齐驱。根据狭义相对论,我们能条理分明地解开恒星和星系释放巨大能量的秘密。

为了弄清这个简单的陈述怎能导致如此深刻的结论,让我们重新回到汽车企图超过火车的类比当中。我们假设人行

道上的行人记录了汽车和火车的行驶时间,汽车每小时行驶 99 英里,火车每小时行驶 100 英里。自然,从我们的观点出发,我们看到火车以每小时比汽车快 1 英里的速度在我们前面行驶,这是因为速度能像简单的数一样进行加减。

现在,让我们用光束来代替火车,但光的速度仅保持在每小时 100 英里。行人仍然看到我们以每小时 99 英里的速度紧追以每小时 100 英里的速度传播的光束。根据行人的观点,我们应该迫近光束。然而,根据狭义相对论的观点,汽车中的我们实际看到光束并不是像预想的那样以每小时领先我们 1 英里的速度行进,而是以每小时领先我们 100 英里的速度高速行进。显然,我们看到光束迅速地领先于我们,好像我们处在静止状态中。我们不再相信自己的眼睛,使劲地踩油门踏板,直到行人记录我们的汽车以每小时 99.99999 英里的速度疾驶。毫无疑问,我们猜想自己一定会超过光束。然而,当我们透过车窗往外观看时,我们看到光束仍然以每小时 100 英里的速度在我们前面急速行进。

我们焦虑地得出了几个怪异而又使人不安的结论。首先,行人告诉我们,无论怎样加大汽车发动机的油门,它也只能接近每小时 100 英里的速度,但是永远不能超过每小时 100 英里。这好像是汽车的最高速度。其次,无论我们多么迫近每小时 100 英里的速度,我们仍然看到光束在我们的前面以每小时 100 英里的速度急速前行,好像我们一动也不动。

但这是荒谬的。急速行驶的汽车中的人和静止的人测量的光束速度怎么能一样呢?通常这是不可能的。这好像是自然界的天大玩笑。

只有一种方法能解决这个佯谬。我们自然而然地得到一个惊人的结论,而爱因斯坦第一次想到这个结论时就完全被震惊了。对这个佯谬唯一的解决办法就是,对于汽车中的我

们而言,时间变慢了。如果行人用望远镜盯着我们的汽车,他会看到车中的每一个人行动都极其迟缓。然而,车中的我们从没注意到时间正在慢下来,这是因为我们的脑筋也慢下来了。对于我们而言,一切似乎都正常。此外,他看到汽车在运动方向上变扁了。汽车像手风琴一样缩拢起来。然而,我们从未感觉到这个效应,这是因为我们的身体也在收缩。

空间和时间戏谑了我们。在实际的实验中,科学家们已经证明,不管我们行进得多快,光的速度永远是 c 。这是因为我们行进得越快,我们的时钟就走得越慢,我们的尺子也缩得越短。事实上,我们的时钟走得足够慢,而且尺子也收缩得足够短,从而正好使我们无论何时测量光速所得的结果总是相同。

但是,为什么我们不能看到或感觉到这种效应呢?因为我们的大脑思考得更慢了,当我们接近光速时,我们的身体也在变薄。我们很幸运地并未觉察自己正在变成迟钝的薄煎饼。

当然,这些相对论效应非常非常之小,日常生活中无法察觉这些效应,因为光速实在是太大了。然而,作为一个纽约人,每当我乘坐地铁时就会想起空间和时间的这种迷人的扭曲。当我在地铁站台上无事可做,只是在等下一列列车时,我有时让我的想象力自由飞翔,我想知道如果光速只是每小时30英里,即相当于地铁的速度时,光将像什么?那样的话,当列车最后呼啸着进入站台时,列车似乎是被压扁了,好像手风琴一样。我想,列车将是一块1英尺*厚的扁平金属板,在铁轨上飞奔。地铁车厢中的每一个人将像纸一样薄。他们实际上是冻结在时间中,好像他们是处在不运动的状态。然而,列

* 1英尺=0.3048米,以下同。——译者注

车减速停下时,它突然膨胀,直到这块金属板逐渐占据整个车站。

尽管这些扭曲可能显得非常离奇,列车里的乘客全然不会注意到这些变化。他们的身体和周围空间同样沿着列车运动的方向被压扁,一切似乎都处在正常状态。此外,他们的大脑慢了下来,因此列车里的每个人将正常地行动。地铁列车最后停止时,乘客完全不知道自己的列车对于站台上的人而言表现为令人不可思议的膨胀,直到它充满整个站台。乘客离开列车时,他们浑然不觉狭义相对论所要求的这种深奥变化*。

第四维与中学校友聚会

当然,爱因斯坦理论的通俗描述为数可以百计,它们强调了爱因斯坦工作的不同方面。然而,有那么几种描述抓住了相对论背后的实质,这就是时间是第四维,以及自然定律在高维中被简化并被统一。引进时间作为第四维,推翻了一直上溯到亚里士多德时代的时间概念。现在,空间和时间永远由狭义相对论辩证地联系在一起。(策耳纳和欣顿都认为将被发现的下一维是第四空间维。这一点上,他们是错了,威尔斯则是正确的。将被发现的下一维是时间,一个第四时间维。要对认识第四空间维有所进展,还必须再等上几十年。)

为了理解高维如何简化自然定律,我们回想一下任何物体都有长、宽和高。因为我们可自由地把物体旋转 90 度,这

* 同理,列车中的乘客将认为,列车是不动的,地铁站台扑向列车。他们将看到站台和站台上的人压缩成手风琴样子。这就产生一个矛盾,列车上的人和站台上的人彼此认为对方被压缩了。这个佯谬的解决有点棘手。³

样我们就能把物体的长变成宽,宽变成高。通过一个简单的旋转,我们能交换三个空间维中的任何一个。现在,如果时间是第四维,那么也可能通过“旋转”把空间转化成时间,反之亦然。这些四维“旋转”确切地说就是狭义相对论所要求的空间和时间的畸变。换句话说,空间和时间已经由相对论确定的某种带有根本性的方式混在一起。时间作为第四维的意义就在于,时间和空间能以精确的数学方式相互转换。今后,它们必须被作为同一个量的两个不同方面来对待,这个量就是时空。这样,加一个更高的维就帮助我们统一了自然定律。

牛顿在300年前的著作中认为,时间节拍在宇宙中处处都有相同的速率。不管我们身在地球上,还是火星上,或是遥远的恒星上,我们希望钟表都以同样的速率滴答滴答地走。他设想在整个宇宙中时间都有一种绝对而均匀的节律。时间和空间之间的旋转是不可想象的。时间和空间是两个没有联系且性质迥然不同的量。把它们统一成一个量是难以设想的。然而根据狭义相对论,时间的节拍可以有不同的速率,其速率的快慢取决于物体运动的快慢。时间是第四维,意味着时间与在空间中的运动有着本质的联系。钟表滴答的快慢,依赖于钟表本身在空间中运动的快慢。用处在环绕地球运行的轨道上的原子钟所做的精确实验已经证实,地球上的钟和用火箭运载在太空中的钟以不同的速率走着。

当我被邀请去参加我的第20次中学校友聚会时,我形象地回忆起相对论原理。虽然自从毕业之后我没有见过自己的许多同班同学,但是我假定他们都将显示出同样明显的衰老迹象。不出所料,在聚会中,可以明显看出我们大多数人的衰老过程是普遍的:似乎我们所有的人都在炫耀灰白的鬓发、鼓起的腰围和少许的皱纹。虽然我们相距几千英里而且分开了20年的时间,但是我们都认为时间对于我们而言都是均匀地

流逝。我们不经思索地认为人人都以同样的速率衰老。

那时我心里在想,如果一个同学走进了聚会大厅,他看起来与他毕业时完全一样,这将会引起什么样的结果呢?首先,他将可能引来同学们注视的目光。他是我们20年前认识的的那个人吗?当众人意识到他确实是20年前的他时,整个大厅出现了一阵恐慌。

我们都被这次相遇震惊了,因为我们都默认时钟运转处处相同,即使这些地方相隔万里也是如此。然而,如果时间是第四维,那么空间和时间之间可以彼此转换,时钟能以不同的速率运转,时钟运转的速率依赖于时钟本身运动的快慢。例如,这个同学可能进入一个以接近光速行进的火箭中。对于我们而言,火箭的行程可能持续了20个年头。然而对他而言,因为在飞速的火箭之中时间变慢了,他从毕业以来只衰老了一丁点儿。对他而言,他刚进入火箭,驶入太空几分钟,经过一个短暂而愉快的旅程之后,及时回到地球参加他的第20次中学聚会。在这一大圈头发灰白的同学之间,他看起来依然年轻。

每当回想起我第一次遇到麦克斯韦场方程的情景,我也就想起四维简化了自然定律。每一个学习电磁理论的大学生,都得花费好几年工夫去掌握这8个相当难看和晦涩抽象的方程。麦克斯韦的8个方程臃肿而难于记忆,因为时间和空间被分开处理。(至今我还必须从书中查阅,以确保我用的记号和符号正确无误。)我仍然记得,当我学会把这些方程转化成看起来十分普通的方程时,我感到松弛了许多,此时时间是被作为第四维来处理的。就这么精彩的一笔,四维就把这些方程简化成一个美妙而一目了然的形式。⁴用这种形式书写,方程具有高度的对称性,即时间和空间可以相互转变。麦克斯韦的场方程像一片美丽的雪花,当我们把雪花绕

着它的轴心旋转时它保持着原样,而麦克斯韦方程写成相对论形式时,如果我们把空间旋转成时间,它仍然保持原来的形式。

令人惊奇的是,这个用相对论形式写成的简单方程所包含的物理内容,与百余年前麦克斯韦原来写下的8个方程所含的物理内容是一样的。这一个方程,依然支配着发电机、雷达、广播、电视、激光、家用电器,以及出现在每个人起居室内的诸多电子装饰品的性质。这就是我最初领略到的物理学之美——四维空间的对称性能解释足以充满一座工程学图书馆的大量物理知识。

这再次展示了本书的主题之一,即增添高维有助于简化和统一自然定律。

物质是浓缩的能量

到目前为止,统一自然定律的讨论还是相当抽象,它还留有余地,把关键的一步留给了爱因斯坦。他意识到如果空间和时间能被统一成一个叫做时空的统一体,那么物质和能量可能也能被辩证地统一起来。他推理道,如果尺子收缩,时钟变慢,那么我们用尺子和时钟测量的每一样东西也将必定发生变化。然而,在物理学家的实验室里,几乎每样东西都要通过尺子和钟表来测量。这意味着,物理学家必须重新校验他们原来想当然认为是常量的所有实验室物理量。

特别是能量,它是一个依赖于我们测量的长度和时间间隔的物理量。一辆飞速前进的试验汽车猛然冲向砖墙,显然它具有能量。然而如果飞速行进的汽车速度接近光速,它的性能就产生了畸变。它像手风琴一样收缩,它里面的钟表也走得慢了下来。

更重要的是,爱因斯坦发现,汽车的质量随着其速度的提高而增大。但是这些多余的质量来自何处呢?爱因斯坦的结论是,它来源于能量。

这就出现了一些使人不安的后果。19世纪物理学的伟大发现中包含有质量守恒和能量守恒两大成果。它们的意思就是,在一个封闭系统中的总质量和总能量各自存在,它们都不会发生变化。例如,如果超速行驶的汽车撞到砖墙上的话,汽车的能量不会消失,而是转化成了撞击的声能、飞出去砖块的动能以及热能等等。总能量(以及总质量)在撞击前后保持不变。

然而,爱因斯坦现在却说汽车的能量可以转化成质量,这是一种新的守恒原理,即质量和能量的总和必须永远保持不变。物质不会突然消失,能量也不会凭空产生。在这一点上,“造神派”是错误的,而列宁是正确的。物质消失以释放巨额能量为代价,反之亦然。

爱因斯坦26岁时,就精确地计算出能量必定怎样变化,而且发现了关系式 $E = mc^2$,这种计算以相对论原理正确无误为基础。因为光速的平方(c^2)是一个巨大的天文数字,所以少量物质就能释放出巨大能量。封锁在最小的物质粒子中的能量,超过了一次化学爆炸所释放能量的100万倍。在某种意义上,物质可以看作一种几乎用之不竭的能量储存室,即物质是一种浓缩的能量。

在这方面,我们看到了数学家(欣顿)的工作和物理学家(爱因斯坦)的工作的显著差异。欣顿花费了他成年后的大部分时光,企图使更高的空间维变得形象化。他对给第四维找一个物理解释没有兴趣。然而,爱因斯坦看到第四维可以视为时间维。指引他的是一种信念和物理直觉:高维的目标在于统一自然法则。通过加进高维,他能将三维世界中没有联

系的物理概念(如物质和能量)统一起来。

从那时起,物质和能量的概念就被当作为一个整体——质能。当然,爱因斯坦关于第四维的工作的直接影响是氢弹,氢弹已被证明是20世纪科学的威力最大的产物。

“我一生中最得意的思想”

然而,爱因斯坦还不满足。仅仅是狭义相对论原理,就已确保了他在物理学巨人中的地位。但还有些遗漏的东西。

爱因斯坦的洞察力之关键所在,是通过引入两个新概念时空和质能,运用第四维来统一自然定律。虽然他揭开了自然界中最深层的秘密,但他意识到在他的理论中仍有几处漏洞。这两个新概念之间的关系是什么?更具体地说,在狭义相对论中未予考虑的加速运动的情况又会怎样呢?在引力场中又如何呢?

他的朋友、量子理论的奠基者普朗克告诫年轻的爱因斯坦,引力的问题太难了。普朗克告诉他,说他的野心太大了:“作为一个老朋友我劝你别干它,因为首先你不会成功,即使你成功了,也没人相信你。”⁵然而,爱因斯坦决然前行去揭开引力的秘密。他的重大发现的关键,又是回答只有孩子们才问的问题。

当孩子们乘电梯时,他们有时神情紧张地问:“如果绳子断了会发生什么事呢?”回答是你将处于失重状态,你好像在太空中一样飘浮在电梯中,因为你和电梯正以同样的速率下降。纵然你与电梯都在地球的引力场中加速,你们两者的加速度是一样的,因此你在电梯中好像失去了重量(至少在你到达电梯井底之前是这样)。

1907年,爱因斯坦意识到飘浮在电梯中的人可能会猜想

有人神秘地取消了重力。爱因斯坦曾回忆道：“我正坐在伯尔尼专利局的办公椅上时，一个思想突然出现在我脑海中。这个思想就是：‘如果一个人自由下落，那么他将不会感到自己的重量。’我被吓了一跳。这个简单的思想给了我深刻的印象。它激励着我朝引力理论去发展。”⁶ 爱因斯坦称它为“我一生中最得意的思想”。

反之，他知道在加速上升的火箭中的人会觉得有一股力把他推向座位，好像有一股引力在拉他。（事实上，宇航员感觉到的加速力通常都用 g 来量度——即地球引力的倍数。）他得出的结论是，在飞速行进的火箭中加速的人可能会猜想这些力由引力所引起。

从孩子们的这个问题中，爱因斯坦抓住了引力的基本实质：加速参照系中的自然定律等效于引力场中的自然定律。这个简单的陈述称为等效原理，它对平常人而言不会说明更多的东西，但是一旦到了爱因斯坦手中，它就变成某种宇宙理论的基础。

（等效原理对复杂的物理问题也给了一个简单的回答。例如，如果我们在行驶的汽车中手持一个氦气球，汽车突然向左急转，那么我们的身体将向右倾斜。但是气球将向哪个方向运动呢？常识告诉我们，气球将像我们的身体一样向右运动。然而，对这个难题的正确回答甚至难倒了经验丰富的物理学家。解答要用到等效原理。设想一个引力场从右边拉曳汽车。引力使我们突然歪向右边。氦气球比空气轻，它总是逆着引力的拉曳“向上”飘浮，因此它必定会向左飘浮，这与汽车急转弯的方向相同，而与常识相悖。）

爱因斯坦利用等效原理解决了光束是否会受引力影响这一长期存在的问题。通常，这是一个极不寻常的问题。然而，通过等效原理，回答变得显而易见。如果我们在加速的火箭

中发出一个闪光,那么光束将弯向地板(因为在光束通过房间的这段时间里,火箭已经在光束下面加速)。因此,爱因斯坦证明引力场也将使光的路径弯曲。

爱因斯坦知道物理学有一条基本原理,即光束将在两点之间走所需时间最少的路径。(这就是所谓的费马最短时间原理。)通常,两点之间所花时间最少的光路是直线,因此光束是直的。(即使当光弯折进入玻璃之中,它仍然遵守最短时间原理。这是因为光在玻璃中速度变慢了,现在光通过空气和玻璃的结合体所花时间最短的路径是折线。这就是所谓的折射,它是制造显微镜和望远镜的基础。)*

然而,如果光在两点之间走所花时间最短的路径,而且光束在引力的影响下弯曲,那么两点之间最短的距离就是一条曲线。爱因斯坦被这个结论震惊了:如果光能被观察到以曲线传播,那么这就意味着空间本身是弯曲的。

空间卷曲

爱因斯坦信念的核心,是“力”能用纯几何学来解释的思想。例如,想想坐旋转木马。每个人都知道,如果我们在旋转木马上换一匹马骑,那么我们在平台上走动时就会感觉到一股“力”在拉我们。因为旋转木马的边缘比中心运动得快,那么根据狭义相对论原理,旋转木马的边缘一定会收缩。然而,如果旋转木马的平台现在有一个收缩的边缘或圆周,那么作

* 例如,设想你是一名离水有一定距离的岸上的救生员。你瞥见某人溺水求救。假定你在软沙里跑得慢,但在水里游得快。你到溺水者的直线路径将在沙里花去过多的时间。具有最短时间的路径是一条折线,它减少在沙里跑的时间,使在水里游的时间最长。

为整体的平台就一定会弯曲。对于平台上的某个人,光不再以直线传播,而是像有一个“力”正把光拉向平台的边缘。通常的几何定理不再适用。这样我们在旋转木马上不同的马之间走动时,感觉到的“力”可以被解释为空间本身的弯曲。

爱因斯坦独立发现了黎曼原先的方案,即用纯粹几何的方式解释“力”的概念。让我们回忆黎曼用生活在褶皱纸张上的平面国人所作的类比。对于我们而言,在褶皱表面移动的平面国人显然不可能走一条直线。无论他们走哪条路,他们都将受到一个“力”,这个力或左或右地作用着他们。对于黎曼而言,空间的弯曲或卷曲造成了力的出现。因此,力并不真正存在;实际上,正在发生的是,空间本身正被弯曲得变了样。

然而,黎曼方案的问题在于,他没有关于引力或电磁力如何引起空间弯曲的具体想法。他的方案是纯数学的,没有如何实现空间弯曲的具体精确的物理绘景。在黎曼失败的地方,爱因斯坦成功了。

例如,设想一块石头放在拉紧的床单上。显然,石头将陷入床单中,形成了一个光滑的凹坑。在床单上迅速射过的大理石小球,将在这块石头周围沿圆形或椭圆形的路径运动。从远处看到大理石小球绕石块运动的人可能会说,有一个发自石块的“瞬时力”改变了小球的路径。然而,在近处察看的话,就很容易看到真正发生的事情:石块使床单卷曲,从而形成了小球的路径。

依此类推,如果行星在环绕太阳的轨道上运行,那是因为它们正运行在由于太阳存在而被弄弯的空间里。这样,我们站在地球上而不被抛进太空的真空中原因是,地球正不断地使我们周围的空间卷曲(图 4.1)。

爱因斯坦注意到,太阳的存在使来自遥远恒星的光发生弯曲。所以,这个简单的物理绘景给出了一种用实验来检验

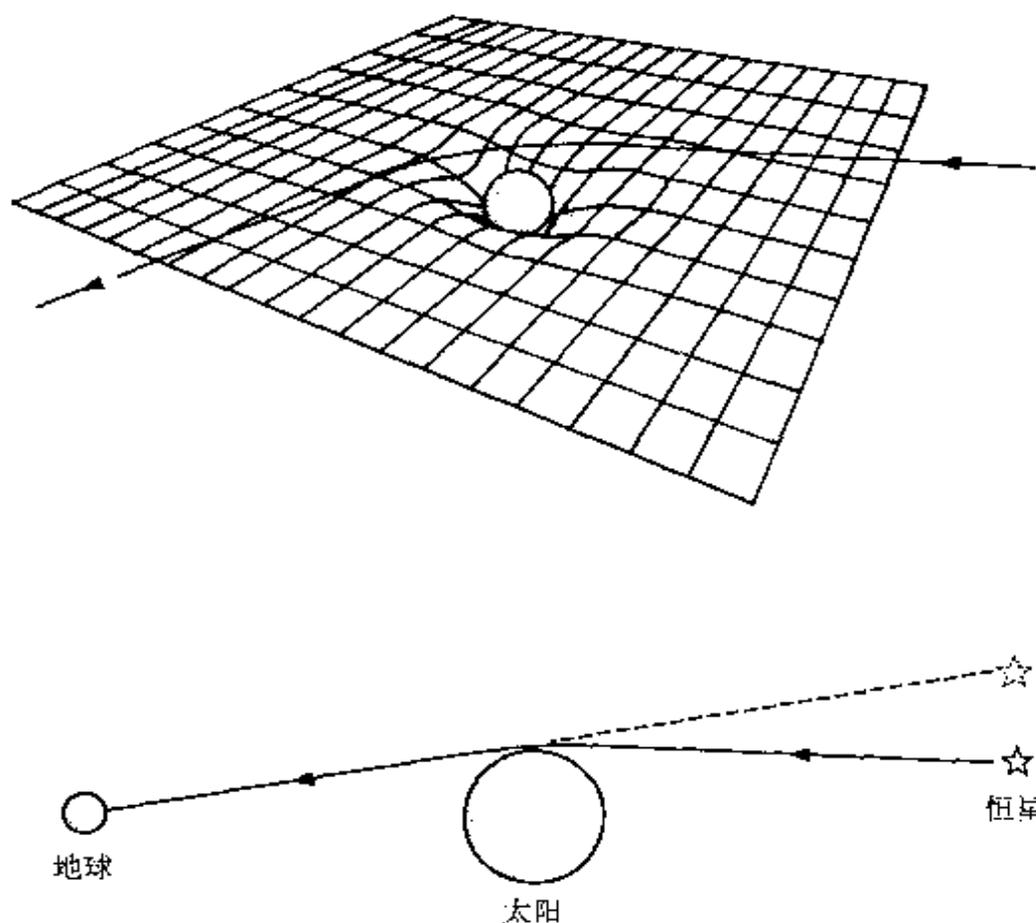


图 4.1 对于爱因斯坦而言，“引力”是由空间弯曲所造成的错觉。他预言绕过太阳运动的星光将变弯，因此在有太阳时恒星的相对位置应出现畸变，这已经一再被实验证实。

理论的方法。首先，我们在夜间测量恒星的位置，此时不见太阳。然后在日食期间，再次测量这些恒星的位置，此时是有太阳的（但阳光的强度已不足以压倒星光）。根据爱因斯坦原理，当太阳出现时恒星的表观相对位置应该改变，因为太阳的引力场将使那些星光到达地球时的路径发生弯曲。通过比较夜间和日食时的恒星照片，人们应该能检验这一理论。

这个绘景能用所谓的马赫原理来概括，它指导爱因斯坦创立了广义相对论。我们回想一下床单的弯曲由石块的存在所决定。爱因斯坦总结了这种类比，他指出：质能的存在决定

了它周围的时空曲率。这是黎曼未发现的物理原理的精髓，这个物理原理就是空间的弯曲直接与包含于空间中的能量与质量的总和有关。

这进而又可以用爱因斯坦的著名方程式⁷来概括，这个方程实质上可陈述为：

质能→时空曲率

这里的箭头意为“决定”。这个貌似简短的方程是人的心智最伟大的成就之一。隐藏在恒星和星系的运动背后，隐藏在黑洞、宇宙大爆炸背后，以及也许隐藏在宇宙自身命运背后的那些原理，均从这个方程一一显露出来。

然而，爱因斯坦还是缺了一块拼图板。他发现了正确的物理原理，但是他缺乏严格而强有力的数学表述来表达这个原理，他的引力场缺乏法拉第场的形式。具有讽刺意味的是，黎曼有了数学方法，但没有指导性的物理原理。形成鲜明对照的是，爱因斯坦发现了物理原理，但是缺乏数学方法。

引力场理论

因为爱因斯坦是在不知道黎曼工作的情况下表述这一物理原理的，所以他没有用数学的语言或技巧来表述他的原理。从1912年到1915年，爱因斯坦用了备受挫折的3年时光，奋力研究一种足以表达他的原理的强有力的数学表述。爱因斯坦给他的密友、数学家格罗斯曼(Marcel Grossman)写了一封沮丧的信，信中恳求道：“格罗斯曼，你一定得帮助我，否则我会发疯的！”⁸

幸运的是，格罗斯曼在图书馆仔细查找解决爱因斯坦难题的一些线索时，偶然发现了黎曼的著作。格罗斯曼给爱因斯坦看了黎曼的工作和黎曼度规张量，这些工作已被物理学

家忽略了60年。爱因斯坦后来回忆道：格罗斯曼“检查了所有的文献，不久他就发现数学问题已经被黎曼、里奇(Ricci)、和莱维-齐维塔(Levi-Civita)所解决。……黎曼的成就是最伟大的”。

使爱因斯坦震惊的是，他发现黎曼1854年的著名演讲是解决问题的关键。他发现自己能用黎曼的全部工作重新表述他的原理。黎曼的伟大工作，几乎是逐字逐句地在爱因斯坦的原理中找到了真正的归宿。这是爱因斯坦最为自豪的一部分工作，它甚至超过了他的著名方程 $E = mc^2$ 。对黎曼著名的1854年演讲重新作出的物理解释，现在称为广义相对论，而爱因斯坦的场方程则属科学史上最深刻的思想之列。

我们回想一下，黎曼的伟大贡献是他引入了度规张量的概念，一种定义在空间各点的场。度规张量不是一个单一的数字。在空间的每一点，度规张量都是由10个数字组成的数组。爱因斯坦的方案，是跟从麦克斯韦的思想，建立引力场理论。他寻找一种场来描述引力，这一目标实际上在黎曼演讲的第一页上就可以找到。事实上，黎曼度规张量就是描述引力的法拉第场！

当爱因斯坦方程完全用黎曼度规张量表述时，它们采取了一种在物理学中从未见过的优美形式。诺贝尔奖得主钱德拉塞卡(Subrahmanyan Chandrasekhar)称它为“有史以来最优美的理论”。[事实上，爱因斯坦的理论如此简单而有力，以至于物理学家们有时对它起的作用如此奏效而困惑不解。麻省理工学院的物理学家韦斯科普夫(Victor Weisskopf)曾说道：“这就像向工程师询问蒸汽机怎么工作的农夫。工程师向农夫准确地解释蒸汽到哪儿去了，以及它怎样使蒸汽机运动的，等等。接着，这位农夫说：‘是的，我完全明白了，但是马在哪儿呢？’那就是我们对广义相对论的感觉。我知道所有的细节，

我也清楚蒸汽去哪儿了,但是我仍然不敢肯定我知道马在哪儿。”⁹]

回顾一下,我们现在看到在爱因斯坦之前 60 年,黎曼是多么接近于发现了引力理论。整个的数学方法在 1854 年已经足够了。黎曼的方程完全有能力描述任意维中最复杂的时空扭曲。然而,他缺乏物理绘景(质能决定时空曲率),也缺乏爱因斯坦所具有的深刻的物理洞察力。

住在弯曲空间中

我曾经在波上顿参加一次冰球比赛。当然,冰球运动员在冰场上滑行时,所有的活动都集中在他们身上。因为冰球正被运动员们迅速地前后击打着,从而使它在他们之间运动着。这件事提醒了我,原子在构成化学分子时是怎样交换电子的。我注意到,溜冰的冰场当然不参与比赛。它只是标明各种界线;它是冰球运动员得分的被动舞台。

接着,我设想如果溜冰的冰场主动地参与比赛,它一定会像什么样子?如果运动员被迫在一个有着连绵的山丘和陡峭的溪谷的表面弯曲的冰场打球,将发生什么情况?

冰球比赛突然变得更加有趣。运动员将不得不沿着曲面滑行。冰场的曲率将使他们的运动发生畸变,就像有“力”从这个或那个方向拉曳着运动员。冰球像蛇一样扭来扭去,从而使比赛更加困难。

然后,我更进一步设想,运动员被迫在形状像一个圆柱体的冰场上运动。如果运动员能产生足够大的速度,他们就能上下颠倒地滑行,并且能整圈地绕着这个圆柱体运动。可以设计新的策略,例如绕着圆柱上下颠倒地滑行,伏击一名对方运动员,在他不觉察时抓住他。一旦冰场被弯成圆圈状,在解

释物质在它表面上的运动时,空间就变成了决定性的因素。

再举一个与我们宇宙有关的例子,即生活在超球面(四维球面)提供的弯曲空间中。¹⁰如果我们朝前看,光将绕我们超球面的小圆周完整地转一周,回到我们的眼中。于是我们将看到,某人背对着我们站在我们的前面,穿着与我们一样的衣服。我们不以为然地看着这人随意而蓬乱的头发,接着记起那天我们忘了梳理自己的头发。

这个人是一个由镜子产生的假象吗?为了查明此事,我们伸出自己的手,放在此人的肩上。我们发现,在我们前面的这个人是一个真正的人而不是假象。事实上,如果我们向远处看,我们会看见无数完全相同的人,每个人都面向前面,每一个人的手都放在他前面那个人的肩上。

最使人感到震惊的是,我们感觉到某人的手从后面悄然伸来抓住我们的肩膀。使人惊骇的是,当我们向后看时,我们看到身后也有无数完全相同的人,他们也把脸转到了另一边。

真正发生的是什么呢?当然,我们是唯一生活在这个超球面上的人。在我们前面的人,其实就是我们自己。我们在盯着我们自己的后脑勺。把我们的手放在我们前面,我们实际上是把我们的手绕着超球面伸出去,直到把它放到我们自己的肩上。

超球面中可能发生的违背直觉的事情,在物理学上是很有趣的。因为,许多宇宙学家认为我们宇宙实际上是一个巨大的超球面。还存在着另一些同样奇特的拓扑结构,如超环面和默比乌斯带。虽然它们最终可能没有实际应用,却有助于阐明生活在超维空间中的许多特征。

例如,让我们假设我们正生活在超环面上。如果我们向左右观看,我们将大为惊讶地看到,在我们的左右都各有一人。光环绕着较大的环面圆周整整一周,重新回到它的出发

点。因此,如果我们扭转脑袋向左看,我们就会看到某人身体的右边。把我们的脑袋转向右边,我们看到某人身体的左边。无论我们的脑袋转得有多快,在我们前面和我们两边的人的脑袋正好也转得这么快,以至于我们从来不能看到他的脸。

现在设想把我们的胳膊伸向两边。在我们左右两边的人也将伸出他们的胳膊。事实上,如果你靠得很近,你就能拉住左边那个人的右手和右边那个人的左手。如果你仔细地看任何一个方向,你能看到一条无穷长的手拉手的人的直线。如果你朝前看,就会有另一条在你前面的人组成的无穷序列,他们排成一条直线,全都手拉着手。

实际上发生了什么呢? 实际上是我们的胳膊很长,从而可以绕过炸面圈似的环面,直到胳膊与胳膊相互触及。因此,我们实际上是握住了自己的手(图 4.2)!

现在,我们发现自己厌倦这种哑谜了。这些人似乎正在嘲弄我们,他们是盲目的模仿者,完全照我们做的样子做。我们勃然大怒——于是我们拿起一枝枪,瞄着我们前面的人。在我们要扣动扳机之时,我们问自己,这个人是一个假象吗? 如果是的话,那么子弹正好穿过他。但如果不是,那么子弹将绕宇宙完整地运行一周,最后从背后击中我们。或许在这个宇宙中开枪不是很妙的想法!

对于更加奇特的宇宙而言,设想住在一个默比乌斯带上,它像一条长长的纸带扭转了 180 度,然后再重新粘成一个环形带。当一个右撇子平面国人绕默比乌斯带走完整一周时,他发现自己变成了左撇子。绕着宇宙行进一周,方向就变反了。这就像威尔斯的“普拉特纳的故事”一样,在那个故事中,主人公在一场事故之后回到地球上,发现他的身体完全左右颠倒了,例如,他的心脏在右边。

如果我们住在超默比乌斯带上,眼睛盯着前方,我们将看

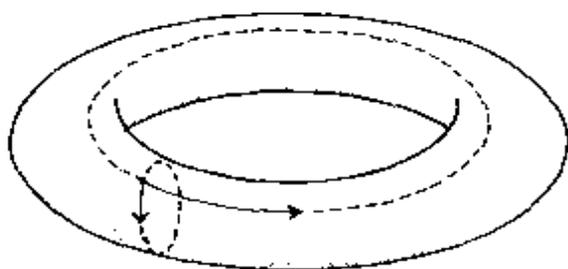
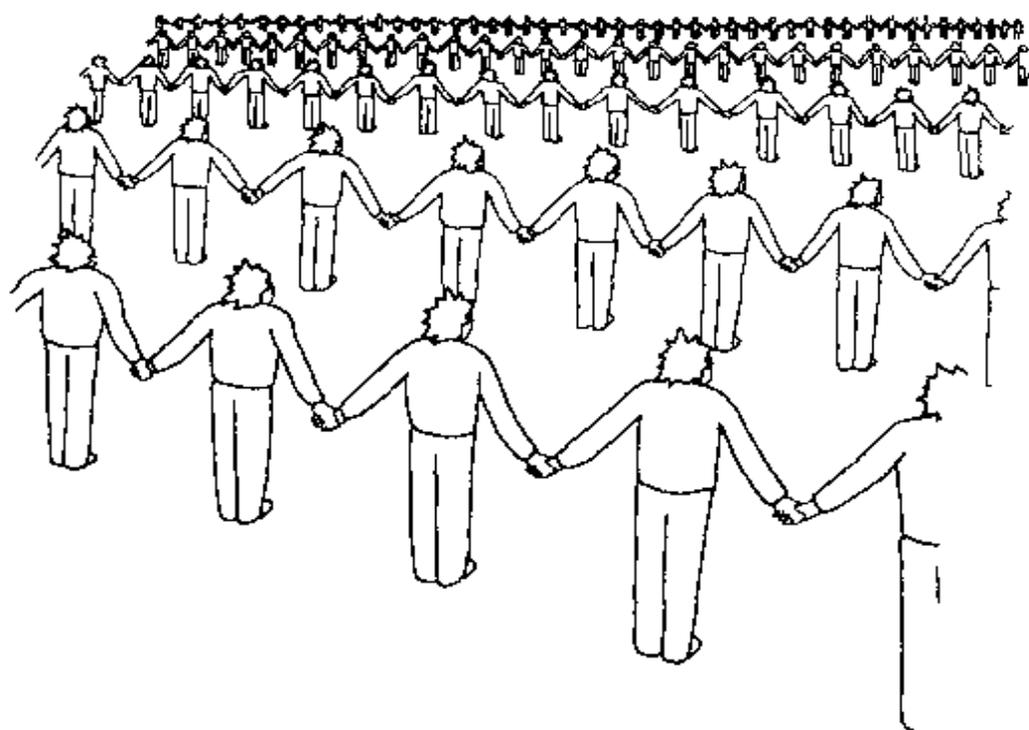


图 4.2 如果我们住在超环面上,我们可以看到无穷多的我们自己一个接一个重复地出现在我们的前面、背后和两边。这是因为光有两种绕超环面传播的方式。如果我们与自己两边的人手拉手,我们实际上是在与自己拉手;即我们的胳膊实际上绕这个“炸面圈”兜了一圈。

到某人的后脑勺。首先,我们不会想到它会是自己的脑袋,因为我们部分头发的方位已经改变了。如果我们伸出右手并且放在他的肩膀上,那么他将抬起左手并放到他前面那个人的肩上。事实上,我们能看到一个接一个的无穷长的人链,而且

在这个人链中每人都把他的手放在别人的肩上,只是这只手交替地从左肩换到了右肩。

如果我们在某处离开我们的一些朋友,绕这个宇宙完整地走一圈,我们将发现自己回到了原处。但是我们的朋友却震惊了,他们发现我们的身体左右倒置了。我们头上的部分头发和手指上的戒指到了相反的一边,我们的内脏器官被倒转过来。我们的朋友对我们身体的倒转大为惊讶,他们问我们感觉是否良好。事实上,我们的感觉完全正常,对于我们而言,是我们的朋友完全倒转了!这就产生了一场到底是谁真正被倒转了的争论。

当我们居住在空间和时间被弯曲的宇宙中时,就存在着这些和别的有趣的可能性。空间不再是被动的舞台,它变成了在我们的宇宙中上演的戏剧的主动表演者。

总之,我们看到爱因斯坦实现了60年前由黎曼开创的方案,这个方案就是用高维来简化自然定律。然而,爱因斯坦在几个方面超越了黎曼。像黎曼一样,爱因斯坦独立地意识到“力”是几何学的结果,但与黎曼不同的是,爱因斯坦能找到隐藏在几何学背后的物理原理,即时空的曲率由质能的存在而引起。爱因斯坦也像黎曼一样,知道引力可用某种场来描述,这种场就是度规张量,但是爱因斯坦能找出这些场遵守的精确的场方程。

大理石造的宇宙

20年代中叶,随着狭义相对论和广义相对论的建立,爱因斯坦在科学史中的地位得到了确立。1921年,天文学家已经证明光线在经过太阳传播时确实弯曲,这与爱因斯坦的预言完全一致。到那时,爱因斯坦已被赞誉为牛顿的继承人。

然而,爱因斯坦仍然不满足。他企图再拼搏一次,再创造一个世界级的理论。但是在他的第三次努力中,他失败了。他的第三个也是最后一个理论,将是在他一生中登峰造极的成就。他在寻找“万物至理”,这个理论将解释在自然界中发现的人们熟悉的所有的力,其中包括光和引力。他把这个理论称为统一场论。唉,他研究光和引力的统一理论没取得什么成果。在他去世时,他在办公桌上只留下了各种手稿,这些手稿上书写着他未完成的想法。

具有讽刺意味的是,爱因斯坦遭受挫折的根源,在于他的方程本身的结构。30年来,他被这一表述中一个基本的缺陷所困扰。方程的一边是时空曲率,他把它比作“大理石”,这是因为它有一种美丽的几何结构。对于爱因斯坦而言,时空曲率像是古希腊建筑的缩影,美丽而宁静。然而,他很不喜欢这个方程描述质能的另一边,他认为另一边是丑的,他把它比作“木头”。时空“大理石”清晰又精美,质能“木头”却是一堆令人讨厌的混杂物,它看上去形式杂乱,从亚原子粒子、原子、聚合物以及晶体,到岩石、树木、行星和恒星。但是,在20年代和30年代,当爱因斯坦积极从事统一场论研究工作的时候,物质的真正本性却还是一个未解之谜。

爱因斯坦的宏大方案,是把木头转化成大理石,即给物质一种完全是几何学的起源。但是,没有更多的物理线索和对木头的更深的物理认识,要完成这件事是不可能的。作为一种类比,设想生长在公园中心的巨大、粗糙而扭曲的树。建筑师用最纯的美丽的大理石块在这棵灰色的树四周盖起一座大厦。建筑师们小心地把这些大理石块装配成一种使人眼花缭乱的花卉图案,这个图案中有从这株树上长出的藤蔓和根。按照马赫原理的意义:树的存在决定了它四周的大理石的图案。但是,爱因斯坦对这种在丑陋而复杂的木头与简单而纯

粹的大理石之间的二分法深恶痛绝。他的梦想是把树转变成大理石；他喜欢有一座完全由大理石建造的大厦，在它的中心则有一个美丽而对称的大理石树雕像。

回顾起来，我们可能多半会看出爱因斯坦的错误。我们回想起，自然定律在高维中得到简化和统一。爱因斯坦正确地把这个原理使用了两次，一次是狭义相对论，另一次是广义相对论。然而，在他的第三次努力中，他抛弃了这个基本原理。在他的时代，对原子和原子核物质的结构知之甚微；结果就不清楚怎么将高维空间用来作为一种统一的原理。

爱因斯坦盲目地尝试了大量的纯数学方法。他显然认为“物质”能被看作时空的扭结、振动或畸变。在这一绘景中，物质是空间的一种浓缩的畸变。换句话说，我们看到的周围的一切，从树和云到天上的星星，都可能是一个幻觉，是某种形式的超空间褶皱。然而，没有更加过硬的线索或实验数据，这种思想便进入了死胡同。

下一步留给了一位默默无闻的数学家，它将我们引向第五维。

卡鲁查-克莱因理论的诞生

1919年4月，爱因斯坦收到一封信，这封信使他惊讶得说不出话来。

这封信来自德国哥尼斯堡大学，其所在地是前苏联的加里宁格勒，作者是一个不知名的数学家卡鲁查(Theodor Kaluza)。在这篇只有几页长的短文中，这位默默无闻的数学家正在提出解决本世纪最大难题之一的方案。在短短的几行中，卡鲁查正在通过引入第五维(即四个空间维和一个时间维)以统一爱因斯坦的引力理论和麦克斯韦的光理论。

实质上,他是在复活欣顿和策耳纳原来的“第四维”,把它以一种第五维的新形式结合到爱因斯坦的理论之中。像爱因斯坦之前的黎曼一样,卡鲁查假定光是由这高维的起伏所引起的扰动。这项新工作与黎曼、欣顿以及策耳纳工作的主要区别在于,卡鲁查正在提出一种真正的场理论。

在这封短信中,卡鲁查先在五维(而不是通常的四维)中相当简洁地写出爱因斯坦对引力建立的场方程。(我们回忆一下,黎曼度规张量可以在任意维中加以表述。)接着,他着手证明这些五维方程包含了爱因斯坦早期的四维理论(这是意料中的事情)和另一个附加部分。但是,使爱因斯坦震惊的是,这个附加部分恰恰就是麦克斯韦的光理论。换句话说,这位不知名的科学家正在一鼓作气地提出把科学上已知最伟大的两种场论(爱因斯坦的场理论和麦克斯韦的场理论)结合起来,即把它们混合在第五维中。这是一种由纯大理石建成的理论——即纯几何理论。

卡鲁查在把木头变成大理石的过程中找到了第一条重要线索。与公园的情况类似,我们回想大理石围墙是二维的。卡鲁查的观察是,如果我们能把大理石块向上移动进入三维中,那么我们就能够营造一颗大理石“树”。

对于一般的非专业人员而言,光和引力毫无共同之处。毕竟,光是一种熟悉的力,它表现为各种各样的颜色和形式,而引力则是看不见和远距离作用的。在地球上,是电磁力而不是引力帮助我们驯服自然;是电磁力为我们的机器提供了动力,为我们的城市供电,点亮了我们的霓虹灯广告,使我们的电视机发亮。相比之下,引力在更大的尺度上起作用,它是一种驾驭行星运动、阻止太阳爆炸的力。它是一种充斥宇宙并束缚住太阳系的宇宙力。[除韦伯和黎曼外,法拉第是最早在实验室中积极探索光和引力之间联系的科学家之一。法拉

第为测量这两种力之间的联系所用的实验仪器,如今仍可在伦敦的皮卡迪利皇家研究院中看到。虽然他未能用实验找到这两种力之间的任何联系,但是法拉第深信统一的威力。他写道,“如果这种(统一的)希望被证明是成立的,那么我试图研究的这种力就其不可改变的特征而言,该是多么伟大、多么有力而又多么惊人,这个可以启人心智的新的知识领域又该是何等博大啊。”^{11]}

甚至从数学角度讲,光和引力也像油和水一般。麦克斯韦的光场理论需要4个场方程,而爱因斯坦的引力场理论却需要10个场方程。卡鲁查的论文如此优美和有力,使得爱因斯坦不可能拒绝它。

乍一看,它好像只是一种数学上的雕虫小技,只是简单地把空间和时间的维数从四拓展到五。正如我们回想起来的那样,因为没有第四个空间维的实验证据。使爱因斯坦震惊的是,只要将五维场论分解成四维场论,麦克斯韦方程和爱因斯坦方程便依然故我。换句话说,卡鲁查成功地把两块拼图板拼接起来,因为它们都是一个大的整体的组成部分,这个整体就是五维空间。

“光”正作为高维空间的几何弯曲而出现。这正是似乎完成了黎曼旧梦的那种理论,这个梦想就是把力解释为一张纸的褶皱。卡鲁查在文章中声称,他的理论综合了到那时为止两种最重要的理论,拥有“实质上无法超越的统一性”。他还坚持说他的理论绝对简单和优美,而不“只是一出用眼花缭乱的情节感人的戏”。^{12]}使爱因斯坦震惊的是文章的创新和简单。像所有伟大的思想一样,卡鲁查的基本论证既优美又严密。

用把拼图板的各部分拼合起来作为类比,是有意义的一件事。回想一下,爱因斯坦和黎曼工作的出发点是度规张量——即定义在空间各点的10个数的集合。这是法拉第场

概念的自然推广。在图 2.3 中,我们看到这 10 个数字如何被排列成为一个 4×4 的棋盘。我们可以用 g_{11}, g_{12}, \dots 来代表这 10 个数。此外,麦克斯韦场是定义在空间每一点的 4 个数的集合。这 4 个数字可以用符号 A_1, A_2, A_3, A_4 来表示。

为了理解卡鲁查的技巧,现在让我们着手五维中的黎曼理论。这时度规张量可以排列成一个 5×5 的棋盘。现在按照定义,我们将重新命名卡鲁查的场分量,从而使得其中的一些分量成为爱因斯坦最初的场,另一部分则成为麦克斯韦的场(图 4.3)。这是卡鲁查技巧的本质所在,它完全出其不意地抓住了爱因斯坦的注意力。通过简单地把麦克斯韦场加到爱因斯坦场中,卡鲁查能把这两者重新组合成一个五维的场。

请注意,在黎曼五维引力的 15 个分量中,有“足够的地盘”来安置爱因斯坦场的 10 个分量和麦克斯韦场的 4 个分量!这样卡鲁查的光辉思想就可以粗略地概括为:

$$15 = 10 + 4 + 1$$

(剩余的分量是 1 个标量粒子,它对我们的讨论并不重要)。仔细分析整个五维理论时,我们发现正如卡鲁查所声称的那样,麦克斯韦场恰好包含在黎曼度规张量之中。于是,这个貌似天真的方程就很好地概括了本世纪极有发展前途的一种重要思想。

总之,五维度规张量既包含了麦克斯韦场,又包含了爱因斯坦度规张量。如此简单的思想竟能解释自然界中两种最基本的力——引力和光,这对于爱因斯坦而言似乎难以置信。

它只是一种娱人的把戏,还是一种占数术,或是一种魔法?事实上,爱因斯坦深深地被卡鲁查的信震惊了,他拒绝对这篇文章作出响应。他仔细思索这封信长达 2 年之久,对于那些推荐发表重要文章的人而言,这是一段非常长的时间。最后,他确信了这篇文章潜在的重要性,把它送往《普鲁士科

$$\begin{array}{c}
 \left(\begin{array}{cccc|c}
 g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & A_1 \\
 g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & A_2 \\
 g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & A_3 \\
 g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & A_4 \\
 \hline
 A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & \\
 \end{array} \right) \\
 \\
 = \left(\begin{array}{c|c}
 \text{爱因斯坦} & \text{麦克斯韦} \\
 \hline
 \text{麦克斯韦} & \\
 \end{array} \right)
 \end{array}$$

图 4.3 卡鲁查的光辉思想是在五维中写出黎曼度规。第五行和第五列就是麦克斯韦的电磁场,而剩下的 4×4 矩阵是爱因斯坦原先的四维度规。卡鲁查只是加进了另一维,就一下子统一了引力和光的理论。

学院会报》发表,并冠以一个给人深刻印象的题目“论物理学的统一问题”。

在物理学史上,没有人发现第四空间维的任何应用。自从黎曼以来,人们熟知高维数学美丽动人,但它没有物理用途。第一次,有人发现了第四空间维的应用:统一物理学定律!在某种意义上,卡鲁查正在提出爱因斯坦的四维“太小”,它不足以兼容电磁力和引力。

我们也可以从历史的角度看到卡鲁查的工作并非完全不可想象。大多数科学史家在提到卡鲁查的工作时都说第五维的思想是一个意外出现的闪电,它是完全出乎预料、完全原创性的。鉴于物理学研究的连续性,这些科学史家惊讶地发现了一条没有先例可循的正在开辟的科学新路。但是,他们的惊讶可能是由于他们不熟悉神秘主义者、文学家以及先锋派艺术家的非科学工作。对文化和历史背景较为周密的考察表明,卡鲁查的工作并不是一件完全不可预料的新事物。正如我们已经看到的那样,由于欣顿、策耳纳和其他人的工作,可能存在高维也许是艺术圈中唯一最为流行的准科学思想。从这种更大的文化观点出发,某个物理学家严肃对待欣顿关于光是第四空间维的振动这一广为人知的思想,就只是迟早的问题了。在这个意义上,黎曼的工作借助于欣顿和策耳纳的工作传给了文学和艺术界,接着可能通过卡鲁查的工作又转而回到科学界中。(在支持这一论点方面,近来弗罗因德披露了卡鲁查实际上不是第一个提出五维引力理论的人。爱因斯坦的对手努德斯特伦(Gunnar Nordström)实际上第一个发表了五维场理论,但是它太粗糙,没有把爱因斯坦和麦克斯韦的理论都包括进来。卡鲁查和努德斯特伦独立地试图利用第五维,这一事实表明,在大众文化中广泛传播的概念影响了他们的思想。¹³⁾

第五维

每一个物理学家在第一次面对第五维时都会受到相当的震惊。弗罗因德清楚地记得他第一次遇到第五维和更高维的精确时刻。这件事在他的思想中留下了深深的烙印。

1953年,在弗罗因德出生的国度罗马尼亚,那一年斯大林(Joseph Stalin)刚刚去世,弗罗因德则是大学一年级的新生,他参加了由弗伦恰努(George Vranceanu)主持的讲座。他清晰地记得听弗伦恰努讨论这样一个重要问题:为什么光和引力如此不相干?接着,讲演人提到了能够包含光理论和爱因斯坦引力方程的一种旧理论。其要义是应用在五维中表述的卡鲁查-克莱因理论。

弗罗因德被震惊了。这是一个令他大为惊讶的光辉思想。他虽然只是一个一年级的学生,却敢于提出显而易见的问题:这个卡鲁查-克莱因理论如何解释别的力呢?他问,“即使你使光和引力取得统一,你也不会取得任何结果,因为还有核力。”他意识到核力被排除在卡鲁查-克莱因理论之外。(事实上,在冷战的高峰时期,氢弹像一把利剑悬在地球上每个人的头上,它是以突然释放核力为基础的,而不是靠电磁力或引力。)

讲演者没有给出答案。仗着年轻气盛,弗罗因德脱口而出,“加上更多的维又会怎样呢?”

“但是,更多的多少维呢?”讲演者问道。

弗罗因德没想到这一点。他不想给出一个低的维数,因为别人已经作过尝试了。因此,他提出了不可能比这再高的维数:无穷维!¹⁴(不幸的是,对于这位早熟的物理学家而言,无穷维在物理学中似乎是不可能的。)

圆柱上的生命

面对第五维的初始震惊之后,大多数物理学家都开始发问了。事实上,卡鲁查理论提出的问题比它回答的问题还多。对卡鲁查提出的最显而易见的问题是:第五维在哪儿?因为所有能想见的实验都确凿地表明,我们居住在具有三个空间维和一个时间维的宇宙之中。这个使人为难的问题依然存在。

卡鲁查有一个聪明的回答。他的解决办法基本上与欣顿多年前提出的办法相同,即更高的维不是实验上可观测到的,它不同于别的维。事实上,它已坍塌到一个连原子也不能安置在其中的小范围之内。这样第五维就不只是一种用来处理电磁力和引力的数学技巧,而且它也是一个物理的维,这个物理维提供了一种胶合剂,从而把这两种基本的力统一为一种力,但是它太小了以至于根本测量不到。

沿着第五维方向行走的人,最终会发现他回到了自己的出发点。这是因为从拓扑学角度来考虑,第五维等同于一个圆,而宇宙等同于一个圆柱。

弗罗因德用这种方法来解释:

设想一些生活在直线国中的假想人,这个直线国只包含一条直线。在他们的整个历史中,他们都相信他们的世界就是一条直线。接着,直线国的一位科学家提出他们的世界不只是一维直线,而是一个二维世界。当有人问他这个神秘而不可观测的第二维在哪儿时,他回答说第二维卷曲成了一个小球。这样,直线国人实际上生活在一个长而细的圆柱面上。圆柱的直径太小,以至于无法被测量;事实上,这个直径是如此之小,以至于世界

看来就是一条直线。¹⁵

如果圆柱体的直径较大,直线国人能离开他们的宇宙,他们能垂直于他们的直线世界移动。换句话说,他们能完成维际旅行。在垂直于他们的直线国行走时,他们能遇到无穷多个平行的直线国,这些世界与他们的宇宙共存。他们进一步深入第二维时,最后将回到他们自己的直线国。

现在设想一些生活在平面上的平面国人。与上述情况相仿,平面国的一位科学家可能提出一种荒诞的主张,这个主张就是穿过第三维旅行是可能的。原则上,一个平面国人能从平面国的表面上浮起。当这个平面国人慢慢地向上飘浮到第三维中时,他的“眼睛”将难以置信地看到一系列别的平行宇宙,而且每一个宇宙都与他的宇宙共存。因为他的眼睛只能看到与平面国的这个面相平行的东西,所以他将看到出现在他面前的不同的平面国宇宙。如果平面国人飘浮得离他的平面很远很远,最终他将回到他原来的平面国宇宙。

现在,设想我们现在的三维世界实际上还有另一维,这一维已经卷曲成一个圆圈。为了便于讨论起见,我们假设这个第五维有10英尺长。只要跳到第五维中,我们就会立即从我们现在的宇宙中消失。一旦我们在第五维中走动,我们在走了10英尺后,就会发现我们又回到了自己的出发点。但是为什么第五维会在出发点卷曲成一个圆圈呢?1926年,数学家克莱因(Oskar Klein)对这一理论作了几点改进,他指出量子理论也许能解释第五维缩拢的原因。以此为基础,他推算出第五维的尺度是 10^{-33} 厘米(普朗克长度)。这个长度对任何可能的实验而言都实在太小了,以至于无法探知它的存在。(在今天,这一论据同样被用来证明十维理论的正确性。)

一方面,这意味着理论与实验相符,因为第五维太小,所以无法测量。另一方面,它也意味着第五维实在太小,因此人

们总也不能造出足够强大的机器来证明这个理论确实正确。[量子物理学家泡利(Wolfgang Pauli)对这些他不喜欢的理论都不予考虑,他用惯用的刻薄方式说道:“它连错都够不上。”言下之意是它们极不成熟,因此人们无法决定它们是否正确。鉴于无法检验卡鲁查理论这一事实,人们也可以说它连错都够不上。]

卡鲁查-克莱因理论的终结

卡鲁查-克莱因理论在为自然力提供某种纯几何学基础方面虽然很有希望,它却在20世纪30年代走到了尽头。一方面,物理学家们不相信第五维当真存在。克莱因关于第五维卷曲成一个尺度为普朗克长度的微小圆圈这一猜测是无法验证的。探测这个微小距离所需的能量是能够计算的,它就是所谓的普朗克能量,即 10^{28} 电子伏。这种巨额能量几乎超出了我们的理解力。它是禁铜在质子中的能量的一万亿亿倍(10^{20} 倍),这超出了我们在今后几个世纪中所能产生的任何物体的能量。

另一方面,物理学家们成群地离开这个研究领域,是因为发现了一种新的理论,它正在使科学界发生巨大的变革。由这种亚原子理论引发的浪潮彻底淹没了卡鲁查-克莱因理论的研究。这种新理论称为量子力学。它在今后60年中为卡鲁查-克莱因理论敲响了丧钟。更糟糕的是,量子力学向力的平滑的几何解释提出了挑战,用一份份离散的能量取代了它。

黎曼和爱因斯坦所提出的方案难道完全错了?

第二篇
十维中的统一

第五章

量子邪说

没有被量子理论震惊的人,就没有理解它。

——玻尔(Niels Bohr)

木头做成的宇宙

1925年,一种新的理论突然出现了。它以流星般令人目眩的速度推翻了自古希腊时代以来就一直持有的物质观念。它几乎毫不费力地克服了许多长期存在的基本问题,正是这些问题使物理学家们为难了好几个世纪。物质由什么组成?使物质结合成一个整体的又是什么?为什么物质以无穷多样的形式(比如气体、金属、岩石、流体、晶体、陶瓷、玻璃、闪电、恒星等等)出现?

这种新的理论被称为量子力学,它第一次给我们提供了用以揭开原子奥秘的详尽的方法。对于物理学家一度是禁区的亚原子世界,现在开始把它的秘密暴露开来。

为了理解这次革命击败其对手的速度有多快,我们注意到20世纪20年代初,一些科学家仍对“原子”的存在持严重的保留意见。他们轻蔑地说,那些不能在实验室里直接测量或观测的东西就是不存在的。但是在1925年和1926年,薛定谔(Erwin Schrödinger)、海森伯(Werner Heisenberg)以及另一些人,已经提出氢原子的近乎完整的数学描述。现在,他们从纯数学的角度,几乎能以无懈可击的精度来解释氢原子的所

有性质。到1930年,诸如狄拉克(Paul A. M. Dirac)这样的量子物理学家,已提出化学中的一切东西都能从第一性原理导出。他们甚至草率地主张,如果给一台计算机以足够的时间,他们就能预言在宇宙中所发现的物质的全部化学性质。对他们而言,化学将不再是基础科学,从现在起,它将是“应用物理学”。

量子力学的光辉,不仅包含了对原子世界奇妙性质的明确解释,而且也使爱因斯坦的工作黯然失色了好几十年。量子革命的首批受损者之一,就是爱因斯坦关于宇宙的几何理论。在高等研究院的大厅里,年轻的物理学家们开始窃窃私语:爱因斯坦越过了一座小山,而量子革命则完全越过他了。年轻一代蜂拥而读最近那些有关量子理论的文章,而不去读那些相对论理论。连研究院院长奥本海默(J. Robert Oppenheimer)也私下向他的一些密友说,爱因斯坦的工作无可救药地落在时代的后面。甚至爱因斯坦也开始认为他自己的工作是一个“古老的遗物”。

我们回想一下,爱因斯坦的梦想是建造一个由“大理石”做成的宇宙,即纯几何学的宇宙。爱因斯坦对物质的相对丑陋性深为反感,这种物质具有令人糊涂生厌的杂乱形式,爱因斯坦称之为“木头”。爱因斯坦的目标是从他的理论中永远消除这个瑕疵,把木头转变成大理石。他最终的希望是建立一个完全基于大理石的宇宙理论。使爱因斯坦震惊的是,他意识到量子理论是一种完全由木头做成的宇宙!具有讽刺意味的是,现在他好像是铸下了大错,宇宙显然是喜欢木头而不是大理石。

就木头和大理石的类比而言,我们回想一下,爱因斯坦想把大理石围栏中的树转变成一个大理石雕像,创造一个完全由大理石做成的花园。然而,量子物理学家们从相反的观点

处理问题。他们的梦想是抡起大锤彻底摧毁所有的大理石。把大理石碎片清除之后,他们将完全用木头布满整个花园。

事实上,量子理论使爱因斯坦大伤脑筋。几乎在任何意义上,量子理论都是爱因斯坦理论的对立面。爱因斯坦的广义相对论是一种宇宙的理论,是一种借助于平滑的空间和时间把恒星和星系结合在一起的理论。形成鲜明对照的是,量子理论是一种微宇宙理论,在这个微宇宙中亚原子粒子被类似于粒子的力结合在一起,这些力则在空洞无物的时空舞台上起舞。因此,这样两种理论是对立的。事实上,长达半个多世纪之久,由量子革命所引起的浪潮淹没了对力作几何学理解的一切尝试。

贯穿于本书始终的主题是,物理定律在高维中显得简单而且也能被统一。然而,1925年以后,随着量子邪说的出现,我们看到这一主题第一次遭到了严峻的挑战。事实上,此后60年中,直到80年代中期,量子异教徒们的思想一直主宰着物理学界,它几乎把黎曼和爱因斯坦的几何思想埋葬在大量无可辩驳的成功和极佳的实验胜利之下。

量子理论很快就开始给予我们一种详尽的框架,用它可描述这个看不见的宇宙:物质宇宙由原子和它的组成部分构成。大约有100种不同类型的原子,或元素,用这些材料我们可以营造在地球上甚至在太空中发现的所有已知的物质形式。原子则包含有绕原子核运动的电子,原子核又由质子和中子组成。实质上,爱因斯坦优美的几何理论与量子理论的主要差别,现在可以归纳如下。

1. 力由交换一份份能量——它们被称为量子——而产生。

与爱因斯坦的“力”的几何绘景相反,在量子理论中,光被分成微小的份额。这些光包叫做光子,它们的行为更像点状

粒子。当两个电子相互碰撞时,它们之间相互排斥,这并不是因为空间曲率,而是由于它们交换一个能量包,即交换了一个光子。

这些光子的能量以所谓的普朗克常量($h \approx 6.6 \times 10^{-34}$ 焦耳·秒)为单位来测量,几乎是无穷小的普朗克常量值意味着量子理论对牛顿定律作了微小的修正。这被称为量子修正,在描述我们熟悉的宏观世界时它可以被忽略。这就是在描述日常现象时为什么多半能不用量子理论的原因。然而,在对付微观亚原子世界时,鉴于亚原子粒子奇异而违背直觉的性质,这种量子修正就开始支配着所有的物理过程。

2. 不同的力由交换不同的量子所引起。

例如,弱力由交换另一种被称为 W 粒子(W 代表“弱”)的量子所致。类似地,把质子和中子结合在原子核内的强力由交换被称为 π 介子的亚原子粒子所致。实验上已在原子对撞机的废料中观察到了 W 玻色子和 π 介子,从而证明了这种处理的基本正确性。最后,把质子、中子甚至 π 介子结合在一起的亚核力则称作为胶子。

这样,我们就有了物理定律的一种新的“统一原理”。我们能把关于电磁力、弱力和强力的定律统一起来,其方法是假定在它们之间有各种不同的量子起着媒介作用。因此,四种力中的三种(不包括引力)通过量子理论而统一起来。这里没有用到几何学就给出了统一,好像与本书的主题以及到目前为止我们所考虑的每样东西都是矛盾的。

3. 我们决不能同时知道亚原子粒子的速度和位置。

这就是海森伯不确定性原理,它是最具争议的理论观点,但是它经受住了半个世纪来各种实验的挑战。没有一个实验与这个原理发生过偏离。

不确定性原理意味着我们决不能肯定一个电子的位置或

者速度。我们最多只能做到,计算电子以某一速度出现在某一地点的概率。情况并不像人们可能猜测的那样毫无希望,因为我们能用数学的严密性计算出发现那个电子的概率。虽然电子是一个点粒子,却伴随着一个遵守某种具有明确意义的方程的波。这个方程就是薛定谔波动方程。粗略地讲,波越大,在那里找到电子的概率就越大。

这样,量子理论就把波和粒子的概念合并为一个辩证统一体:自然界中基本的物质客体是粒子,但是在空间和时间中任意给定的地方发现一个粒子的概率则由概率波给出。同样,概率波遵守一个具有明确意义的数学方程,这个方程则是薛定谔给出的。

量子理论的疯狂之处在于,它把一切都归结为令人迷惑的概率。我们能很精确地预言电子束在通过一个带有小孔的屏幕时会有多少电子被散射。然而,我们决不能精确地知道哪一个电子将被散射到哪一个方向。这并不是仪器粗糙的原因;根据海森伯的理论,这是一种自然规律。

当然,这一表述具有令人不安的哲学含意。牛顿的观点认为宇宙是一只巨大的钟表。在时间开始的时刻上紧表的发条,从那时刻起表就开始走动,因为它遵守牛顿的三个运动定律;这种宇宙绘景现在被不确定性和机遇所取代。量子理论彻底推翻了牛顿用数学计算预言宇宙中所有粒子运动的梦想。

如果量子理论违背了我们的常识,那只是因为自然似乎不太在乎我们的常识。这些思想虽然看来似乎极其奇特而令人不安,它们却很容易在实验室中验证。这可以用著名的双缝实验来阐明。让我们设想把一束电子射向带有两个小缝的一块屏幕,在屏幕后面有一张底片。根据19世纪的经典物理,底片上应该有两个由穿过小孔的电子束所曝光的小斑点。

但是,当我们真的在实验室中做这个实验之后,我们却在底片上发现了某种干涉图样(一系列明暗相间的条纹),而干涉图样常常与像波一类的行为联系起来,并不是与粒子一类的行为相联系(图 5.1)。(产生干涉图样最简单的方法是你浸泡

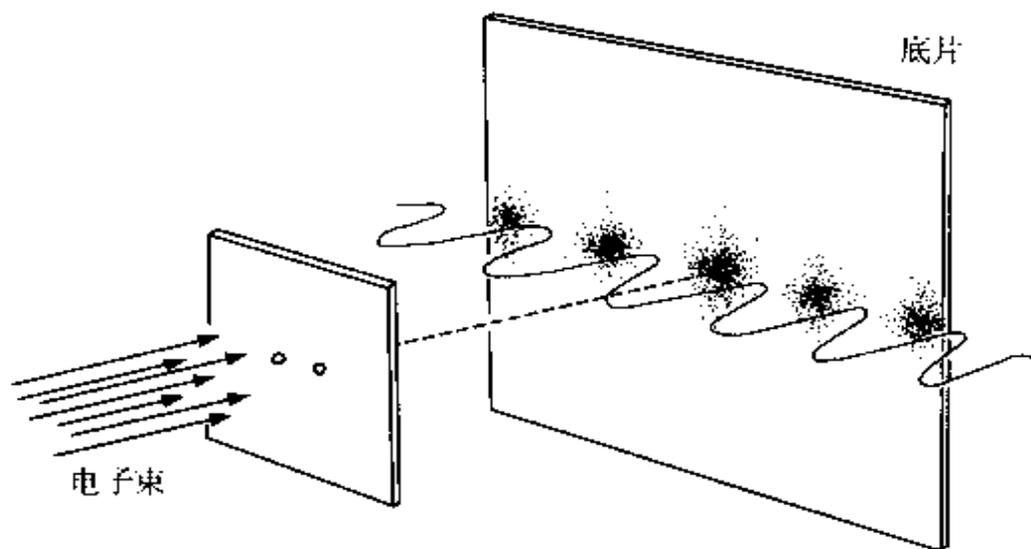


图 5.1 一束电子通过屏上的两个小孔,使底片曝光。我们预期在底片上看到两个小点。但是,实际上我们却看见了一个波纹形的干涉图样。这是怎么回事?按照量子理论,电子确实是点状粒子,它不能同时穿过两个小孔。但是与每个电子相联系的薛定谔波能够穿过两个小孔并与它自身相干涉。

在澡盆里,有节奏地在水面上击出水波。水面上纵横交叉的蜘蛛网似的水波图样就是干涉图样,它由许多波前的碰撞所造成。)相纸上的图样对应于一个波,这个波同时穿过两个孔,接着在屏幕后与它自己相干涉。因为干涉图样由许多单个电子的集体运动所产生,又因为波同时穿过两个孔,我们贸然得出一个荒谬的结论:电子以某种方式同时进入两个孔。但是,一个电子怎能同时处在两个地方呢?根据量子理论,电子确实是一个点粒子,它穿过这个或那个孔,但是电子的波函数却

扩展在整个空间,穿过两个孔,接着又与它自身相互作用。这个思想虽然使人不安,但它业已一再被实验所证实。正如物理学家金斯(James Jeans)曾说过的那样,“讨论电子占据多少空间,也许和讨论担心、焦虑或不确定性占据多少空间同样没有意义。”¹(我曾在德国见到一根汽车保险杠上的招贴简洁地概括了这种观念,它写道:“海森伯可能已经睡在这里。”)

4. 粒子有可能“穿透”或作一次量子跃迁而越过不可贯穿的势垒。

这是量子理论更令人震惊的预言之一。在原子水平上,这一预言极为成功。“隧穿”势垒或穿过势垒的量子跃迁已经经受了每一种实验的挑战。事实上,世界如果不存在隧穿现在反倒不可想象了。

演示量子隧穿之正确性的一个简单实验,是从在盒子里放一个电子开始。通常,电子没有足够的能量穿透盒壁。如果经典物理学是正确的,那么电子永远不会离开盒子。然而根据量子理论,电子的概率波将扩展到整个盒子中,并且渗往外部世界。通过壁的渗出量可以用薛定谔波动方程精确计算出来,即该电子有一个小的概率可位于盒外某处。它的另一种说法是,电子将以一个确定的小概率穿过势垒(盒壁),出现在盒外。在实验室中,当人们测量隧穿这些势垒的概率时,所得之结果与量子理论完全相符。

隐藏在隧道二极管背后的秘密正是这种量子隧穿。隧道二极管是一种纯量子力学器件。通常,电子不可能有足够的能量渗透穿过隧道二极管。然而,这些电子的波函数能够穿透该二极管中的势垒,因此,电子隧穿势垒出现在势垒另一边的概率是不可忽略的。当你听到美妙的立体声音乐时,请记住你是在听遵守量子力学的这条和其他古怪定律的数以万亿计的电子的节律。

但是,如果量子力学不正确,那么所有的电子仪器,包括电视机、计算机、收音机、立体声系统等等都将失去作用。(事实上,如果量子理论不正确,我们身体中的原子将崩溃,我们将立刻瓦解。根据麦克斯韦方程,在原子中自旋的电子将在一微秒之内丧失它们的能量并栽入原子核内。这种突然的坍塌被量子理论所阻止。这样,我们存在着这一事实乃是量子力学正确性的活生生的证明。)

这也意味着存在某一确定而可计算的发生“不可能”事件的概率。例如,我能计算出我将突然消失并隧穿地球重新出现在夏威夷的概率。(应该指出,我们等待出现这种事件所必需的时间比宇宙的寿命还长。因此,我们不能利用量子力学隧穿地球到达世界各地的度假胜地。)

杨-米尔斯场,麦克斯韦场的接班人

量子物理经过 30 年代和 40 年代科学史上史无前例的成功初创之后,到 60 年代已经开始衰退。用于分解原子核的大功率原子对撞机在核废料中发现了好几百种神秘的粒子。事实上,物理学家们淹没在从这些粒子加速器中涌出的大量实验数据之中。

爱因斯坦仅凭物理直觉揣摩广义相对论的整体框架,60 年代的粒子物理学家们则沉溺于大量的实验数据之中。例如,原子弹的制造者之一费米(Enrico Fermi)承认,“如果我能记住所有这些粒子的名字,那我就会变成一个植物学家了。”²就像在原子裂变废料中发现了几百种“基本”粒子一样,粒子物理学家们可以提出无数的方案来解释它们。所有的方案都不走运。不正确的方案实在是太多了,有时人们说亚原子物理理论的半衰期只有 2 年。

回顾那时出现在粒子物理中的所有死胡同和错误,使我们想起科学家和跳蚤的故事。

一位科学家训练一只跳蚤,让它在他每次摇铃之时跳跃。在显微镜下,他把跳蚤的一只腿麻醉之后摇铃,跳蚤仍然还跳。

然后,这位科学家麻醉了跳蚤的另一条腿,再摇铃,跳蚤仍然跳跃。

科学家麻醉的跳蚤腿越来越多,每次摇铃,每次都记录了那只跳蚤还是在跳。

最后,跳蚤只留下一条腿了。科学家麻醉这最后一条腿后,再摇铃,令他吃惊的是跳蚤不再跳动了。

然后,这位科学家庄严地宣布了他的结论,这一结论基于无可争辩的科学数据:跳蚤是通过它的腿听声音的!

虽然高能物理学家们常常觉得自己很像故事中的那位科学家,但是几十年后,关于物质的坚实的量子理论还是逐渐形成了。1971年,统一描述三种量子力(引力除外),并改变了理论物理学景观的关键性进展,由一位20岁出头的荷兰研究生霍夫特(Gerard 't Hooft)给出。

基于与光子(即光的量子)的类比,物理学家们认为弱力和强力由交换某种能量量子而产生,它们被称作为杨-米尔斯场。杨振宁和他的学生米尔斯(R. L. Mills)于1954年发现的杨-米尔斯场,是一个世纪前引入的用来描述光的麦克斯韦场的推广。所不同的是杨-米尔斯场有更多的分量,并且可以拥有电荷(光子则不带电荷)。对于弱相互作用,相应于杨-米尔斯场的量子是W粒子,这种粒子所带的电荷为+1,0和-1。对于强相互作用,相应于杨-米尔斯场的量子被称为胶子,它把质子和中子“胶合”在一起。

虽然这一普遍绘景十分令人信服,在50年代和60年代

使物理学家们困惑的难题却在于,杨-米尔斯场不是“可重正化的”;即当应用于简单相互作用时,杨-米尔斯场不产生有限和有意义的量。这就使量子理论在描述弱相互作用和强相互作用时变得没用了。量子物理学碰壁了。

这个问题所以产生,是因为物理学家们在计算当两个粒子相互碰撞时会发生什么现象时,他们用了所谓的微扰论。它说明物理学家们用了巧妙的近似方法。例如,在图 5.2(a)中,我们看到当一个电子与另一个弱相互作用粒子(难以捉摸的中微子)相撞时所发生的事情。作为一种初步猜想,这种相互作用可以用一幅图(称为费恩曼图)来表示。该图表明一个弱相互作用量子(W 粒子)在电子和中微子之间交换着。这给了我们一种粗糙然而合理地拟合实验数据的一级近似。

但是按照量子理论,我们还必须对这种初步猜想加一些小的量子修正。为了使我们的计算严密,我们还必须在费恩曼图中增添所有可能画出的图形,甚至包括带“圈”的图形,如图 5.2(b)所示。在理想情况下,这些量子修正应该是很小的。毕竟,像我们前面提到的那样,量子理论就意味着给牛顿物理学一个微小的量子修正。但是使物理学家们大为震惊的是,这些量子修正,或者说“圈图”,不是小量而是无穷大。无论物理学家们如何拼凑他们的方程,或者企图掩饰这些无穷大量,在对量子修正的任何计算中总是会得出这些发散。

此外,与较为简单的麦克斯韦场相比,杨-米尔斯场有着极难计算的可怕名声。围绕着杨-米尔斯场有一种神话,这就是说它在实际计算时实在是太复杂了。霍夫特可能是太幸运了,他只是一名研究生,没有被更“有经验的”物理学家的成见所影响。利用他的导师费尔特曼(Martinus Veltman)首创的技巧,霍夫特证明在任何时刻都会有“对称性破缺”(我们将在后面解释),杨-米尔斯场获得一个总体的但仍然是一种有限的

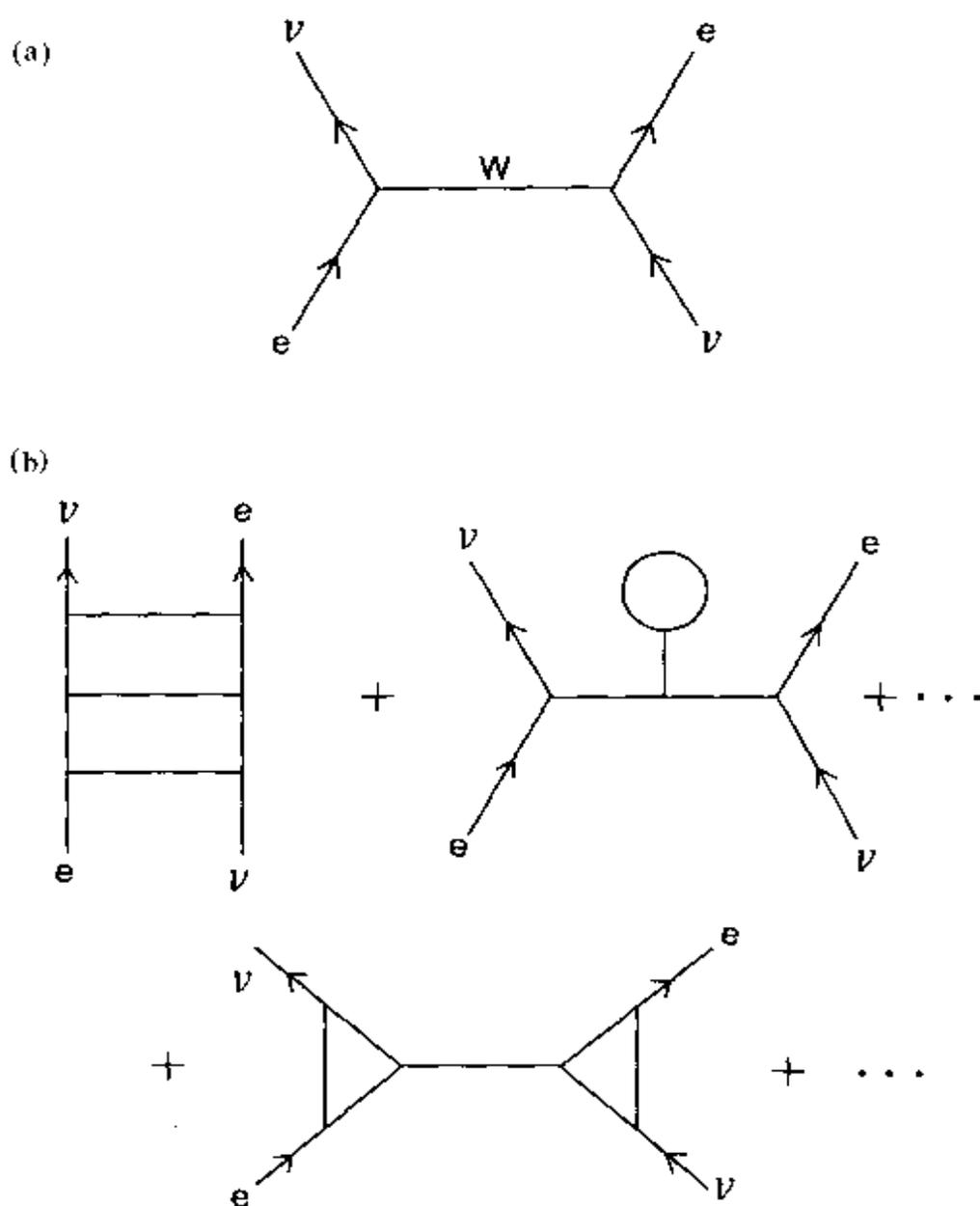


图 5.2 (a)在量子理论中,当亚原子粒子彼此碰撞时,它们交换能量包,或者说量子。电子和中微子通过交换一个叫做 W 粒子的弱力量子而相互作用。

(b)为了计算电子和中微子完整的相互作用,我们还必须加上无限多个图形,它们称为费恩曼图,这里量子以越来越复杂的几何图样进行交换。这种添加无穷多个费恩曼图的过程称为微扰论。

理论。他证明由圈图引起的无穷大都能被消除,或被慢慢地削减,直到它们变得无害为止。

几乎是在杨振宁和米尔斯提出他们的理论之后 20 年,霍夫特终于证明了杨-米尔斯场是一种明确界定的粒子相互作用理论。霍夫特这项工作的消息像一道闪光那样传开了。诺贝尔奖得主格拉肖(Sheldon Glashow)记得,当他听到这个消息时,他惊叹道:“这个小伙子不是一个十足的白痴,就是这些年来攻克物理难题的最大天才!”³ 进一步的发展接踵而来。最先于 1967 年由温伯格(Steven Weinberg)和萨拉姆(Abdus Salam)提出的弱相互作用理论,很快就被证明是正确的。到 70 年代中期,杨-米尔斯场被用于强相互作用。在 70 年代,人们已经很好地认识到,所有核物质的奥秘都能用杨-米尔斯场来揭开。

这就是拼图游戏中缺失的一块,把物质束缚在一起的木头的秘密是杨-米尔斯场,而不是爱因斯坦的几何学。物理学的中心课题好像是杨-米尔斯场,而并非几何学。

标准模型

今天,杨-米尔斯场已经使建立一种关于所有物质的无所不包理论成为可能。事实上,我们如此坚信这一理论,以至于满不在乎地称它为标准模型。

标准模型能解释关于亚原子粒子的所有实验数据,直到能量大约高达 1 万亿电子伏(用 1 万亿伏的电压加速一个电子而产生的能量)。这大约是现在运行中的原子对撞机的极限能量。因此,说标准模型是科学史上最成功的理论也并不为过。

根据标准模型,束缚各种粒子的每一种力都是通过交换

不同种类的量子而产生的。现在让我们来分别讨论每一种力,然后把它们结合成标准模型。

强 力

标准模型表明,质子、中子和其他重粒子根本不是基本粒子,而是由更小的叫做夸克的粒子组成。继而,这些夸克又具有各种不同的形式:3种“色”和6种“味”。(这些名称与真正的颜色和味道毫不相干。)这些夸克也有与之配对的反物质,它们叫做反夸克。(反物质在所有的方面都与物质相同,只是所带的电荷与其配对物质的电荷相反,它与通常的物质接触之后就会湮没。)这给予我们的夸克总数是: $3 \times 6 \times 2 = 36$ 种。

同样,夸克通过交换小的叫做胶子的能量包结合在一起。从数学的角度看,这些胶子由杨-米尔斯场来描述,杨-米尔斯场“凝结”成太妃糖似的粘乎乎的物质,这些物质把夸克永久“胶合”在一起。胶子场如此之有力,它把夸克紧紧束缚起来,以至于粘在一起的夸克从不能彼此分离。这就是所谓的夸克禁闭,它解释了为什么在实验中从不能观察到自由夸克。

例如,质子和中子,可以比作由一根Y型的弦(胶子)以流星锤式样结合在一起的3个小钢球(夸克)。另一些强相互作用粒子,如 π 介子,则可比作由单根弦紧紧束缚在一起的1个夸克和1个反夸克(图5.3)。

显然,如果踢这个奇妙的钢球装置,就可以使它振动起来。在量子世界中,只允许有一系列离散的振动。这组钢球或夸克的每一种振动,都相应于一种不同类型的亚原子粒子。因此,这种简单(但强有力)的绘景解释了存在着无穷多种强相互作用粒子的事实。描述强力的这一部分标准模型,称为量子色动力学(简称QCD)——它是色力的量子理论。

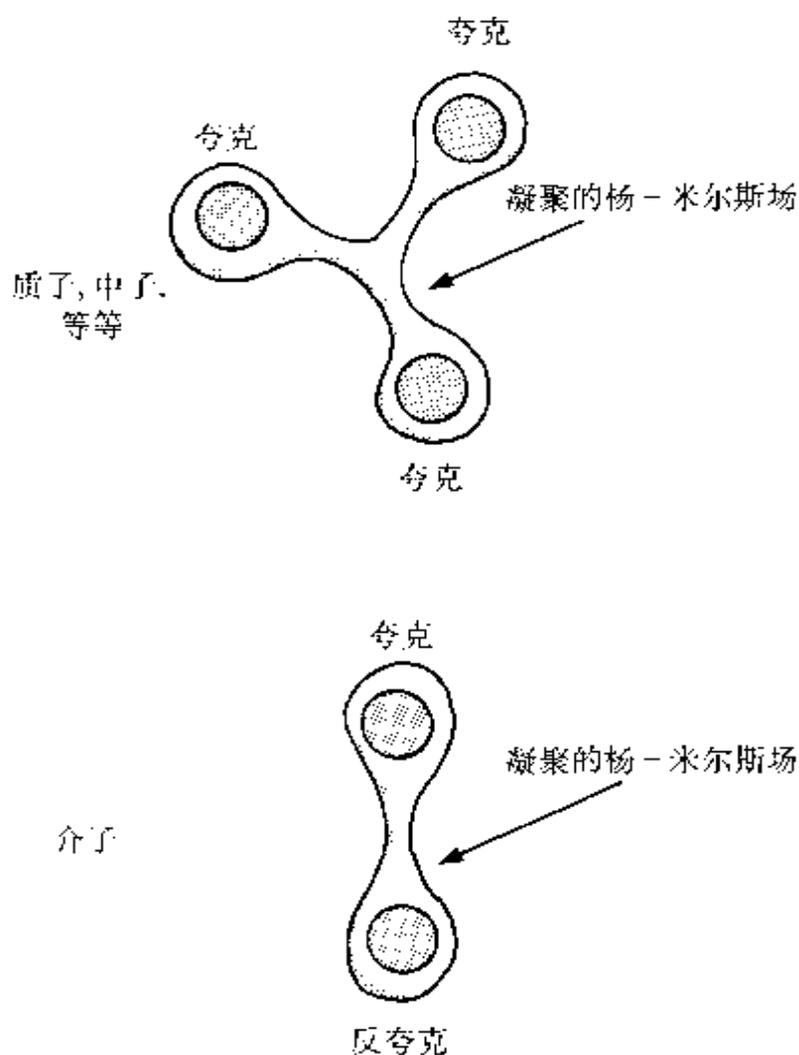


图 5.3 强相互作用的粒子实际上由更小的粒子组成, 这些粒子叫做夸克。夸克被太妃糖似的“胶”束缚在一起。这些胶则由杨-米尔斯场来描述。质子和中子各由 3 个夸克组成, 介子则由 1 个夸克和 1 个反夸克组成。

弱 力

在标准模型中, 弱力决定着“轻子”(比如电子, μ 子, τ 子

和与它们配对的中微子)的性质。像别的力一样,轻子通过交换量子而相互作用,这些量子称为W玻色子和Z玻色子。在数学上,这些量子也由杨-米尔斯场来描述。与胶子力不同,由交换W玻色子和Z玻色子产生的力非常之弱,以至于不能把轻子束缚成一个共振体,因此我们不会看到从我们的原子对撞机中出现无穷多种轻子。

电 磁 力

标准模型包含了与其他粒子相互作用的麦克斯韦理论。标准模型中决定电子和光相互作用的那一部分被称为量子电动力学(简称QED),实验已以千万分之一的精度证实它是正确的。从技术的角度讲,它是科学史上最为精确的理论。

总之,50年的研究和花几亿美元的政府基金所取得的成就,乃是给了我们亚原子物质的下述绘景:所有的物质均由夸克和轻子组成,它们通过交换不同类型的量子而相互作用,这些量子由麦克斯韦场和杨-米尔斯场来描述。一句话,我们已经抓住了过去百年来妨碍我们深入研究亚原子王国的要害。人们从这种简单绘景就能以纯数学的方式导出物质所具有的令人困惑的大量特征。(虽然现在看来这一切好像都非常容易,但是标准模型的创立者之一、诺贝尔奖得主温伯格却想起了发现标准模型的50年曲折历程。他写道,“理论物理有一种悠久的传统,它决不会影响到每一个人,但肯定是影响了我。那就是,强相互作用对人的心智而言真是过于复杂了。”⁴⁾)

物理学中的对称性

标准模型的细节实际上相当令人生厌而并不重要。标准模型最重要的特点,是它以对称性为基础。对物质(木头)进行这种研究的动因,正是在于我们能在这每一种相互作用中看到明白无误的对称性。夸克和轻子不是随机的,而是以确定的模式出现在标准模型中。

当然,对称性并不绝对是物理学家的领地。艺术家、作家、诗人和数学家也一直很欣赏在对称性中发现的美。对于诗人布莱克(William Blake)而言,对称性具有神秘甚至是令人畏惧的性质,正像他在诗“老虎!老虎!热烈的光亮”中所表达的那样:

老虎!老虎!燃烧的光焰,
在那黑夜的林莽中,
什么超凡的手眼,
才能造就你那可怕的对称?⁵

对于数学家卡洛尔来说,对称性代表一个熟悉而且几乎是很好玩的概念。在“蛇鲨之猎”中,他抓住了对称性的实质而写道:

你用木屑煮沸它,
你在胶中用盐水处理它,
你用刺槐把它浓缩成带,
却依然保持着主要的目的——
维持它那对称的形状。

换句话说,对称性就是把物体变换形式或旋转之后,它的形状仍然保持不变。有几种对称性在自然界中反复出现。第一种是旋转和反射对称性,例如,雪片在旋转 60 度之后仍保

持原样。万花筒、花或海星的对称性,就属于这种类型。我们把这些称为时空对称性,它是将一个物体绕某一维空间或时间旋转而产生的。狭义相对论的对称性就属于这种类型,因为它描述了空间和时间之间的旋转。

另一种类型的对称性,通过打乱后重组一组物体而产生。想想贝壳游戏,沿街小贩搅乱3个贝壳,其中一个贝壳下面扣有一颗豌豆。这种游戏的困难在于,可以用多种方法来组合这3个贝壳。事实上组合这3个贝壳的方法共有6种。因为豌豆藏在下面,这6种构形对于观察者是等同的。数学家喜欢给这些种类繁多的对称性起名。贝壳游戏的对称性被称为 S_3 ,它描述了3个相同的物体互相交换可以有多少种方式。

如果我们用夸克来代替贝壳,那么当我们把夸克打乱后重组时,粒子物理方程必须保持原样。如果我们重组3个带色的夸克,而且方程保持原样,那么我们就说该方程具有 $SU(3)$ 对称性。这里的3代表有3种颜色, SU 代表这种对称所具有的某种特殊的数学性质。^{*}我们说有3个夸克处于某个多重态。处于一个多重态的这些夸克,可以打乱后彼此重组而不改变这种理论的物理内容。

与此相似,弱力控制着电子和中微子这两种粒子的性质。交换这些粒子仍使方程不变的对称性,称为 $SU(2)$ 对称性。这意味着弱力的多重态包含一个电子和一个中微子,它们可以通过旋转而互相转换。最后,电磁力具有 $U(1)$ 对称性,它把麦克斯韦场的各个分量旋转成它自身。

这些对称性中的每一种都很简单而优美。然而,标准模型最具争议的一面,是它通过简单地把3种理论拼凑成1种

^{*} SU 表示“special unitary” matrices(“特殊酉”矩阵),也就是说,这些矩阵具有单位行列式并且是酉矩阵。

大的对称性而把3种基本力“统一”起来。这种大的对称性是 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$,它只是各个力的对称性之积。(这完全可与拼图游戏相比拟。如果我们有3块拼图板,它们并不很合适,但我们总是可以用透明胶带把它们粘接在一起。这就是标准模型的形成方式,即把3种各不相同的多重态粘在一起。这从美学上讲可能是不合适的,但是这3个拼图板现在至少是被胶带粘在一起了。)

理想上,人们也许希望有一种“终极理论”,使所有的粒子都仅仅处在一个多重态中。不幸的是,标准模型却有3个不同的多重态,它们之间不能相互旋转。

超越标准模型

标准模型的倡导者确实能说它与所有已知的实验数据符合得很好。他们能正确地指出没有任何实验结果与标准模型相矛盾。然而,甚至连它最热烈的支持者在内,也没人相信标准模型是物质的终极理论。有几个深刻的理由,说明了为什么标准模型不可能是终极理论。

首先,标准模型不描述引力,因此它必定不完备。当试图把爱因斯坦理论拼接到标准模型中时,所得的理论给出了没有意义的答案。比方说,当我们计算电子被引力场致偏的概率时,这种杂交理论给出了一个无穷大的概率,这是无意义的。物理学家说量子引力不可重整化,这意味着量子引力不能得出用以描述简单物理过程的有意义的有限数值。

其次,可能也是最重要的,标准模型很丑,因为它粗鲁地把3种截然不同的相互作用拼凑在一起。就我本人的观点而言,我认为标准模型可比作将3种完全不同的动物杂交,比如骡子、大象和鲸鱼。事实上,标准模型如此之丑陋和不自然,

甚至连它的发明者也感到有几分困窘。他们首先为它的缺点而抱歉,也承认它不会是终极理论。

在我们写出夸克和轻子的细节时,这种丑陋性是很明显的。为了阐述这种理论如何丑陋,让我们列出标准模型中的各种粒子和力。

1. 36种夸克,分为6种“味”和3种“色”;夸克和与它们配对的反物质描述了强相互作用。
2. 描述胶子的8种杨-米尔斯场;胶子则把夸克束缚住。
3. 描述弱力和电磁力的4种杨-米尔斯场。
4. 描述弱相互作用的6种轻子(包括电子、 μ 子、 τ 轻子,和与它们各自中微子配对的)。
5. 拼凑质量所必需的大量神秘的“希格斯”粒子以及描述这些粒子的各种常数。
6. 至少有19个任意常数,用来描述粒子的质量和各种相互作用的强度。这19个常数必须人为放进去,而不能以任何方式由理论来确定。

更糟的是,这个长长的粒子一览表可以分解成3个夸克和轻子“家族”,它们彼此间难以实际区分。事实上,这3个粒子家族似乎彼此精确地互为复制品,就假想的“基本”粒子的数目而言成了三重的累赘(图5.4)。(使人不安的是,我们知道,现在有大量更“基本”的粒子,它们超过了到40年代为止所发现的亚原子粒子的总数。它使人们想知道这些基本粒子究竟基本到什么程度。)

标准模型之丑陋性与爱因斯坦方程之简单性形成了鲜明对照;在爱因斯坦方程中,一切都是从第一性原理导出的。为了理解标准模型与爱因斯坦广义相对论之间的美学反差,我们必须认识到当物理学家在他们的理论中谈到“美”时,他们真正所指的是,他们的理论至少具备两种基本特征:



图 5.4 在标准模型中,第一代粒子包括“上”夸克和“下”夸克(有 3 种色,以及与它们配对的反粒子)、电子和中微子。标准模型令人难堪的性质是有 3 代这样的粒子,其中的每一代几乎都是前一代的精确的复制品。很难相信大自然竟会如此累赘地在很基础的水平上创造出 3 套同样的粒子复制品。

1. 某种统一的对称性;
2. 用最经济的数学表达式解释大量实验数据的能力。

标准模型在这两个方面是失败的。首先,如同我们已经看到的那样,它的对称性实际上是由3种较小的对称性构成,这3种对称性分别对应于3种力中的1种。其次,这种理论在形式上是笨拙而不便使用的。它无论如何都不会是经济的。例如,爱因斯坦方程,把它们全部写出来大约也不过1英寸长,它不会填满本书的一行。从这一行方程,我们就可以超越牛顿定律,导出空间的卷曲、大爆炸,以及其他在天文学上重要的现象。然而,仅仅完整地写下标准模型就需要用去这页纸的三分之二,看起来就像是那些复杂符号的大杂烩。

科学家们愿意相信,自然在其创生时就喜欢经济,它在创造物理学、生物学和化学的结构时似乎总是避免不必要的累赘。大自然创造大熊猫、蛋白质分子或者黑洞时,它很珍惜自己的设计。或者,如同诺贝尔奖得主杨振宁曾说过的那样,“大自然似乎利用了对称性定律的简单数学表示。当人们停下来思考有关数学推理之优雅与美妙的完整性,将它与复杂而深远的物理后果相对照时,就不能不因对称性定律之威力而油然产生深深的敬畏感。”⁶然而,在最基本的水平上,我们现在发现了对这一规则的严重破坏。这3个等同的家族中的每一个都与一批奇特的粒子相联系,它们的存在乃是标准模型最令人担忧的性质之一。它们向物理学家们提出一个历久不衰的难题:标准模型这个在科学史上极其成功的理论,难道仅仅由于它丑陋就该被遗弃吗?

美是必需的吗?

我曾经在波士顿参加一场音乐会。听众们显而易见地被贝多芬《第九交响曲》的强大震撼力所感动。音乐会之后,美妙的旋律仍然在我心中回荡。我碰巧从空空荡荡的乐池边走

过,在那里我注意到一些人惊奇地盯着音乐家们留下的乐谱。

我想,对于未受训练的眼睛,即使最感人的乐章的音符也一定只是一些难于辨认的波纹状的东西,它们更像一堆乱七八糟的涂写,而不像一件美丽的艺术品。然而对于一位受过训练的音乐家的耳朵来说,这大量的小节线、谱号、音调、升半音号、降半音号和音符都变得活生生的,并与心灵共鸣。音乐家只要扫一眼乐谱,就能“听到”美妙的和声与丰富的共鸣。因此,乐谱超越了其线条的总和。

同样,把诗定义为“按照某些规则组织起来的词的简短集合”是有害的。这个定义不仅乏味,而且根本不准确,因为它没有考虑诗和它在读者中激起的情绪之间的微妙的相互作用。诗凝结和传达了作者的感情与想象之精髓,所以诗比印在一张纸上的词更为真挚。例如,一首俳句诗中区区几个短语,就可能使读者进入一个情感和感受的新王国。

如同音乐或艺术那样,数学方程也会有某种自然的进程和逻辑,它们能在科学家中激起异乎寻常的热情。虽然,公众认为数学方程相当晦涩,但是对于科学家而言,一个方程更像是一部大型交响曲中的一个乐章。

简单,优美,是激发大艺术家创作传世名作的品质,它们同样也是激励科学家探索自然定律的品质。就像一件艺术品或一首动人诗篇一样,方程本身就具有某种美和韵律。

物理学家费恩曼表达了这一点,他说道,

你能通过真理的美与简单来认识真理。当你领会它之后,它是正确的就很明显了——至少在你有一些经验的情况下是这样——因为通常发生的情况是显露多于领悟。……外行,狂想者,以及诸如此类的人作出一些简单的猜想,但是你能立即看出他们错了,因此不在考虑之列。另外,没有经验的学生会作出非常复杂的猜想,这看

起来仿佛是正确的,但是我知道它并不正确,因为真理结果总是比你想象的简单。⁷

法国数学家庞加莱(Henri Poincaré)甚至更加坦率地表达了这种思想,他写道:“科学家不是因为自然有用而去研究它,他是因为喜欢它才去研究的,其所以喜欢它则是因为它美。如果自然不美,它将不值得探究,如果自然不值得探究,那么生命就不值得活下去了。”在某种意义上,物理学方程就像是自然之诗。它们简约且按某种规则组织起来,它们最美的东西是传达了大自然隐藏的对称性。

例如,我们回想一下,麦克斯韦方程组原来包含8个方程。这些方程不“美”。它们并不拥有很多对称性。它们原来的形式是丑的,但它们是每一个靠雷达、无线电、微波、激光或等离子体来谋生的物理学家和工程师的“饭碗”。这8个方程之于物理学家,就像侵权行为之于律师或听诊器之于医生。然而,当把时间作为第四维重写这组相当难看的方程之后,它就简化成了一个单一的张量方程。这就是物理学家所说的“美”,因为两个标准现在都已得到满足。通过增加维数,我们揭示了该理论真实的四维对称性,并可以用这单一的方程来解释大量的实验数据。

像我们一再看到的那样,增添高维导致了自然定律的简化。

今天,科学面临的难题之一是解释这些对称性的起源,特别是在亚原子世界。当我们的最大功率机器用1万亿电子伏以上的能量轰击原子核并把它们炸开之时,我们发现这些碎片可以按它们的对称性排列起来。当我们探测亚原子的距离时,无可非议地有某些异乎寻常而珍贵的事情正在发生着。

然而,科学的目的并不是惊叹自然定律之优雅,而是解释这些定律。从历史的观点看,亚原子物理学家面临的基本问

题是,我们并不清楚为什么这些对称性会出现在实验室里或黑板上。

这就是标准模型失败的确切原因。不管这一理论有多么成功,物理学家们普遍认为,必须用某种更高明的理论取代它。确定美的两项“检验”,它都不满足。它既没有一个单一的对称性群,又不能经济地描述亚原子世界。但更重要的是,标准模型没能解释这些对称性的起源。它们只是通过命令而拼凑起来,对它们的起源却没有更深刻的认识。

大统一理论

原子核的发现者、物理学家卢瑟福(Ernest Rutherford)曾经说过:“所有的科学,要么是物理学,要么是集邮。”⁸

他说这些话的意思是,科学由两部分组成。首先是物理学,它以物理定律或物理原理为基础。其次是分类学(“收集昆虫”或集邮)。这个名称源自古希腊语,它是指对你几乎一无所知的物质凭着表面上的相似之处进行归类。在这个意义上,标准模型不是真正的物理学,它更像是集邮。它根据一些表面的对称性来安排亚原子粒子,却对于对称性来于何处缺乏最起码的暗示。

同样,当达尔文把他的书起名为《物种起源》时,他已远远超出了对自然界种类繁多的生物作出合乎逻辑的解释的分类学。物理学所需要的,是《物种起源》这本书的对应物,它应该称为《对称性的起源》,它阐明的是在自然界中发现某些对称性的原因。

因为标准模型有很大的人为性,所以多年来人们一直在尝试超越它,并取得了种种成功。有一项出色的尝试称为大统一理论(简称GUT),在20世纪70年代末风行一时。它企

图把强、弱和电磁量子的对称性安排在一个更大的对称性群[如 $SU(5)$, $O(10)$, 或 $E(6)$]中来统一它们。大统一理论不是简单地把这三种力的对称性群拼凑在一起,而是试图从某种更大的对称性开始,这个对称性具有较少的任意常数和较少的假设。大统一理论的粒子数目大大超过了标准模型,但它的优点是现在用单一对称性群取代了丑陋的 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 。这些大统一理论最简单的对称性群称为 $SU(5)$,它用了 24 种杨-米尔斯场,但是至少所有这些杨-米尔斯场都属于某种单一的对称性,而不属于 3 种各别的对称性。

大统一理论的美学优点是,它们把强相互作用的夸克和弱相互作用的轻子置于同一基础之上。例如,在 $SU(5)$ 中,粒子的多重态由 3 个带色的夸克、1 个电子以及 1 个中微子组成。在 $SU(5)$ 旋转之下,这 5 个粒子可以相互转换,而不改变物理规律。

起初,大统一理论遭到了强烈的怀疑,因为三种基本力被统一起来的能量大约是 10^{24} 电子伏,只比普朗克能量稍稍小一点。这远远超过了地球上任何一个原子对撞机所产生的能量,这当然不会受欢迎。然而,物理学家们逐渐变得对大统一理论的想法感兴趣了,因为他们逐渐认识到这种理论有一种明确而可以检验的预言:质子衰变。

我们回忆一下,在标准模型中,像 $SU(3)$ 这种对称性可通过旋转使三种夸克互相转换,即一种多重态由三种夸克构成。这意味着每一种夸克在某种条件下(如交换一个杨-米尔斯粒子)能转变成另一种夸克。然而,夸克不能转变成电子。多重态不能相混。但在 $SU(5)$ 大统一理论中,在多重态之内有 5 个粒子能彼此转换:3 个夸克、1 个电子和 1 个中微子。这意味着,在某种情况下,人们能把质子(由夸克构成)转变成电子或中微子。换句话说,大统一理论认为质子(它在很长时期内

一直被认为是寿命无限长的稳定粒子)实际上是不稳定的。原则上,它也意味着宇宙中所有的原子最终都将蜕变成辐射。如果这是正确的话,它就意味着初等化学课上讲的那些稳定的化学元素实际上都是不稳定的。

这并不是说,应该预期我们躯体中的原子不久就会溃散成一阵辐射。计算得出质子衰变成轻子的时间是 10^{31} 年的数量级,它远远超出了宇宙的寿命(大约是150亿年到200亿年)。虽然这一时间尺度如此之长,却并未难倒实验家们。因为普通的一箱水中包含的质子为数极其众多,所以即使质子衰变的平均时间具有宇宙学时标,水箱中有某些质子将会衰变的概率还是可以测定的。

搜索质子衰变

在几年之内,这一抽象的理论计算被付诸检验:世界各地的几个物理学家小组做了几项耗资数百万美元的实验。灵敏到足以探测质子衰变的探测器的结构,需要使用昂贵而精密复杂的技术。首先,实验物理学家们需要建造探测质子衰变的巨大容器。其次,他们必须用富氢液体(如水或去污液)充满容器,这些富氢液体用特殊技术过滤,以滤去杂质和沾污物。更重要的是,他们必须把这些巨大的容器深深地埋在地下,从而免遭穿透力很强的宇宙射线的沾污。最后,他们必须建造数以千计的高灵敏度的探测器,记录由质子衰变发射的亚原子粒子的微弱径迹。

及至80年代末,世界各地已有6台巨大的探测器投入运行,如日本的神冈探测器,美国俄亥俄州克利夫兰附近的IMB(欧文、密歇根和布鲁克黑文的英文简写)探测器。它们包含大量的纯净液体(如水),重量范围从60吨到3300吨。(例

如,IMB探测器是世界上最大的探测器,它安装在伊利湖底下一个20立方米的盐矿空穴中。在纯净水中自发地衰变的质子将产生一个微观的闪光,它将被2048个光电管中的某些管子探测到。)

为了理解这些巨大探测器如何测量质子的寿命,作为类比,想一下美国的人口。我们知道普通美国人可望活到70岁左右。然而,我们不必等70年后去发现有人死亡。因为美国人如此之多,事实上美国人口大约超过了2.5亿,我们预期每几分钟就能发现有一些美国人死去。同样,最简单的SU(5)大统一理论预言,质子的半衰期大约是 10^{29} 年,即在 10^{29} 年之后,宇宙中的一半质子将已衰变。^{*}(相比之下,这大约要比宇宙本身的寿命长1000亿亿倍。)虽然这一寿命看起来好像极其漫长,但是那些探测器还是应该能看到这些稍纵即逝的罕见事件,因为在探测器中有着极其众多的质子。事实上,每吨水中含有的质子超过 10^{29} 个。有了这么多的质子,人们可以预期每年都会有一些质子发生衰变。

然而,无论实验物理学家等待了多久,他们都没有看到任何质子衰变的明确证据。如今,质子的寿命看来必定要超过 10^{32} 年。这就排除了较简单的大统一理论,但是大门对更复杂的大统一理论仍有可能敞开着。

最初,对大统一理论的激情在某种程度上进入了新闻媒体。对某种统一的物质理论之追求和对质子衰变的搜索,引起了科学制片人和作家们的注意。它在大众电视的“新星”节目几次播出,通俗读物和科学杂志中的大量文章也都在写它。然而,及至80年代末,这种大吹大擂偃旗息鼓了。无论物理

.....

* 半衰期是物质衰变一半所需的时间。经过2次半衰期,物质只剩下四分之一。

学家们等待质子衰变的时间有多长,质子就是不合作。寻找这一事件的各个国家花费了数千万美元,但它还是没有被发现。公众对大统一理论的兴趣开始低落。

质子仍可能衰变,大统一理论仍有可能被证明是正确的,但是物理学家们现在对于把大统一理论吹捧成“终极理论”却谨慎多了。这有几个原因。像标准模型一样,大统一理论并未提到引力。如果我们简单地把大统一理论与引力组合起来,那么这种理论将会产生一些无穷大的数,而这是没有意义的。像标准模型一样,大统一理论是不可重正化的。况且这一理论在极其巨大的能量下是确定的,这时我们预期一定会出现引力效应。所以,在大统一理论中缺少引力这一事实,便是一个严重的缺点。此外,它也为存在着3个相同的粒子家族所困扰。最后,这一理论不能预言诸如夸克质量之类的基本常量。大统一理论缺乏更大的物理原理,这种原理可以从第一性原理出发确定夸克的质量及其他常量。归根到底,大统一理论似乎还是在集邮。

基本难题在于,杨·米尔斯场不足以提供用来统一所有四种相互作用的“胶水”。由杨·米尔斯场描述的木头世界的威力,尚不足以阐明大理石世界。

休眠半个世纪之后,“爱因斯坦雪耻”的时候到了。

第六章

爱因斯坦雪耻

超对称是所有粒子完全统一的最终方案。

——萨拉姆(Abdus Salam)

卡鲁查-克莱因复兴

追求量子理论与引力的统一,被称为是“人类历史上最大的科学难题”,大众传媒称它为物理学“圣杯”,由此产生的理论称为“万物至理”。这是已使 20 世纪那些最优秀的头脑受挫的难题。毫无疑问,解决这个难题的人将赢得诺贝尔奖。

到 20 世纪 80 年代,物理学正在走进一条死胡同。引力顽固地单独分离出来,游离于其他三种力之外。具有讽刺意味的是,虽然引力的经典理论通过牛顿的工作而最先被人们所认识,引力的量子理论却是最晚被物理学家们所认识的一种相互作用。

所有的物理学巨人都试图攻克这个难题,但他们都失败了。爱因斯坦把他生命中的最后 30 年贡献给了统一场论。甚至连量子理论的奠基者之一、伟大的海森伯,也把他生命中最后几年光阴花在了追求他的那种统一场理论,还出版了一本专论这一主题的书。1958 年,海森伯甚至在无线电广播中说他和他的同事泡利最终成功地找到了统一场理论,而只是缺少一些技术细节。[新闻界获悉这个惊人的断言时,泡利则对海森伯过早地把它公之于众而大怒。泡利给他的合作者写

了一封信,它在一张白纸上加了如下的说明文字:“此图表明我能像提香(Titian)那样描绘世界,所缺少的只是—一些技术细节。”^{1]}

那年的晚些时候,泡利终于作有关海森伯-泡利统一场理论的讲演时,有许多性急的物理学家在场,他们急于想知道那些缺失的细节。然而,当他做完报告之后,讲演得到了各式各样的反应。玻尔最后站出来说:“我们一致同意你的理论是疯了。我们的分歧则在于它是否疯够了。”²事实上,人们已经为“最后的综合”付出了如此多的努力,以至于产生了某种怀疑主义的反冲。诺贝尔奖得主施温格(Julian Schwinger)曾说,“谁都渴望使所有的基本问题在他们自己的一生中得到回答,它只不过是折磨每一代物理学家的那种冲动的另一种症状。”³

然而,到80年代,经过半个世纪几乎不断的成功之后,“木头的量子理论”开始衰竭了。我能清清楚楚地记得劳累过度的年轻物理学家们在这期间的受挫感。每个人都感觉到,标准模型已被它本身的成功所葬送。它太成功了,以至于每一次国际物理学会议似乎只是批准它的一枚橡皮图章而已。所有的报告都谈到又找到另一种成功地支持了标准模型的冗烦的实验。在一次物理学会议上,我向后看了一下听众,发现有半数人正昏昏欲睡,而讲演者却一边一张张地显示图片,一边喃喃细语,以证明这些最新数据如何符合于标准模型。

我感到就像上一个世纪之交的物理学家,他们似乎也末日来临。他们花费几十年的时间乏味地填充各种气体谱线的图表,或者求解越来越复杂的金属表面所满足的麦克斯韦方程。因为标准模型有19个自由参量,它们可以被任意地“调节”到任何值,好比收音机的旋钮,我估计物理学家们将花费几十年去寻找所有那19个参量的精确值。

革命的时刻已经到来。吸引下一代物理学家的,乃是大理石的世界。

当然,有几个深奥的难题挡住了确立真正的量子引力理论之路。构造某种引力理论的一个难题是,引力弱得使人不知所措。例如,要用地球的整个质量使几张纸保持在我的书桌上。然而,用梳子梳一下我的头发,我就能克服地球的引力,用梳子吸起这几张纸。梳子上的电子要比整个地球的引力拉曳更强大。同样,如果我构造一个“原子”,但这个原子中的电子是由引力,而不是由电力被原子核吸引住,那么这个原子就会有宇宙那么大。

从经典力学角度,我们看到引力与电磁力相比是可忽略的,因此它极难测量。但是如果设法建立一种量子引力理论,那么局面就扭转了。由引力引起的量子修正,是普朗克能量的数量级,即约 10^{28} 电子伏,这个数字远远超过了本世纪地球上所能获得的能量。当我们企图建立某种完整的量子引力理论时,这种令人困惑的情况便进一步深化了。我们回忆一下,当量子物理学家企图将力量子化时,他们把它分解成微小的能量包,这个能量包被称为量子。如果你盲目地企图将引力理论量子化,那么你会推测它通过交换微小的引力包来起作用,这个引力包被称为引力子。在物质之间快速交换引力子,使得物质被引力束缚起来。在这种绘景中,使我们留在地面上而不至于以每小时 1000 千米的速度飞入太空的,乃是看不见地交换不计其数的极微小的引力子。但是,无论什么时候,物理学家们企图完成简单的计算,以推算出对牛顿和爱因斯坦引力定律的量子修正时,他们发现结果总是无穷大,因而毫无用处。

例如,让我们考察当两个带电的中性粒子彼此碰撞时会发生什么情况。为了计算这个理论的费恩曼图,我们必须采

取近似的方法,因此我们假想时空曲率是小的,因此黎曼度规张量接近于 1 。作为第一步猜测,我们假设时空接近于平坦,不弯曲,因此我们把度规张量的分量分解成 $g_{11} = 1 + h_{11}$,这里 1 在我们的方程里代表平坦, h_{11} 则是引力子场。(当然,爱因斯坦害怕量子物理学家们通过分解度规张量这种方式来破坏他的理论。这好像拿一块美丽的大理石,为了使它破碎而用大锤去砸它。)这种破坏完成之后,我们得出一种看起来规范的量子理论。在图 6.1(a)中,我们看到两个中性粒子交换一个引力量子,它用场 h 来标记。当我们将所有的圈图求和时,问题就出现了。我们发现它们是发散的,就像图 6.1(b)中那样。对于杨-米尔斯场,我们能用变戏法似的聪明技巧,使这些无穷大量或者渐渐消除,或者被吸收到某个不可测量的量中。然而,可以证明,把它们用于量子引力理论时,我们发现通常的重正化步骤完全失效了。事实上,半个多世纪来物理学家消除或吸收这些无穷大的努力都是无效的。换句话说,把大理石砸成碎片的艰苦努力可悲地失败了。

80年代初,一种奇妙的现象出现了。我们回想起卡鲁查-克莱因理论休眠了 60 年。但是,物理学家们在努力把引力与别的量子力统一起来时遭受的挫折太严重了,于是他们开始克服对不可见维和超空间的偏见。他们已准备采用某种替代方案,那就是卡鲁查-克莱因理论。

已故物理学家帕格尔斯总结了卡鲁查-克莱因理论复活这种令人激动的情形:

20 世纪 30 年代以后,卡鲁查-克莱因思想逐渐失去了支持,多年来它处于休眠状态。但是,近来当物理学家们寻求统一引力与其他力的每一种可能途径时,它再一次跳到了引人注目的地位。今天,与 20 年代相比,物理学家们要做的已不只是统一引力与电磁力——他们还想

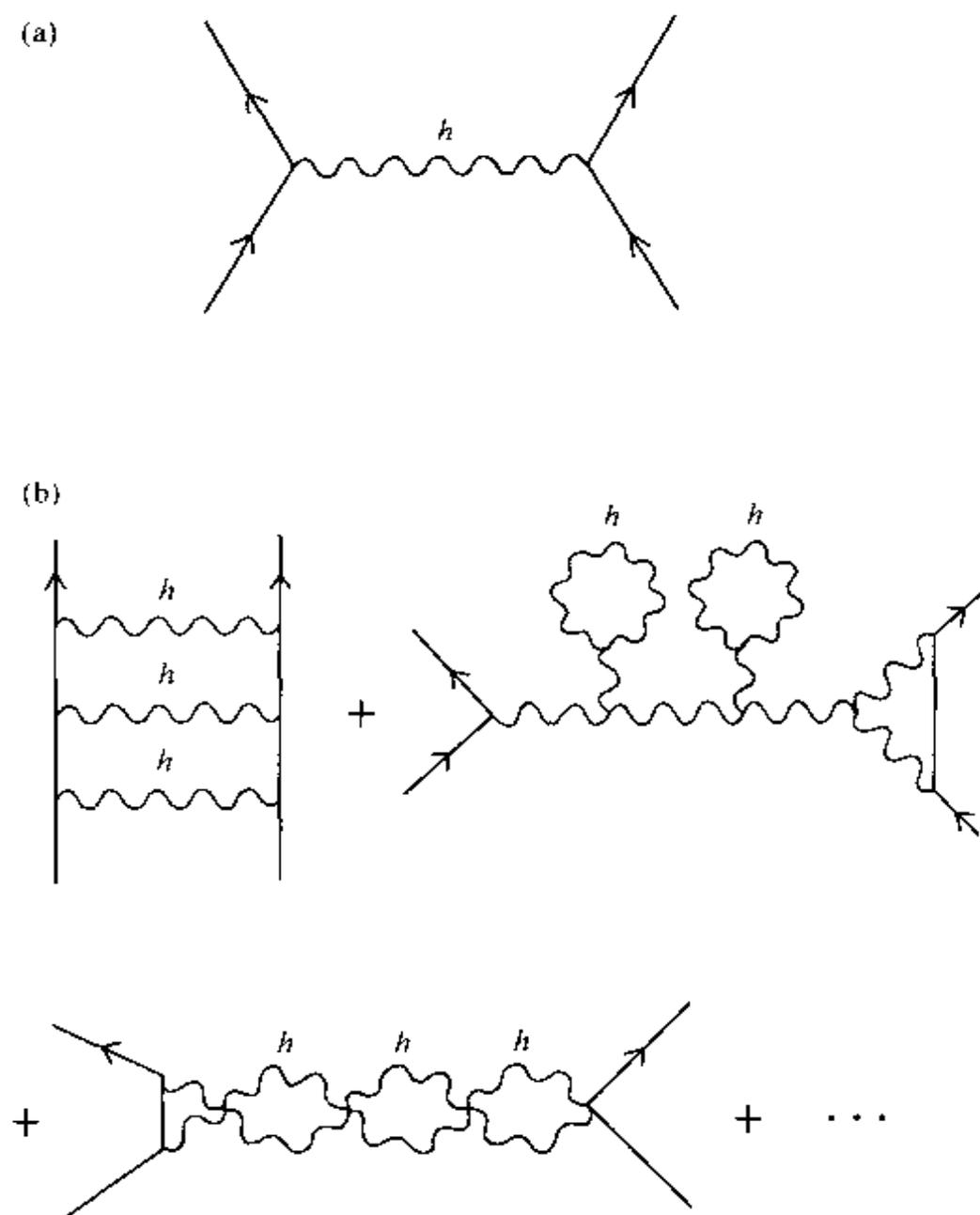


图 6.1(a)在量子理论中,引力量子称为引力子,用 h 表示。引力通过分解黎曼度规张量而构成。在这种理论中,物质通过交换这种引力包面相互作用。以这种方式,我们完全失去了爱因斯坦美丽的几何绘景。(b)不幸的是,所有圈图都是无穷大,这在过去半个世纪中阻碍了引力与量子理论的统一。将引力和其他力统一起来的量子引力理论乃是物理学“圣杯”。

把引力与弱相互作用以及强相互作用统一起来。这需要更多的维,而不只是第五维。⁴

连诺贝尔奖得主温伯格也被卡鲁查-克莱因理论激起的热情所感染。然而,仍有些物理学家对卡鲁查-克莱因的复兴持怀疑态度。哈佛大学的格奥尔基(Howard Georgi)在提醒温伯格从实验上观测这些已经紧卷起来的维是多么困难时,作了下面的一首诗:

温伯格从德克萨斯归来
带来许多维与我们为难
但一切多余的维
都卷成了一个球

它是多么微小啊与我们毫不相干。⁵

虽然卡鲁查-克莱因理论仍然不可重正化,但对该理论激发强烈兴趣的是它提供了用大理石构造某种理论的希望。将一堆丑陋感人的木头转变成单纯而优美的几何学大理石,当然是爱因斯坦的梦想。但是在20世纪30年代和40年代,人们对木头的本质几乎一无所知。然而,到了70年代,标准模型终于解开了木头的奥秘:物质由遵循 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 对称性的杨-米尔斯场结合在一起的夸克和轻子所组成。问题是如何从大理石导出这些粒子和神秘的对称性。

起初,那似乎是不可能的。毕竟,这些对称性是点粒子之间互相交换的结果。如果一个多重态中的 N 个夸克彼此打乱后重组,那么对称性就是 $SU(N)$ 。这些对称性似乎是木头独有的对称性,而不是大理石的对称性。 $SU(N)$ 与几何学又有什么关系呢?

把木头变成大理石

60年代出现了第一条小小的线索。当时,使物理学家们高兴的是,他们发现了另一种把对称性引进物理学中的方法。当物理学家们把旧的五维卡鲁查-克莱因理论扩展到 N 维时,他们意识到存在着将某种对称性施予超空间的自由。在第五维被卷曲起来时,他们看到麦克斯韦场跳出了黎曼度规。但是当 N 维被卷曲起来时,物理学家们发现著名的杨-米尔斯场(标准模型的关键)从他们的方程中跳了出来!

为了弄明白对称性怎样从空间出现,考虑一个普通的浮水气球。它有一种对称性:我们能把它绕自己的中心旋转,浮水气球仍保持它原有的形状。浮水气球的对称性,或者球的对称性,称为 $O(3)$ 对称性,或称为三维中的旋转。类似地,在更高的维中,也能让一个超球绕它的中心旋转,且保持其形状不变。这个超球所具有的对称性称为 $O(N)$ 。

现在考虑使浮水气球振动。在球表面形成了波纹。如果我们小心地以某种确定的方式振动浮水气球,那么我们就能在球面上诱导出规则的振动,这种振动称为共振。与普通的波纹不同,这些共振只能以某些确定的频率振动。事实上,如果我们使浮水气球振动得足够快,那么我们就产生某个确定频率的声调。这些振动又可由 $O(3)$ 对称性来分类。

像浮水气球一样,膜也能诱导共振频率,这一事实是一种普通的现象。例如,我们喉部的声带是一些被拉伸的膜,这些膜以确定的频率振动,或者说共振,因此能产生声调。另外一个例子是我们的听觉。各种类型的声波冲击我们的耳鼓,耳鼓接着就以一定的频率共振。这些振动继而被转变成电信号,这些电信号又被送进我们的大脑,大脑则将它们解释为声

音。这也是隐藏在电话背后的原理。包含在任何一部电话中的金属振动膜被电话线中的电信号驱动,这就在金属振动膜中造成了机械振动或共振,接着就产生了我们在电话中听到的声波。这也是立体声扬声器以及乐鼓背后暗含的原理。

对于超球而言,效果也是这样。它也像膜那样可以以各种频率共振,这些振动又可由它的 $O(N)$ 对称性所确定。另一方面,数学家们早已设想在高维中的更微妙复杂的表面,它们用复数来描述。(复数用到 -1 的平方根 $\sqrt{-1}$ 。)于是,这就直接表明,相应于复“超球”的对称性是 $SU(N)$ 。

现在关键在于:如果一个粒子的波函数沿着这个表面振动,那么它就将继承这种 $SU(N)$ 对称性。这样,在亚原子物理学中出现的这种神秘的对称性 $SU(N)$,现在就可以看作超空间振动的副产品!换句话说,我们现在对木头神秘的对称性的起源有了一种解释:它们确实是来源于大理石的隐藏着的对称性。

现在,我们如果取一种定义在 $4+N$ 维中的卡鲁查-克莱因理论,然后把 N 维卷曲起来,我们就发现方程分成了两块。第一块是通常的爱因斯坦方程,这是我们希望找到的。但第二块却不是麦克斯韦理论。我们发现,余下的正好就是杨-米尔斯场!它是所有亚原子物理学的基础。这是把木头对称性转变成大理石对称性的关键所在。

起初,木头对称性几乎自动从高维中显现出来仿佛很不可思议。木头对称性是通过不遗余力的尝试——即通过极其艰辛地检验从原子对撞机中产生的废料——而被发现的。极难想象,通过将夸克和轻子打乱重组而发现的对称性应该起源于超空间。有一种类比也许有助于我们理解这一点。物质也许可以比作没有形状和凹凸不平的粘土,它缺乏几何图案固有的美丽的对称性。然而,粘土可以被压成模具,模具则可

以有对称性。例如,如果模具绕某一角度旋转,它可以保持它原有的形状。这样,粘土也就继承了模具的对称性。粘土(像是物质)继承了它的对称性,是因为模具(像是时空)具有对称性。

如果这正确的话,那就意味着我们在夸克和轻子之间看到的奇特的对称性现在可以看作超空间中振动的副产品;这种对称性则基本上是几十年来偶然发现的。例如,如果那些看不见的维有 $SU(5)$ 对称性,那么我们就把 $SU(5)$ 大统一理论写成某种卡鲁查-克莱因理论。

这也能从黎曼度规张量中看到。我们想起黎曼度规张量除了有更多的分量以外,很类似于法拉第场。把方格棋盘中的第五列和第五行分出,我们就能将麦克斯韦场与爱因斯坦场分开来。现在,在 $(4+N)$ 维空间中实施与卡鲁查-克莱因理论同样的做法。如果你把这 N 行和 N 列与前面四行和四列分离开来,那么你将获得既描述爱因斯坦理论也描述杨-米尔斯理论的度规张量。如图 6.2 所示,我们已经刻画出一个 $(4+N)$ 维卡鲁查-克莱因理论的度规张量,图中已把爱因斯坦场与杨-米尔斯场分离开来。

显然,德克萨斯大学多年从事量子引力研究的物理学家德威特(Bryce DeWitt),是最先实施这种做法的物理学家之一。一旦找到了分解度规张量的诀窍,抽出杨-米尔斯场的计算就很简捷了。德威特觉得从 N 维引力理论中分离杨-米尔斯场在数学上如此简单,以至于在 1963 年法国的一次夏季物理学研讨班上,他竟将它作为一道家庭作业布置下去。[最近,弗罗因德披露克莱因早在 1938 年已独立发现了杨-米尔斯场,这要比杨振宁、米尔斯以及其他人的工作早几十年。在华沙举行的一次题为“新物理理论”的会议上,克莱因宣称他能将麦克斯韦的工作推广到包含某种更高的对称性 $O(3)$ 。

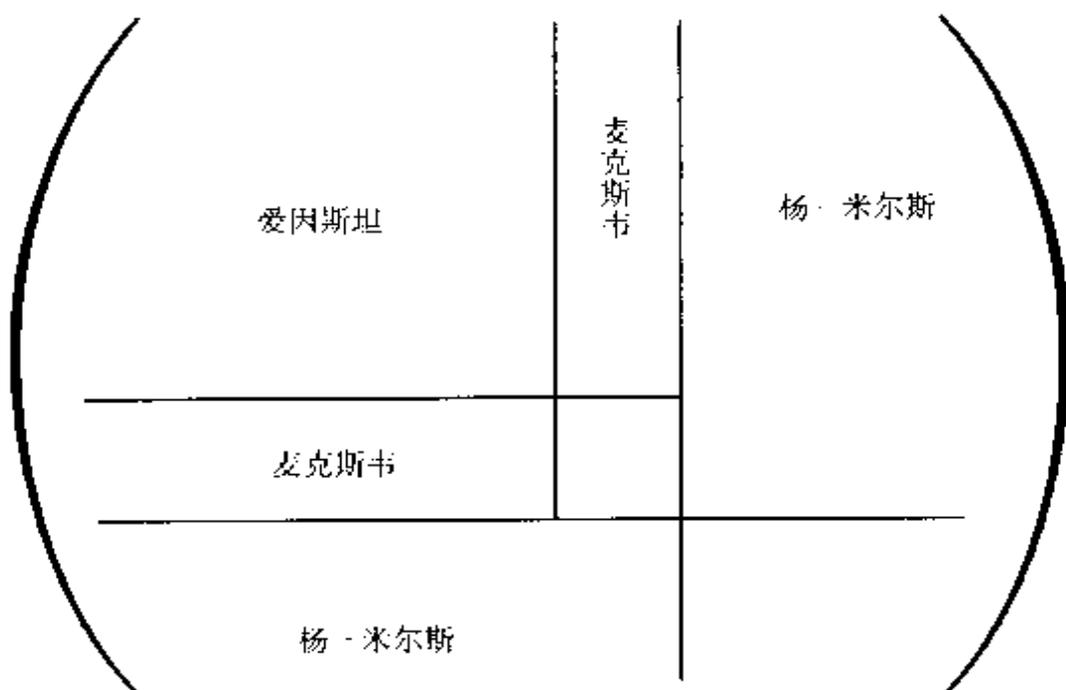


图 6.2 如果我们来到第 N 维,那么度规张量将是一连串 N^2 个数,这些数能排列成一个 $N \times N$ 的方块。把第五列和第五行和随后的各列各行切掉,我们就可以抽去麦克斯韦电磁场和杨-米尔斯场。这样,超空间理论便允许我们一下子把爱因斯坦场(描述引力)、麦克斯韦场(描述电磁力)以及杨-米尔斯场(描述弱力和强力)统一起来。这些基本力就像拼图板一样拼在一起。

不幸的是,第二次世界大战使一切陷入了混乱,而且卡鲁查-克莱因理论又被量子理论造成的狂热所埋葬,上述这项重要的工作被遗忘了。令人啼笑皆非的是,卡鲁查-克莱因理论因量子理论的出现而被扼杀,量子理论现在又以杨-米尔斯场为基础,而杨-米尔斯场则首先在分析卡鲁查-克莱因理论之后被发现。在建立量子理论的狂热之中,物理学家们忽略了源于卡鲁查-克莱因理论的一项核心发现。]

把杨-米尔斯场从卡鲁查-克莱因理论中提取出来还只是第一步。虽然木头的对称性现在可以看作源于看不见的维中

的隐藏的对称性,下一步却是完全由大理石来创造(由夸克和轻子构成的)木头本身。这下一步将被称为超引力。

超 引 力

把木头转变成大理石,仍然面临着一些棘手的问题。因为,根据标准模型,所有的粒子都在“自旋”。例如,我们现在知道木头由夸克和轻子构成。夸克和轻子都具有 $1/2$ 个量子自旋单位(以普朗克常量 \hbar 为测量单位)。具有半整数自旋($1/2, 3/2, 5/2$,等等)的粒子被称为费米子(以首先研究这些粒子的奇特性质的物理学家费米的姓氏命名)。然而,力由具有整数自旋的量子来描述。例如光的量子,即光子,具有1个自旋单位。杨米尔斯场亦是如此。假想的引力包,即引力子,则具有2个自旋单位。它们称为玻色子[以印度物理学家玻色(Satyendra Bose)的姓氏命名]。

传统上,量子理论使费米子和玻色子严格分开。把木头转变为大理石的任何努力,都将不可避免地认真对待这一事实:玻色子和费米子是性质不同的两个世界。例如, $SU(N)$ 可以把夸克打乱后重组,但费米子和玻色子却决不允许彼此相混。因此,当人们发现被称为超对称的新的对称性时,使人震惊的是它确实把玻色子和费米子混起来了。超对称的方程允许一个玻色子和一个费米子相交换而仍然保持方程的原貌。换句话说,一个超对称的多重态包含有相等数目的玻色子和费米子。在同一多重态内打乱并重组玻色子和费米子,超对称方程仍保持原样。

这给了我们一种把宇宙中所有粒子放进一个多重态的诱人的可能性!像诺贝尔奖得主萨拉姆所强调的那样,“超对称是所有粒子完全统一的最终方案。”

超对称以一种新型的数字系统为基础,这种数字系统将使所有的小学老师发晕。我们认为显然正确的大多数乘除运算,对超对称是无效的。例如,如果 a 和 b 是两个“超数”,那么 $a \times b = -b \times a$ 。当然,这对普通的数而言是绝对不可能的。通常,任何小学老师都会抛弃这些超数,因为你能证明如果 $a \times a = -a \times a$,那么换句话说就是 $a \times a = 0$ 。如果这些数是普通的数,那么这将意味着 $a = 0$,数的系统就此崩溃了。然而,由于是超数,因此数的系统并不会崩溃,我们有一种相当惊人的说法,那就是甚至 $a \neq 0$ 也可以有 $a \times a = 0$ 。虽然这些超数违背了我们自童年以来学到的有关数的几乎一切知识,但是可以证明,它们产生了某种自洽而非常不平凡的系统。显然,可以以它们为基础建立一种全新的超级算法系统。

不久,3位物理学家,即石溪纽约州立大学的弗里德曼(Daniel Freedman)、费拉拉(Sergio Ferrara)和范尼乌文赫伊曾(Peter van Nieuwenhuizen),于1976年建立了超引力理论。超引力理论是构造一个完全由大理石组成的世界的首次实际尝试。在超对称理论中,所有的粒子都有超配偶子,它们被称为超粒子。石溪小组的超引力理论只包含两种场:自旋为2的引力子场(它是一个玻色子)及其自旋为3/2的配偶子,后者被称为引力微子(意思是“几乎没有引力”)。因为这些粒子还不足以把标准模型包括进来,人们又尝试把这一理论与更复杂的粒子匹配起来。

将物质包括在内的最简单的办法,是在11维空间中建立超引力理论。为了在11维中建立超卡鲁查-克莱因理论,人们必须大大增加黎曼张量中的分量,现在它就变成了超黎曼张量。为了理解超引力如何把木头转变成大理石,让我们写出度规张量,并说明超引力如何设法把爱因斯坦场、杨-米尔斯场以及物质场都装进一个超引力场(图6.3)。这个图的基

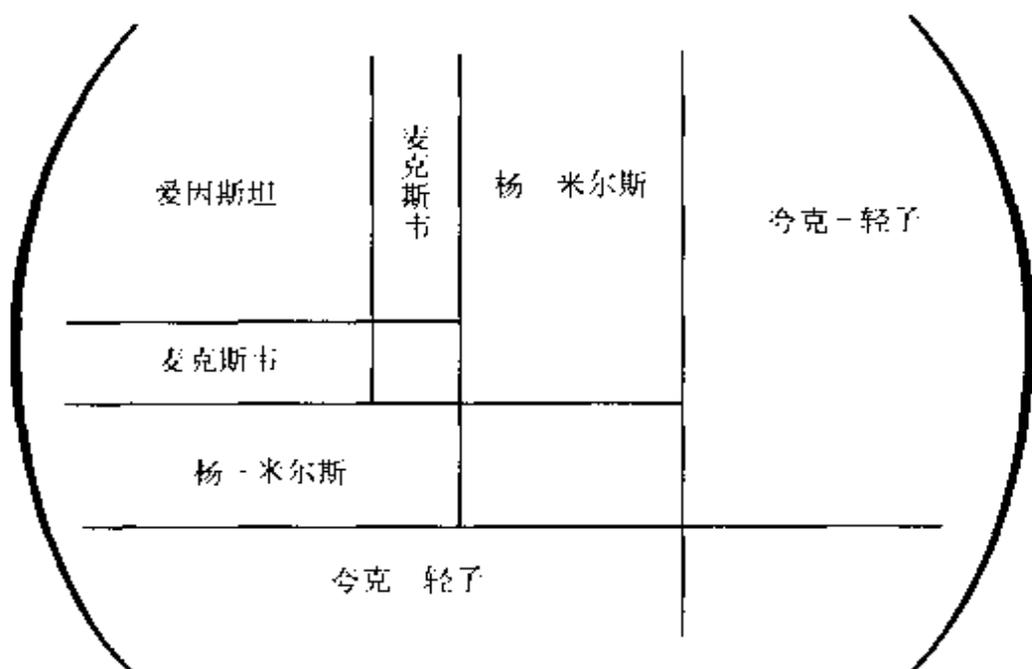


图 6.3 超引力几乎圆了爱因斯坦的梦,这个梦就是用纯几何学导出宇宙中所有的力和粒子。为了理解这一点,注意如果我们把超对称性加进黎曼度规张量中,那么该度规的大小就翻了一番,从而给出了超黎曼度规。超黎曼张量的新分量相应于夸克和轻子。通过把超黎曼张量分解成它的分量,我们发现它几乎包含了自然界中所有的基本粒子和力:爱因斯坦的引力理论,杨-米尔斯场和麦克斯韦场,以及夸克和轻子。但是在这个绘景中还缺失某些粒子,这一事实迫使我们走向某种更具威力的表述:超弦理论。

本特点是,物质以及杨-米尔斯方程和爱因斯坦方程现在包容在同一个 11 维的超引力场中。超对称性是在超引力场中把木头转变成大理石且反之亦然对称性。于是,它们乃是同一种力的各种表现,这种力叫做超力。木头不再作为一种单一的孤立实体存在。它现在与大理石合并而形成了超大理石(图 6.4)!

这种超统一的意义给超引力的创始人之一物理学家范尼

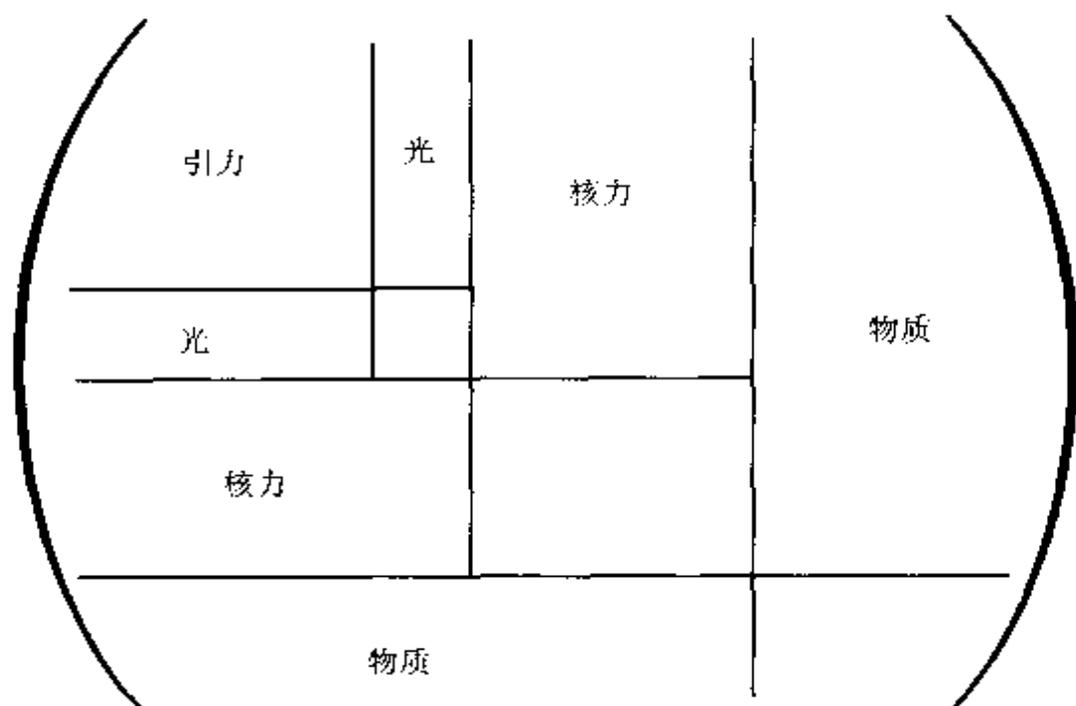


图 6.4 在超引力中,我们几乎取得了所有已知的力(大理石)和物质(木头)的某种统一。就像拼图板那样,它们在黎曼度规张量之内拼合。这几乎圆了爱因斯坦的梦。

乌文赫伊曾留下了很深的印象。他写道,超引力“可以将大统一理论……和引力统一起来,从而导致一个几乎没有自由参数的模型。它是在费米子和玻色子之间具有某种定域规范对称性的唯一理论。它是已知的最美丽的规范理论,事实上,它如此之美,以至于大自然应该知道它!”⁶

我高兴地记得在许多超引力会议上听演讲和做报告。有一种强烈而令人振奋的感觉,那就是我们已离某些很重要的事情不远了。在莫斯科的一次会议上,我牢记着一系列为超引力理论之成功而举杯相庆的热烈场面。好像在忽略了 60 年之后,我们最终已接近于实现爱因斯坦大理石宇宙的梦想。我们有些人戏谑地称它为“爱因斯坦雪耻”。

1980 年 4 月 29 日,宇宙学家霍金(Stephen Hawking)接受

了卢卡逊教授职位(这一职位过去曾由物理学中一些不朽人物包括牛顿和狄拉克所拥有),他做了一个讲演,冠以质疑性的题目:“理论物理学的尽头离我们不远了吗?”一个学生代他读道:“我们在近几年取得了大量的进展,并且像我将要描述的那样,有某些理由可使我们抱谨慎的乐观态度,这种乐观就是,现在在座的一些人,有可能在他们的有生之年看到某种完备的理论。”

超引力的声誉逐渐传播到普通公众之中,甚至在某些宗教团体中也开始有了追随者。如,“统一”的概念是超脱静坐运动的核心信念。所以,它的信徒们出版了大量宣传品,其中包含有描述 11 维超引力的完整方程。他们声称,方程中的每一项代表一些特定的东西,如“融洽”、“爱”、“兄弟关系”等等。(这个广告悬挂在石溪理论研究所的墙上。这是我第一次意识到理论物理学中的一个抽象方程已在一个宗教团体中引发了一批追随者!)

超度规张量

彼得·范尼乌文赫伊曾在物理学界是一个相当精力充沛而惹人注目的人物。他高高的个儿,褐色的皮肤,健美的外表,整洁的衣着,看起来不像一位超引力的最初发起人,倒更像电视上推销防晒油的演员。他是一名荷兰物理学家,现在是石溪的教授。他是费尔特曼的学生,前面说过霍夫特也是,所以他对统一问题一直很感兴趣。他是我见到的能不被大量的数学工作弄得精疲力尽的少数物理学家之一。在超引力方面工作,需要相当大的耐心。我们回忆一下,由黎曼在 19 世纪引进的简单度规张量只有 10 个分量。黎曼度规张量现在已被超引力的超度规张量所取代,后者在字面上有好几百个

分量。这并不奇怪,因为具有较高维数并声称统一所有物质的任何理论都必须具有足够的分量来描述它,但是这极大地增加了方程的数学复杂性。(有时我会想,如果黎曼知道了一个世纪之后他的度规张量发展成了比一位19世纪的数学家所能设想的任何东西还要大许多倍的超度规时,他将会怎么想。)

超引力和超度规张量的出现,意味着研究生必须掌握的数学的份量已经在过去10年中迅速膨胀。正如温伯格所观察的那样,“看看超引力发生了什么?过去10年中一直在这个领域中工作的那些人是非常聪明的。他们中的一些人比我在年轻时认识的任何人都聪明。”⁷

彼得不只是一个出类拔萃的计算者,而且还是一位标新立异的带头人。因为计算超引力的一个方程就能很容易超过一张纸,他后来就开始用艺术家的大号写生簿。一天,我走进他的房间,看他怎么工作。他从写生簿的左上角开始,用他那微小的字迹书写方程。他在写生簿上一连几个小时地写啊写,写满了一张又一张。他唯一被打断的时间是把铅笔插进旁边的电子卷笔刀中,接着在几秒钟内他又一个符号也不丢地继续进行他的计算。最后,他把这些艺术家的写生簿存放在他的书架上,好像是一卷卷科学杂志。彼得的写生簿逐渐在校园里变得尽人皆知。不久写生簿开始出现在校园里,所有的物理系研究生都开始购买这种笨重的艺术家的写生簿。人们可以看见学生们笨拙地夹着这些写生簿,但是这些学生却为自己胳膊下面的写生簿骄傲不已。

有一次,彼得、他的朋友保罗·汤森(Paul Townsend,现在在剑桥大学)和我正在共同研究一个极其困难的超引力问题。计算如此之困难,以至于花去了好几百页纸。因为我们之中没人敢完全相信自己的计算,我们便决定在我的餐厅里碰头,

一起核对我们的工作。我们面临着一次使人气馁的挑战。几千项必须加起来,结果必须精确等于零。(通常,我们这些理论物理学家能在我们的脑子里“想见”大堆的方程,而不一定要用纸来计算。然而,由于这个难题绝对冗长而棘手,我们必须检查计算中的每一个正负号。)

然后,我们把问题划分成几大块。我们坐在饭厅餐桌周围,每人都忙碌地计算着同一块。大约一小时以后,我们交叉检查我们的结果。通常我们三人中有两人的结果是正确的,第三个人就会被要求找出他的错误。然后,我们将继续下一块,重复着同样的过程,直到我们三人获得一致的答案。这个重复的交叉检查一直延续到晚上。我们知道,在几百页纸中甚至一个错误就会使我们的计算毫无价值。最后,恰好午夜时分,我们查完结论性的、最后的一项。不出所料,结果是零。接着我们为我们的结果举杯相庆。(艰苦的计算必定已使甚至像彼得那样不知疲倦的强劳力精疲力竭。离开我的寓所之后,他很快就忘了他妻子的新公寓是在曼哈顿的什么地方。他敲了公寓的好几个单元门,但得到的是愤怒的回答,原来他找错了楼。经过无效的寻找之后,彼得和保罗好不容易才返回到石溪。因为彼得忘了调换离合器电缆,结果电缆拉断了。他们不得不去推动汽车。最后,在清晨5点,他们乘着破车疲惫不堪地进入了石溪!)

超引力的衰落

然而,评论家们逐渐开始看到了超引力的问题。在尽力搜索之后,在任何实验中都没有看到超粒子。例如,自旋为 $1/2$ 的电子并没有任何自旋为 0 的配偶子。事实上,目前在我们的低能世界里完全没有超粒子的实验证据。然而,工作

在这一领域的物理学家们坚信,在宇宙创生的巨大能量中,所有的粒子都有它们的超配偶子相陪伴。只有在这个不可思议的能量中,我们才能看到一个完全超对称的世界。

但是,在几年的热烈兴趣和好几十次国际讨论会之后,情况变得明朗了。这种理论不能被正确地量子化,从而暂时打消了纯粹由大理石构成某种理论的梦想。就像每一次企图完全用大理石构造某种物质理论的尝试一样,超引力的失败有一个很简单的理由:不管什么时候我们试图从这些理论计算一些数,总会得到一些无意义的无穷大。超引力理论尽管比原来的卡鲁查-克莱因理论具有较少的无穷大,但它仍然不可重正化。

还有一些别的问题。超引力所能包含的最高对称性被称为 $O(8)$,这种对称性太小了,尚不足以容纳标准模型的对称性。看来,超引力只是迈向某种统一的宇宙理论这一漫长旅程的又一步。它治愈了一个难题(将木头转变成大理石),却又成了其他几种顽疾的牺牲品。然而,恰好在人们对超引力的兴趣开始衰退之时,另一种新的理论出现了,它可能是人们曾经提出过的最奇特而又最有力的物理学理论:十维超弦理论。

第七章

超 弦

弦理论本是 21 世纪的物理学,却偶然地落到了
20 世纪。

——威滕(Edward Witten)

新泽西州普林斯顿高等研究院的威滕主导着理论物理学界。威滕现在是“这帮人的领袖”,最卓越的高能物理学家,他像毕加索确定着艺术界的潮流那样,确定了物理学界的潮流。数以百计的物理学家虔诚地追随着他的工作,以了解他的突破性思想。普林斯顿的一位同事特赖曼(Samuel Treiman)说,“他出类拔萃,使一群群人走上一条条新路。他给出了人们渴望的优美而令人惊叹的证明,他们对此敬畏不已。”接着,特赖曼总结道,“我们不应该过于随意地与爱因斯坦相提并论,但是谈论威滕的时候……”¹

威滕出生于一个物理学家的家庭。他父亲路易斯·威滕(Louis Witten)是辛辛那提大学物理学教授,爱因斯坦广义相对论的一流学术权威。(事实上,他的父亲有时说他对物理学最大的贡献是生了他的儿子。)他妻子纳皮(Chiara Nappi)也是普林斯顿高等研究院的一位理论物理学家。

威滕不像别的物理学家。许多物理学家在早年(如在初中或者甚至在小学)就开始了物理学的浪漫经历。威滕一反惯例,开始在布兰代斯大学主修历史,并对语言学有着浓厚的兴趣。1971 年毕业之后,他为麦戈文(George McGovern)竞

选总统效力。麦戈文写了一封推荐他上研究生院的信。威滕在《国家》和《新共和》上发表过文章。(在访谈威滕后,《科学美国人》评论道:“是的,世界上可争议的最聪明的一个人是一位自由民主党人。”²⁾

但是,威滕一旦决定选择物理学作为他的职业,就玩命地学习物理学。他成为普林斯顿的研究生,在哈佛任教,继而在28岁时飞速成为普林斯顿的正教授。他还荣获了卓有声望的麦克阿瑟研究员职席(有时被新闻界谑称为获得了“天才”奖)。他的工作的派生结果,深深影响了数学界。1990年,他被授予堪称数学界诺贝尔奖的菲尔兹奖章。

然而,大多数时间,威滕坐下来呆呆地凝视窗外,在他的脑子里熟练摆弄和调整着大量的方程组。他妻子提到:“他除了在心里盘算以外从不计算,我却是在弄明白我正在做的是什麼之前已写满了整页整页的算式,但是爱德华只是坐下来写一个减号,或者只是写个2倍。”³⁾威滕说:“大多数没有接受物理学熏陶的人,可能认为物理学家做着非常复杂的计算问题,但那不是问题的要害。要害在于,物理学是一些概念,不理解这些概念,就无从了解世界运行的原理。”⁴⁾

威滕的下一个计划,是他的经历中最渴望得到和最冒险的。一个称为超弦理论的新理论在物理学界引起了轰动,宣称这是一个能把爱因斯坦的引力理论与量子理论统一起来的理论,然而,威滕不满足于超弦理论目前被表述的方式。他下决心解决超弦理论的起源这一难题,它可能被证明是朝着解释宇宙创生时刻跨出的决定性一步。这一理论的关键,即令其威力如此巨大而无与匹敌的因素,乃是其独特的几何学:弦只有在10维和26维中才能自治地振动。

粒子是什么？

弦理论的精髓是它能解释物质和时空的本质，即木头和大理石的本质。弦理论回答了一系列关于粒子的疑难问题，如，为什么在自然界中有着如此众多的粒子。我们研究亚原子粒子的本质越深，我们发现的粒子就越多。当前的好几百种亚原子粒子组成了一个庞大的“动物园”，它们的性质层出不穷。甚至在标准模型中，“基本粒子”也多得令人困惑不已。弦理论回答了这个问题，因为大约为质子大小的1万亿亿分之一的弦在振动，每一种振动模式代表一种独特的共振或粒子。弦非常非常小，因此从远处看弦的共振与粒子是不可区分的。只有当我们设法放大这个粒子，才能看出它根本不是一个点，而是一条以某种模式振动的弦。

在这一绘景中，每一个亚原子粒子相应于一种以特有的频率振动的特有的共振。共振的思想在日常生活中是熟悉的。设想在淋浴室中唱歌的例子。虽然我们固有的声音可能虚弱、细微或者不稳，但我们知道，我们突然在淋浴室里成了一名歌星。这是因为，我们声波在淋浴室的墙壁之间快速来回反射着。那些容易纳入淋浴室墙内的振动被放大了许多倍，从而导致了共鸣声。此种特定的振动，被称为共振，而其他振动（它们的声波波长大小不合适）则被消去。

或者设想一根小提琴弦，它能以不同的频率振动，从而产生了诸如A、B和C这样的音。能在弦上留下的只是在琴弦的端点消失（因为琴弦被紧拧在末端），并在两端点之间有整数个起伏的那些振动模式。原则上，弦能以无穷多个不同频率中的任意一个频率振动。我们知道，音本身并不是最基本的东西。音A也不比音B更基本。然而，更为基本的却是弦

本身。不必把每一个音与别的音孤立开来进行研究。通过理解琴弦怎么振动,我们立即理解了无穷多个音的性质。

同样,宇宙中的粒子本身并不是基本的。电子并不比中微子更基本。粒子所以貌似基本,只是因为我们的显微镜尚不足以揭示它们的结构而已。根据弦理论,如果我们能设法放大一个点粒子,我们实际上就将看到一根小的振动弦。事实上,根据这种理论,物质只不过是这根振动弦产生的和声。因为对于小提琴而言,它能组成无穷多的和声,所以振动的弦能构成无穷多的物质形式。这就解释了自然界中粒子的丰富性。同样,物理定律可以比作弦上所允许的和声定律。由无数的振动弦组成的宇宙本身则可比作一首交响曲。

弦理论不仅能解释粒子的本质,而且也能解释时空的本质。当一根弦在时空中移动时,它完成了一组复杂的运动。这根弦还能分解成更细小的弦,也能与别的弦碰撞构成更长的弦。关键是,所有这些量子修正或圈图都是有限的和可计算的。这是物理学史上第一个具有有限量子修正的量子引力理论。(我们回想起,先前所有的理论——包括爱因斯坦原初的理论,卡鲁查-克莱因理论,和超引力理论——在这个关键性判据上都失败了。)

为了完成这些复杂的运动,弦必须遵循一大套自洽的条件,它们如此之严格,以至于对时空设置了某些限制性很强的条件。换句话说,弦不能像点粒子那样在任意的时空中自洽地传播。

当第一次计算出把弦约束在时空中的条件时,物理学家惊奇地发现爱因斯坦方程从弦中产生出来。这是惊人的,没有假设任何的爱因斯坦方程,物理学家发现它们从弦理论中产生出来,这简直是在变魔术。爱因斯坦方程不再被发现是基本的,它能从弦理论中推导出来。

如果弦理论正确的话,那么它将揭开关于木头和大理石长期存在的奥秘。爱因斯坦猜想有朝一日单靠大理石解释木头的性质。对于爱因斯坦而言,木头就是时空的扭折或振动。然而,量子物理学家想到的是反面。他们认为,大理石能够变成木头,即爱因斯坦的度规张量能被转变成引力子,引力子则是荷载引力的离散的能量包。这是两个截然相反的观点,人们一直认为不可能在它们二者之间达成妥协。然而,弦正是木头与大理石之间“缺失的环节”。

弦理论既能导出可看作为在弦上共振的物质粒子,也能通过要求弦在时空中自洽运动来导出爱因斯坦方程。用这种方法,我们有了一个质能和时空的无所不包理论。

这些自洽约束条件非常严格。例如,它们禁止弦在三维或四维中运动。我们将看到,这些自洽条件迫使弦在一个特定的维数中运动。事实上,弦理论所允许的“魔数”是10维和26维。幸运的是,定义在这些维中的弦理论有足够的“空间”统一所有的基本力。

因此,弦理论足以解释自然界所有基本定律。从一个振动弦的简单理论开始,人们能推导出爱因斯坦理论,卡鲁查-克莱因理论,超引力,标准模型,乃至大统一理论。看起来简直是一个奇迹:从一些弦的纯几何讨论出发,人们能够重新导出过去2000年中物理学的所有进展。本书到现在为止讨论的所有理论,都被自然地囊括在弦理论之中。

目前对弦理论的热中,来自加利福尼亚理工学院的施瓦茨(John Schwarz)及其合作者伦敦玛丽女王学院的格林(Michael Green)的工作。以前,人们认为弦可能有些缺点,这些缺点将妨碍建立一个完全自洽的理论。然而在1984年,这两个物理学家证明关于弦的所有自洽条件都能被满足。这转而激起了年轻物理学家一窝蜂地求解该理论,并赢得潜在的

承认。到 80 年代末,一个名副其实的“淘金热”在物理学家中开始出现。[世界上求解该理论的好几百个优秀理论物理学家之间的竞争变得十分激烈。事实上,德克萨斯的弦理论家纳诺普罗斯(D. V. Nanopoulos)最近上了《发现》杂志的封面,他公开夸口,他热中于获得诺贝尔物理学奖这条崎岖小径。难得有这样抽象的理论唤起这样的热情。]

为什么是弦?

我曾与一个诺贝尔物理学奖得主在纽约一家中国餐馆里共进午餐。在我们用甜食时,超弦理论的话题提出来了。没有发出警告,他就开始了一个长长的个人讨论,这个讨论就是为什么弦理论对于年轻理论物理学家来说不是一条正确的道路。他声称,这个理论是一个迷魂阵。在物理学史中,还从来没有像这个理论一样的事,由此他发现这个理论不合他的口味。对于科学中所有以前的发展趋势而言,它是外来户和异端分子。经过长长的讨论之后,它简化成一个问题:为什么是弦?为什么不是振动的固体或疙瘩?

他提醒我,物理界再三使用同一些概念。大自然像巴赫(Bach)或贝多芬(Beethoven)的作品,常常开始有一个主题,接着就有围绕主题的无数变奏,这些变奏遍布整个交响曲。以此为判据,弦似乎不是大自然中的基本概念。

例如,轨道的概念以各种不同变奏反复出现在自然界。自从哥白尼(Copernicus)的工作以来,轨道提供了基本的主题,它常常以各种不同变奏在整个自然中反复出现,从最大的星系到原子,再到最小的亚原子粒子。同样,法拉第场证明是自然偏爱的主题之一。场能描述星系的磁场和引力作用,亦能描述麦克斯韦的电磁理论,爱因斯坦和黎曼的度规理论,以

及标准模型中发现的杨-米尔斯场。事实上,场理论作为亚原子物理学的普适语言而出现,可能宇宙也是这样。在理论物理学的军火库中,它是唯一有威力的武器。所有已知形式的物质和能量,都已用场理论来表述。此外,像交响曲中的主题和变奏一样,模式也不断被反复。

但是弦呢?弦似乎不是大自然在设计世界之时所喜欢的模式。在太空中,我们看不到弦。事实上,我的同事向我解释,我们在任何地方都看不到弦。

然而,一个重要的思想将揭示大自然为弦保留了一个特殊角色,即作为其他形式的基本构件。例如,地球上生命的基本特征是像弦一样的DNA分子,DNA分子包含生命本身的复杂信息和密码。为构造生命的原材料以及亚原子物质时,弦似乎是完美的答案。在这两种情形中,我们想把大量的信息装进一个相对简单和可复制的结构之中。弦的显著特征,在于以信息可被复制的方式高度密集地储存大量信息。

对生物体而言,大自然使用双链DNA分子,它解开双链,构成各自的复制物。我们身体中还含有数以万亿计的蛋白质弦,它们由氨基酸构件所组成。在某种意义上,我们的身体能被看作为大量弦——包绕我们骨骼的蛋白质分子的集合体。

弦乐四重奏小组

目前,弦理论最成功的版本由普林斯顿的物理学家格罗斯(David Gross),马丁内茨(Emil Martinec),哈维(Jeffrey Harvey),以及罗姆(Ryan Rohm)所建立,有时他们被称为普林斯顿弦乐四重奏小组。他们四人之中,年长的是格罗斯。在普林斯顿大多数研讨会上,威滕可能低声问一些问题。但是格罗斯的声音是清楚明白的:宏亮、浑厚和苛求。任何一个在普

林斯顿参加研讨会的人,都生活在格罗斯发出的连珠炮似尖锐提问的恐惧之中。要紧的是,他的问题往往击中要害。格罗斯和他的合作者提出了所谓杂优弦。如今,正是这种异于过去被提出的各种卡鲁查-克莱因型理论的杂优弦,极有可能把所有自然定律统一起来。

格罗斯认为,弦理论解决了把木头转变成大理石的难题。“要从几何来构造物质本身——在某种意义上,那是弦理论要解决的问题。可以认为那种方法,特别是在像杂优弦那样的理论中,实质上是一种引力理论,在此理论中,物质粒子以及其他自然力之出现,与引力从几何中出现的方式相同。”⁵

如我们所强调的,弦理论最显著的特征在于,爱因斯坦的引力理论被自动包含在其中。事实上,引力子(引力量子)作为闭弦的最小振动出现。大统一理论极力避免提到爱因斯坦引力理论,超弦理论却要求把爱因斯坦的理论包括进来。例如,如果我们把爱因斯坦引力理论仅仅看作为弦的振动,那么该理论就变得不一致而没什么用了。事实上,这就是威滕首先被吸引到弦理论中的原因。1982年,他读了一篇施瓦茨写的综述文章,惊讶地意识到单单从自洽要求出发,引力就可从超弦理论中出现。他回忆它是“我一生中最大的智力震颤”。威滕说:“弦理论十分吸引人,因为引力被强加给我们。所有已知一致的弦理论都包括引力,当引力像我们知道的那样在量子场论中不可能时,它在弦理论中却非有不可。”⁶

格罗斯确信,如果爱因斯坦活着,他会热爱超弦理论。爱因斯坦热爱超弦理论的优美而简洁最终来源于其本质尚属未知的几何原理。格罗斯断言,“爱因斯坦将对此感到满意,如果不对实现感到满意,至少对这一目标感到满意。……他将喜欢有一个根本的几何原理——不幸的是,我们尚未真正了解它。”⁷

威滕甚至进一步说：“物理学中所有真正伟大的思想”都是超弦理论的“派生物”。他这句话的意思是，理论物理学中的所有巨大进展都被包含在超弦理论之中。他甚至认为爱因斯坦广义相对论在超弦理论之前被发现，是“地球上出现的一个偶然事件”。他认为，在太空中某些地方，“宇宙中的其他文明”可能首先发现了超弦理论，然后把广义相对论作为超弦理论的副产品导出。⁸

紧致化与美

弦理论是物理学中这样一个有希望的候选者，因为它给出了见于粒子物理学和广义相对论中的对称性的简单起源。

我曾在第六章中指出，超引力既不可重整化又太小，以至于无法容纳标准模型的对称性。因此，它不是自洽的，它无法逼真地描述已知的粒子。然而，弦理论却两者都可做到。我们不久将看到，弦理论消除了见于量子引力中的无穷大，产生了有限的量子引力理论。仅此一条就确保了弦理论应当被当作是宇宙理论的严肃候选者。然而，还有一个附带的好处。我们使弦的某些维紧致化时，发现有“足够的余地”容纳标准模型甚至大统一理论的对称性。

由一个闭弦组成的杂优弦有顺时针和逆时针两类振动，它们被区别对待。顺时针方向的振动住在 10 维空间之中。逆时针方向的振动住在 26 维空间中，其中的 16 维已被紧致化。（我们回忆一下，在卡鲁查原先的五维理论中，第五维通过卷成一个圆圈而被紧致化。）杂优弦的名字来源于这样一个事实，即顺时针振动和逆时针振动住在两种不同的维中，但它们被组合起来，产生单一的超弦理论。它的名字得自于希腊语 heterosis，即“杂种优势”之意。

16 维紧致化空间非常有趣。在卡鲁查-克莱因理论中,我们记得紧致化 N 维空间能有一个对称性伴随着它,好似一个浮水气球。于是所有定义在 N 维空间的振动(或场)自动继承了这些对称性。如果对称性是 $SU(N)$,那么该空间上的所有振动必须遵守 $SU(N)$ 对称性(粘土以同样的方式继承了模子的对称性)。用这种方法,卡鲁查-克莱因理论能容纳标准模型的对称性。然而,同样用这种方式还可以确定超引力“太小”,它不能容纳在标准模型中发现的各种对称性的所有粒子。这足以扼杀作为物质和时空的现实理论的超引力理论。

但是普林斯顿弦乐四重奏小组分析了这个 16 维空间的对称性后,发现它是一种异常大的对称性,称为 $E(8) \times E(8)$,这种对称性比曾被试过的任何大统一理论对称性大得多。⁹这是一个出乎意料的附带优点。它意味着,弦的所有振动继承了 16 维空间的对称性,这个 16 维空间足以容纳标准模型的对称性而绰绰有余。

这正是本书主题——物理学定律在高维中简化——的数学表达。在这种情况下,杂优弦逆时针振动的 26 维空间有足够的余地解释在爱因斯坦理论和量子理论中的所有对称性。因此,纯几何第一次给出了一个简单的解释,这就是为什么亚原子世界必定展现从卷曲的高维空间中出现的某种对称性:亚原子王国的对称性只是高维空间对称性的残余。

这意味着,自然之美和对称性最终能被追溯到高维空间。例如,雪花产生美丽的六角形花样,没有一个花样完全相同。这些雪花和晶体又继承了它们的分子已被几何地安排好的结构。这种安排主要由分子的电子壳层所决定,分子又使我们回到量子理论的旋转对称性,记为 $O(3)$ 对称性。我们在化学元素中观察到的低能宇宙的所有对称性,都归因于被标准模

型所划分的对称性,标准模型又能通过紧致化杂优弦来导出。

总之,我们周围看到的对称性,从彩虹到盛开的鲜花再到各种晶体,最终能被看作为原始 10 维理论片断的表现形式。¹⁰黎曼和爱因斯坦希望找到为什么力能决定物质的运动和本质的几何理解。但是,他们丢掉了证明木头和大理石关系的关键要素。这个缺失的环节,极可能是超弦理论。用 10 维弦理论,我们看到弦几何可能最终决定着物质的力和结构。

21 世纪物理学片段

既然超弦理论对称性的威力巨大,它与别种物理学截然不同就不足为怪了。事实上,它是被十分偶然地发现的。许多物理学家评论,如果这个偶然事件从不出现,那么弦理论要到 21 世纪才能被发现。这是因为,这个理论明显偏离本世纪尝试的所有思想。它不是本世纪流行的思潮和理论的继续拓展,而是离它们较远。

相形之下,广义相对论则有一个“正常的”和逻辑的演变。首先,爱因斯坦提出等效原理。接着,他用引力场理论的数学语言重新表述了这一物理原理,引力场理论以法拉第场和黎曼度规张量为基础。后来,出现了“经典解”,如黑洞和大爆炸。最后,最后一幕是目前企图建立量子引力理论。于是,广义相对论经历了一个逻辑演变,从物理原理到量子理论:

几何→场理论→经典理论→量子理论

相反,超弦理论自从 1968 年偶然发现以来,却逆着上述方向演变。这就是超弦理论在大多数物理学家看起来如此奇异和陌生的原因。我们仍然在寻找它的根本物理原理,即爱

因斯坦等效原理的对应物。

超弦理论十分偶然地诞生于1968年,当时两个年轻理论物理学家韦内齐亚诺(Gabriel Veneziano)和铃木真彦(Mahiko Suzuki)独立地翻查数学书,寻找描述强相互作用粒子相互作用的数学函数。他们在CERN(位于瑞士日内瓦的欧洲理论物理中心)从事研究工作时,独立偶然发现了欧拉 β 函数,一个由18世纪数学家欧拉(Leonhard Euler)建立的数学函数。他们惊讶地发现欧拉 β 函数几乎满足描述基本粒子强相互作用所需的所有性质。

在加利福尼亚劳伦斯伯克利实验室的午餐期间,看着太阳闪耀着光芒从旧金山港湾落下的壮观景象,铃木真彦曾对我解释相当偶然地发现某种可能很重要的结果的激动心情。物理学据说不以那种方式发生。

在数学书中找到欧拉 β 函数后,铃木真彦激动地把他的结果告诉CERN一位资深物理学家,那位资深物理学家听了以后无动于衷。事实上,他告诉铃木真彦,另一个年轻物理学家(韦内齐亚诺)已经在几星期前发现了相同的函数。他劝铃木真彦别发表他的结果。今天,这个 β 函数被冠以韦内齐亚诺模型之名,它引发了好几千篇研究论文,酿成了一大物理学学派,现在宣称要统一所有物理学定律。(回顾起来,当然,铃木真彦应该发表他的结果。我认为,这是一个教训:千万不要把你的上司的话太当回事儿。)

1970年,围绕韦内齐亚诺-铃木模型的谜得到了部分解释。其时,芝加哥大学的南部阳一郎(Yoichiro Nambu)和日本大学的后藤铁男(Tetsuo Goto)发现一条振动弦隐藏在它的奇妙性质背后。

因为弦理论被反向和偶然发现,物理学家仍然不知道构成弦理论基础的物理原理。弦理论演变的最后一步(以及广

义相对论演变的第一步)依然缺失。

威滕补充说:

地球上的人类从没有引导他们特意发明弦理论的概念框架。……没人特意去发明它,它是妙手偶得。按理说,20世纪物理学家不应该有研究这一理论的特权。按理说,直到我们掌握弦理论的先决条件到这样的程度,即我们对弦理论有了正确概念时,它才应被发明。¹¹

圈 图

韦内齐亚诺和铃木发现的公式仍然是不完备的。他们希望这个公式能描述相互作用的亚原子粒子的性质,但它违背了物理学的性质之一:么正性,或称概率守恒。于是,韦内齐亚诺-铃木公式对粒子相互作用给出了一个不正确的解答。因此,该理论演变的下一步,是添加一些小的量子修正项,这些修正项将恢复这个性质。1969年,甚至在南部阳一郎和后藤铁男的弦诠释之前,威斯康星大学的3个物理学家吉川圭二(Keiji Kikkawa)、崎田文二(Bunji Sakita)和维拉索罗(Miguel A. Virasoro)提出了正确的解答:为了恢复么正性,给韦内齐亚诺-铃木公式添加一些渐次变小的项。

虽然,这些物理学家不得不推测如何从头开始构造该级数,但是今天,在南部阳一郎弦绘景的框架中,它最容易被理解。例如,当一只熊蜂飞在空中时,它的飞行路径能被描述为一条扭动的线。当漂浮在空中的一段弦在空间中运动时,它的路径可被比作为一个假想的二维面。当一条闭弦在空中漂浮时,它的路径与一个管子类似。

弦通过分解成更小的弦和与其他弦会合,来相互作用。这些相互作用的弦运动时,它们画出如图7.1所示的图形。

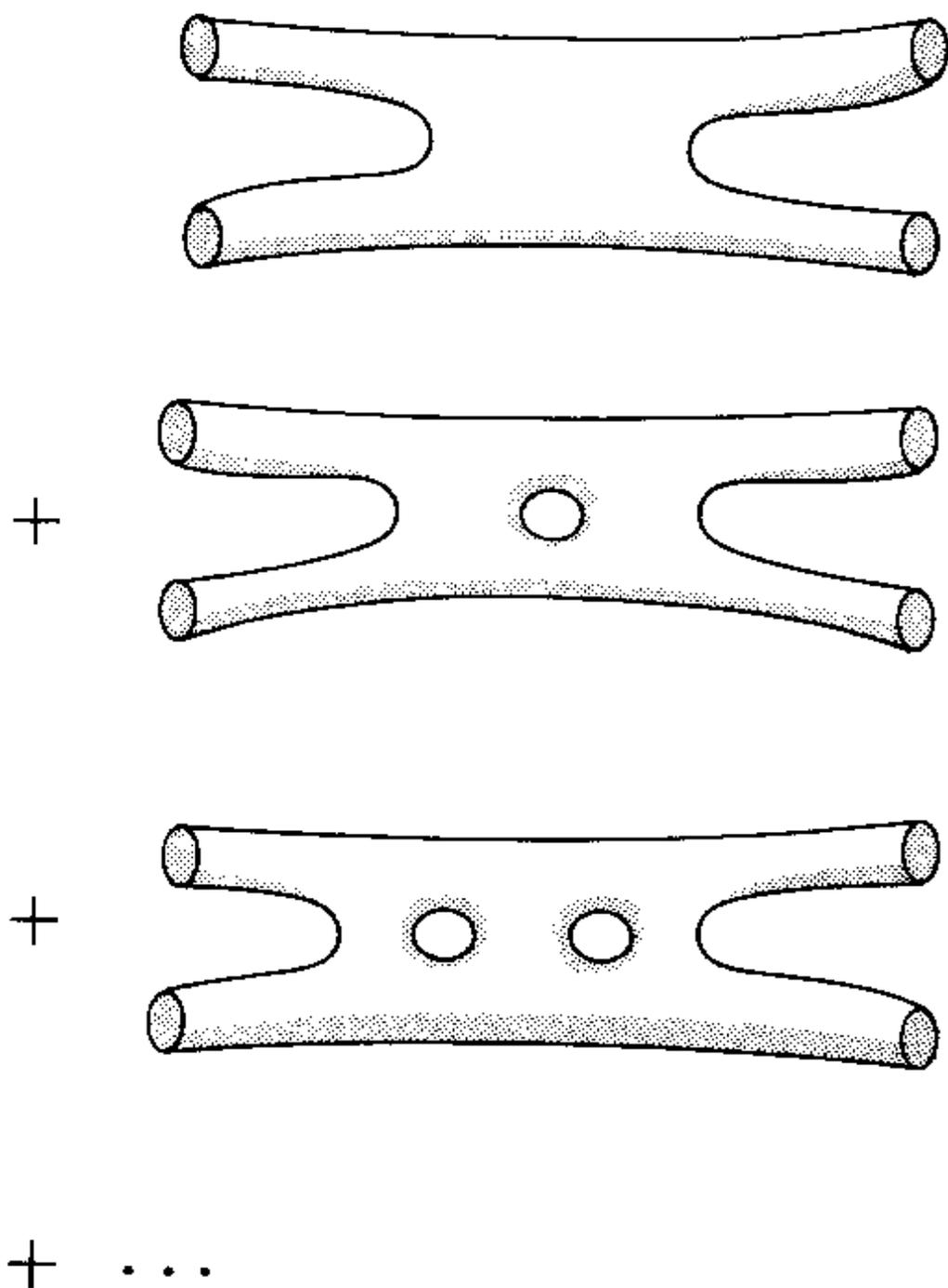


图 7.1 在弦理论中,引力由交换闭弦来表示,闭弦在时空中扫出一根根管子。即使我们添加无穷多带有许多洞的图,弦理论中也从不出现无穷大,它给了我们一种有限的量子引力理论。

注意,两个管子从左边进入,其中一个管子在中部分裂,互换中部的管子,接着在右边转向。这就是管子之间相互作用的方式。当然,此图是极其复杂的数学表达的简写形式。当我们计算对应于这些图的数值表达时,我们返回到欧拉 β 函数。

在这个弦绘景中,由吉川-崎田-维拉索罗(简称KSV)提出的基本技巧相当于添加所有可能的图,在这些图中,弦能互撞和分裂。当然,有无穷多这样的图。添加无穷多“圈”图的过程,就是微扰论。每添加一个图,就愈接近于最终解答。这一过程是任何一个理论物理学家武器库中的最重要武器之一。(这些弦图拥有在以前的物理学中从未见过的优美对称性,它在二维中叫做共形对称性。这个共形对称性允许我们像对待橡皮做成的东西那样对待这些管子和面:我们可以拉伸、展宽、弯曲和收缩这些图。于是,由于共形对称性,我们能证明所有这些数学表达保持相同。)

KSV断言,所有这些圈图的总和将得出一个精确的数学公式,这个公式解释亚原子粒子如何相互作用。然而,KSV方案包含有一系列未经证明的猜测。人们必须明确构造这些圈,否则这些猜测是无用的。

受KSV提出的方案所激发,我决定尝试解决这个难题。这十分困难,因为当时我正在躲避机关枪子弹。

新兵训练营

我清楚记得,KSV论文发表于1969年。KSV提出了一个将来工作的方案,而不是给出精确的细节。当时,我决定显式计算所有可能的圈,完成KSV方案。

那段时光令人难忘。越南战争正酣,从肯特州立大学到巴黎大学的校园都一片混乱。上一年我从哈佛大学毕业,那

年约翰逊(Lyndon Johnson)总统取消了研究生缓役,使全国的研究生院都陷入恐慌之中。校园里一片混乱。突然,我的朋友们纷纷辍学,他们到中学去当教师,打起背包投奔加拿大,或者为了通不过军训而自毁健康。

前景美好的学业就此被打碎。在麻省理工学院学物理的我的一个好朋友发誓,他不是去监狱就是去越南打仗。他叫我们把《物理评论》的复印本送到他的牢房里,以便他能赶得上韦内齐亚诺模型的进展。那些退学去中学当老师而不是上战场的其他朋友,终止了令人憧憬的学业。(他们之中的许多人仍然在这些中学教书。)

毕业后3天,我离开坎布里奇,发现自己置身于佐治亚州本宁堡(世界上最大的步兵训练中心)的美国陆军,后来被送到华盛顿的刘易斯堡。成千上万以前没有受过任何军事训练的新兵,被锻造成一支武装力量后,船运到越南,顶替每星期阵亡500人的美国兵。

一天,在使人精疲力尽的佐治亚的阳光下投掷实弹后,看着手榴弹碎片向四面八方飞溅之时,我开始走神了。历史上有多少科学家必须面对战争的剧烈蹂躏?又有多少杰出科学家在他们的青春年华死于枪弹之下?

我记得,在第一次世界大战中,史瓦西(Karl Schwarzschild)在皇家军队当兵时死在俄国前线,这是在他发现每一个黑洞计算所用的爱因斯坦方程的基本解几个月之后。(黑洞的史瓦西半径就是为了纪念他而命名的。在他夭亡于前线之后,爱因斯坦于1916年致信普鲁士研究院,以纪念史瓦西的工作。)还有多少有望成才的人在他们的能开始自己的事业之前就被夺去了生命?

我发现,步兵训练是严酷的,它被设计用来锤炼精神和削弱理智。思想的独立性与你无关。毕竟,军队未必需要在交

火中质疑中士命令的智者。明白了这点之后,我决定随身带一些物理学论文。在当帮厨兵剥马铃薯或机枪扫射时,我需要一些东西使我的头脑不致僵化。因此,我随身带了一篇KSV论文。

在夜间步兵训练时,我必须通过设障地段,这意味着躲开真正的机枪子弹,蛙式伏在带刺的铁丝之下,匍匐通过深褐色的泥浆。因为自动枪上有曳光弹,所以我能看到飞行在我头顶上几英尺高的成千的机枪子弹组成美丽的深红色闪光。然而我的思绪却飘回到KSV论文,想着他们的方案怎么才能被完成。

幸运的是,这个计算的基本性质是严格地拓扑学的。我很清楚,这些圈正在给物理学引进一种全新的语言——拓扑学语言。在物理学史中,默比乌斯带和克莱因瓶从未以某种基本方式被使用过。

在进行机枪训练时,我手头没有纸和笔,因此就迫使我在头脑中设想弦如何能扭曲成圈,并且从里面翻转出来。机枪训练真是因祸得福,因为它迫使我在脑中运算大量的方程。到我完成了高级机枪训练课程之时,我确信我能完成计算所有圈图的方案。

最后,我设法挤时间从部队去上加利福尼亚大学伯克利分校,在伯克利,我拼命研究奔涌在我头脑中的细节。有几百个小时我沉浸在对该问题的紧张思考之中。事实上,这变成了我的博士论文。

到1970年,最终的计算密密麻麻地写满了笔记本的好几百页纸。在我的导师曼德尔施塔姆(Stanley Mandelstam)的细心督导之下,我的同事余乐平(Loh-ping Yu)和我成功计算出那时已知的所有可能圈图的显式表达式。然而,我对这项工作并不满意。KSV方案是一个由经验法则和直觉组成的大杂

烩,而不是可从中导出这些圈图的一组严格的基本原理。我们看到,弦理论由于被韦内齐亚诺和铃木偶然发现而反向演变着。弦反向演变的下一步,将是追随法拉第、黎曼、麦克斯韦和爱因斯坦的足迹,构造一个弦的场论。

弦的场论

自从法拉第的开创性工作以来,每一个物理理论都用场来表达。麦克斯韦的光理论以场论为基础,爱因斯坦的光理论亦然。事实上,所有粒子物理学都以场论为基础。唯一不以场论为基础的理论,是弦理论。KSV 方案是一组方便的规则,而不是场论。

我的下一个目标,是纠正那种情形。然而,弦的场论问题在于,许多物理学先驱性人物都在反对它。他们的理由很简单。像汤川秀树(Hideki Yukawa)和海森伯等物理学巨人经年累月地研究,以期创立不基于点粒子的场论。他们认为,基本粒子可能是正在脉动的物质团块,而不是点。然而,不管他们如何努力,基于团块的场论总是违背因果律。

假如我们在某一点摇动这个团块,那么相互作用会比光速还快地通过团块传播,这违反了狭义相对论,产生各种时间佯谬。这种基于团块的“非定域场论”,被认为是一个巨大难题。事实上,许多物理学家坚持认为,只有基于点粒子的定域场论才是一致的,非定域场论必然违背相对论。

第二个理由甚至更可信。韦内齐亚诺模型有许多在以前的场论中未曾见到的不可思议性质(包括所谓的对偶性)。早些年,费恩曼给出了任何场论都应当遵守的“规则”。然而,这些费恩曼规则直接破坏了对偶性。于是,许多弦理论家相信,弦的场论是不可能的,因为弦理论必定违背韦内齐亚诺模型

的性质。他们说,弦理论在所有物理学中是独特的,因为它不能被重塑成场论。

我与吉川圭二合作研究这个困难而重要的问题。我们逐步营造起自己的场论,方法与我们的前辈构造其他力的场论大致相同。依照法拉第的方法,我们在时空的每一点引进一个场。然而,对于弦的场论,我们必须推广法拉第的概念,假定一个场,这个场定义了一条在时空中振动的弦的所有可能组态。

第二步,是假设弦所遵守的场方程。单独在时空中运动的单一弦所遵守的场方程,不难得到。像所预想的那样,我们的场方程重新产生了一个弦共振的无穷级数,其中每一个共振对应于一个亚原子粒子。接下来,我们发现汤川秀树和海森伯所认为的异议被弦场论所解决。如果我们轻轻摇动弦,那么振动将沿弦以小于光速的速度传播。

然而,不久我们碰壁了。当我们企图引进相互作用的弦时,我们不能正确地再现韦内齐亚诺振幅。对偶性与费恩曼给出的任何场论的图解直接相抵触。正如批评者们所预期的那样,费恩曼图是不正确的。这真令人沮丧。上一个世纪构成物理学基础的场论,似乎与弦理论根本不相容。

令人气馁的是,我记得夜以继日地反复思考这个问题。我一个小时又一个小时地系统检查对于这个问题所有可能的种种方法。但是,对偶性必然被破坏的结论似乎无可逃避。于是我想起在柯南道尔(Arthur Conan Doyle)的《四签名》中,福尔摩斯(Sherlock Holmes)对华生(Watson)说的话:“我已经对你说过多次,当你把绝不可能的因素都排除出去以后,不管剩下的是什么,不管是多么不大可能的事,那就是真相。”在这一思想的鼓励下,我排除了所有绝不可能的其他方法。唯一留下的不大可能的方法则违反了韦内齐亚诺·铃木公式的性质。

大约在凌晨3点,解答最后让我撞上了。我意识到物理学家忽视了明显的事实,这就是人们能把韦内齐亚诺-铃木公式分成两部分。于是,每一部分都相应于一个费恩曼图,且每一部分都违背对偶性,但总和遵循场论的所有正确性质。

我赶快取出论文,进行了计算。接下来我花了5个小时从所有可能的方向检查和复核该计算。结论不容忽视:不出所料,场论确实违背对偶性,但这是可接受的,因为最终的总和重现了韦内齐亚诺-铃木公式。

我现在解决了问题的大部分。然而,仍然缺少代表四条弦碰撞的一个费恩曼图。那一年,我正在纽约市立大学给大学生讲电磁学入门知识,当时我们正研究法拉第的力线。我让学生们画从不同的电荷分布发出的力线,让他们重复19世纪由法拉第首创的同样步骤。我突然领悟,我要求学生画的弯弯曲曲的线条与弦的碰撞具有相同的拓扑结构。于是,通过在大学一年级的实验室里重新安排电荷,我找到了描述四条弦碰撞的正确分布。

它真是那么简单吗?

我冲回家中核实我的预感,我是正确的。通过使用甚至大学一年级学生也会用的绘图技巧,我就能证明四弦相互作用必定隐含在韦内齐亚诺公式之中。1974年冬天,运用回溯到法拉第的方法,吉川圭二和我完成了弦的场论,这是第一个把弦理论与场论表述相结合的成功尝试。

我们的场论虽然正确地体现了包含在弦理论中的全部信息,但是它仍然需要改进。由于我们在反向构造这个场论,所以许多对称性仍然不清楚。例如,狭义相对论的对称性并非以明显的方式出现。还需要更多的工作使我们发现的场方程趋于完善。但是正当我们开始探索我们场论的性质时,该模型意想不到地遭遇了一次严重的倒退。

那一年,拉特格斯大学的物理学家洛夫莱斯(Claude Lovelace)发现玻色弦(描述整数自旋)只在26维中是自洽的。其他物理学家证实了这一结果,并且证明超弦(描述整数和半整数自旋)只在10维中自洽。人们不久就认识到,在10维或26维以外的维数中,该理论完全丧失了它所具有的所有优美数学性质。但是没人相信,定义在10维或26维中的理论会与现实有关。弦理论方面的研究突然陷于停顿。像弦理论以前的卡鲁查-克莱因理论一样,弦理论陷入了长眠之中。这个模型归于默默无闻长达10年之久。[虽然包括我在内的大多数弦物理学家放弃了这个像沉船一样的模型,但少数顽固分子,如物理学家施瓦茨和已故的舍克(Joel Scherk),仍企图通过不断改进这模型,而使它存活下来。例如,弦理论原来被认为只是一个强相互作用理论,其中每一个振动模对应于夸克模型的共振。施瓦茨和舍克正确地证明,弦模型确实是一个所有力的统一理论,而不仅仅是强相互作用理论。]

量子引力研究走向了别的方向。从1974年到1984年,当弦理论失势时,人们接连研究了大量的他择性量子引力理论。在这期间,原来的卡鲁查-克莱因理论和后来的超引力理论很受欢迎,但是每次这些模型的失败也变得显而易见。例如,卡鲁查-克莱因理论和超引力理论被证明不可重正化。

于是,在那10年里,一些怪事发生了。一方面,物理学家备受这个时期尝试过又被抛弃的一大堆模型所打击。一切都失败了。人们逐渐认识到,卡鲁查-克莱因理论和超引力理论可能是正道,但它们尚未精致到足以解决这个不可重正化难题。但是,复杂到足以包含卡鲁查-克莱因理论和超引力理论的唯一一个理论,就是超弦理论。另一方面,物理学家慢慢变得习惯于与超维空间打交道。由于卡鲁查-克莱因理论的复兴,超维空间的思想再也不那么牵强或可怕了。随着时间的

推移,甚至定义在 26 维中的理论看上去也不那么古怪了。原先对 26 维的抵抗也开始随着时间而逐渐消解。

最后,1984 年,格林和施瓦茨证明超弦理论是唯一自洽的量子引力理论,人们又开始蜂拥而上。1985 年,威滕在弦场论方面取得了显著进展,许多人认为它是该理论最奇妙的一大成就。他证明,我们旧场论能被用强有力的数学和几何定理(源于所谓的上同调理论)以完全的相对论形式导出。

有了威滕的新场论,隐藏在我们表述中的弦场论的数学优美就被揭示出来了。不久,几乎有上百篇探讨威滕场论的迷人数学性质的科学论文被发表出来。¹²

无人聪明绝顶

假设弦场论是正确的,原则上,我们从第一性原理出发应该能够计算质子的质量,并且与已知数据(比如各种粒子的质量)建立联系。如果数值解是错误的,我们就抛弃该理论。然而,如果该理论是正确的,那么它将位列 2000 年来物理学最重大进展之中。

经过 80 年代末连篇累牍、兴高采烈的鼓吹(当时给人的感觉,好像该理论将在几年之内被彻底解决,诺贝尔奖被一帮人唾手可得),一定程度冷静的现实态度已经开始。虽然该理论在数学上已明确定义,但是没人能解决该理论。没有一个人。

问题在于,无人聪明绝顶够得上解决弦场论,或者解决对弦理论的任何一个非微扰方案。这是一个很明确的难题,但具有讽刺意味的是,求解场论需要一些目前超出了任何物理学家技能的技术。这真令人泄气。摆在我们面前的,是一个定义无懈可击的弦理论。在它的范围内,解决围绕高维空间

的所有争论是可能的。由第一性原理计算万事万物的梦想，在面子上使我们很风光。问题是，如何解决它。我们想起了在莎士比亚(Shakespeare)戏剧中恺撒(Julius Caesar)的一句名言：“亲爱的布鲁图(Brutus)，错误不在于我们的命运，而在于我们自己。”对于弦理论家而言，错误不在于理论，而在于我们最初的数学。

这一悲观态度的原因在于，我们的主要计算工具(微扰论)失败了。微扰论开始于韦内齐亚诺型公式，然后计算对它(有圈的形式)的量子修正。弦理论家的希望是，他们能建立更高级的韦内齐亚诺型公式，这些公式被定义在四维之中并且唯一地描述已知的各种粒子。回头看，他们大获成功。问题是，上百万个韦内齐亚诺型公式现在已被发现。令人难堪的是，弦理论家们简直就沉浸在这些微扰解之中。

过去几年阻碍超弦理论发展的基本问题，是没人知道如何从数以百万计已发现的解中筛选出正确的解。这些解中的一些非常接近于描述真实世界。在若干适当的假设下，不难把标准模型提取为弦的振动。事实上，有几个研究小组都宣布，他们能找到与亚原子粒子的已知数据相符的一些解。

我们看到，问题是还有数以百万计的描述似乎与我们宇宙不尽相同的宇宙的其他解。在这些解的某些解中，宇宙没有夸克或没有太多的夸克。在这些解的大多数解中，像我们知道的¹生命不能存在。我们宇宙可能迷失在见于弦理论的这几百万个可能宇宙的某个地方。为了找到正确解，我们必须使用非常难的非微扰方法。因为我们的高能物理学知识99%以微扰论为基础，这意味着我们几乎找不到一个对该理论的真正解。

然而，还是有乐观态度的一些余地。对简单得多的理论已经发现的非微扰解，表明许多此种解确实不稳定。经过一

段时间之后,这些不正确的不稳定解将进行量子跃迁,到达正确的稳定的解。如果弦理论亦如此,那么或许已被找到的那数百万个解实际上都不稳定,都将随时间衰变到正确解。

为了理解我们物理学家受到的挫折,想一想如果 19 世纪物理学家得到一台便携式计算机,他们可能会作何反应。他们能很容易地学会开机和敲键。他们能学会在监视器上玩视频游戏或者看教育节目。由于技术上落后一个世纪,他们会对计算机神奇的计算能力感到吃惊。在它的内存中能很容易储存那个世纪所有已知的科学知识。在短时期内,他们能学会完成一些将使他们的任何一个同行都大为惊奇的数学技巧。然而,一旦他们打开监视器看里面到底有什么,他们将惊骇莫名。晶体管和微处理器完全与他们能理解的事物格格不入。他们的经验里确实没有什么可与电子计算机相比拟。这超出了他们的理解范围。他们只能茫然地盯着复杂的电路,一点也不知道它如何工作或者它都意味着什么。

他们挫折的根源在于,计算机存在,并且正放在他们的眼前,但他们没有用来解释它的参考系。同理,弦理论似乎是 21 世纪物理学,但它在我们这个世纪被偶然发现了。弦场论似乎也包含所有物理知识。功夫不大,我们就能用这理论“开机”和“敲键”捣腾出现超引力理论、卡鲁查-克莱因理论和标准模型。但我们全然无法解释它为何起作用。弦场论存在,但它嘲弄我们,因为我们未聪明绝顶到能解决它。

问题在于,当 21 世纪物理学偶然闯进 20 世纪时,21 世纪数学尚未被发明。看来,我们要取得进展就必须等待 21 世纪数学,或者现在这一代物理学家必须自己发明 21 世纪数学。

为什么是 10 维？

弦理论尚未被充分认识的最深的奥秘之一，就是为什么它只被定义在 10 维或 26 维。如果弦理论是 3 维的，它就不能以任何合理方式统一已知的物理学定律。因此，正是高维几何，才是弦理论的核心特点。

如果我们计算弦在 N 维空间中如何分解和重组，我们常常发现一些无意义的项意外出现，这损害了弦理论那些奇妙性质。幸运的是，这些讨厌的项是 $(N - 10)$ 的倍数。所以，为了消除这些异常，我们除了取 N 等于 10 外别无他法。事实上，弦理论是唯一特别要求时空维数固定为一个数的已知的量子理论。

不幸的是，弦理论家们目前很难解释为什么 10 维被选中。答案完全在于数学，在一个所谓模函数范围之内。无论什么时候我们运用由相互作用弦产生的 KSV 圈图，我们都碰到这些奇怪的模函数，数 10 出现在其中最奇怪的地方。这些模函数与一个研究它们的东方人一样神秘莫测。如果我们透彻认识了这位印度天才的工作，我们或许能理解为什么我们生活在我们现在的宇宙之中。

模函数之谜

拉马努金(Srinivasa Ramanujan)是数学史上亦可能是整个科学史上最为奇怪的人。他在 33 岁时，像他以前的黎曼一样，不幸被肺结核夺去生命；在此之前，他被当作一颗突发的超新星，照亮了数学最隐蔽、最有意义的角落。拉马努金完全孤立于他的领域的主流之外工作，居然能独自重新导出相当

于西方数学 100 年的东西。他一生的悲剧在于,他的大部分工作浪费在重新发现已知的数学。散布在他笔记本中的那些字迹模糊的方程,就是这些模函数。这些函数属于数学史中所发现的最为奇怪的东西。它们重新出现在相去甚远、无甚关联的数学分支之中。在模函数理论中反复出现的一个函数,现在为了纪念拉马努金而被命名为拉马努金函数。这个古怪函数含有一个高达 24 次幂的项。

在拉马努金的工作中,24 这个数反复出现。这就是数学家称之为魔数的一个例子,魔数在没人知道缘由的情况下不断出现,而且出现在我们没想到的地方。令人称奇的是,拉马努金函数也出现在弦理论中。拉马努金函数中出现的数 24,竟也是出现在弦理论中神奇抵消的根源。在弦理论中,拉马努金函数中 24 个模的每一个,都对应于弦的某种物理振动。无论何时弦通过在时空中分解和重组而执行它的复杂运动,大量高度复杂的数学恒等式都必须得到满足。这些恒等式,恰好是拉马努金发现的数学恒等式。(因为物理学家在计算出现在相对论中的振动总数时又添加了 2 维,这意味着时空必定有 $24 + 2 = 26$ 时空维。¹³)

当拉马努金函数被推广时,数 24 被数 8 所取代。于是,超弦理论的临界数是 $8 + 2$,即 10。这就是第 10 维的起源。弦所以振动在 10 维之中,是因为为了保持自治,它需要这些广义拉马努金函数。也就是说,物理学家一点也不理解为什么 10 和 26 维被选作弦的维数。就好像在这些没人理解的函数中存在着某种有待证实的数字命理学一般。正是这些出现在椭圆模函数中的魔数,决定了时空的维数是 10。

总之,10 维理论的起源像拉马努金本人一样神秘。听众问为什么自然可能存在于 10 维之中时,物理学家被迫回答,“我们不知道。”我们含混地知道时空的某些维为什么被选择

(否则弦不能以自洽的量子形式振动),但是我们不知道这些特殊数被选择的原因。没准答案要等到在拉马努金丢失的笔记本中被发现。

再创百年数学

拉马努金于1887年出生于印度的埃罗德(靠近马德拉斯)。虽然他家是婆罗门(印度最高的种姓),但全家仍然穷困,靠拉马努金的父亲在一个服装商的办公室里作职员菲薄薪水来维持生活。

到10岁时,拉马努金显然不喜欢别的孩子。像他以前的黎曼一样,他因惊人的计算能力而闻名全村。还是孩子的他就已重新导出了三角函数与指数之间的欧拉恒等式。

在每一个年轻科学家一生中,都有一个转折点,一个帮助改变他或她生活历程的奇特事件。对于爱因斯坦而言,它是对观察罗盘针的迷恋。对于黎曼,它是读勒让德关于数论的书。对于拉马努金,它是他偶然发现卡尔(George Carr)写的一本含糊又被遗忘的数学书。这本书由于以下事实而名垂千古:它记下了人们所知拉马努金唯一一次对现代西方数学的发觉。据他妹妹说,“正是这本书唤发了他的天才。他决心建立在书里给出的公式。他没有别的参考书,只要他感兴趣,每一个解就是研究的一部分。……拉马努金常说纳马卡(Namakkal)女神在梦中授意他公式。”¹⁴

由于他才华横溢,他能获得奖学金去上中学。但是因为他厌烦课堂教学的乏味,和全神贯注于那些不断萦绕在他脑中的方程,他没有进入高年级班,他的奖学金被取消了。受挫之后,他离家出走。最后他返回家中,但只是因为生病,并且又一次未能通过考试。

在朋友的帮助下,拉马努金设法成为马德拉斯港务信托公司的一名低级办事员。这是一个适于仆人做的工作,一年只挣微不足道的 20 英镑。但是,像他以前的爱因斯坦在瑞士专利局一样,它使拉马努金自由自在地在业余时间追求着自己的梦想。拉马努金继而把他“梦想”的一些结果寄给了三个知名的英国数学家,希望与别的数学头脑取得联系。收到这封未受过正规教育的无名印度办事员的信后,有两个数学家立即就把它扔掉了。第三个是杰出的剑桥大学数学家哈代(Godfrey H. Hardy)。由于他在英国的崇高威望,哈代习惯于收到怪人的邮件和模糊思想的信。在浓密的潦草字迹中,他注意到许多已被发现的数学定理。他认为它是一个明显的剽窃之作,也把它扔掉了。但是事情不大对头,有什么东西使他不安,他情不自禁关注起这封怪信来。

1913 年 1 月 16 日的晚餐上,哈代和他的同事利特尔伍德(John Littlewood)讨论这封怪信,决定再看一次它的内容。信的开头非常天真地写道,“请原谅我向您作自我介绍,我是马德拉斯港务信托公司帐目办公室的一个办事员,年薪只有 20 英镑。”¹⁵但是这位马德拉斯贫穷办事员的信中,竟含有西方数学家一无所知的许多定理。加起来,它含有 120 个定理。哈代被惊呆了。他记得证明其中若干定理就“完全使我折服了”。他回忆道:“我以前从没见过哪怕是稍许类似的东西。仅仅看一眼它们,就足以表明它们只能出自顶尖水平的数学家之手。”¹⁶

利特尔伍德和哈代达成相同的惊人结论:这显然是一个天才的工作,他致力于重新导出欧洲的百年数学。“他在逾越难以逾越的障碍,一个贫穷、孤独的印度人用它的智力对抗着欧洲人积累的智慧,”哈代回忆道。¹⁷

哈代请拉马努金去他那儿,经过一段周折之后,于 1914

年安排他呆在剑桥。拉马努金头一次能定期与他的同行(欧洲数学界)交流。于是开始了强劲的工作:在剑桥三一学院与哈代合作的短暂而紧张的3年。

后来,哈代试图评价拉马努金所拥有的数学技能。他给公认为19世纪西方最伟大的数学家之一希尔伯特(David Hilbert)打80分。对于拉马努金,他给100分。(哈代给自己打25分。)

遗憾的是,哈代和拉马努金对拉马努金发现这些难以置信的定理的心理或思考过程,特别是大量素材以此等频率从他的“梦”中奔涌而出时的思维,似乎都不感兴趣。哈代指出:“当他几乎每天给我看半打新定理时,想搞清楚他怎么发现这个或那个已知定理似乎是荒谬可笑的。”¹⁸

哈代生动地回忆道:

记得有一次他生病住在普特涅,我去看他,乘坐的是一辆号码为1729的出租马车,我注意到这个数字似乎是一个相当没劲的数字,只希望它不是一个凶兆。“不,”他听后答道,“它是一个很有趣的数,它是能用两种不同方式表示成两个数立方和的最小的数。”¹⁹

(它是 $1 \times 1 \times 1$ 和 $12 \times 12 \times 12$ 之和,也是 $9 \times 9 \times 9$ 和 $10 \times 10 \times 10$ 之和。)他能马上用算式列举出需要现代计算机来证明的复杂定理。

身体状况总是很差,饱受战争创伤的英国经济的紧缩,使得拉马努金不能保持他严格的素食,他常常出入于疗养院。与哈代合作3年后,拉马努金一病不起。第一次世界大战隔断了英国和印度之间的旅行,他于1919年设法回到了故乡,1年以后病逝。

模 函 数

拉马努金的遗产是他的工作,他的工作由密密麻麻写在3大卷笔记本上的4000个公式组成,那些公式有不可思议的幂次,却没有任何注释;那些令人困惑的定理,没有任何证明。然而,1976年,有了新的发现。包含他一生最后一年工作成果的130页散佚论文,在三一学院的一个箱子中被偶然发现。现在这被称为拉马努金“失散笔记本”。数学家阿斯基(Richard Askey)在为“失散笔记本”加注时说:“他面临死亡那一年的工作相当于一个大数学家一生的工作。他完成的工作令人难以置信。假如它是一本小说,那也没人会相信它。”为了强调他们辨认“笔记本”所遇到的困难,数学家乔纳森·博温(Jonathan Borwein)和彼得·博温(Peter Borwein)指出:“据我们所知,以前从未尝试过这样困难的数学编译工作。”²⁰

看着拉马努金方程的演算,好比是我们多年受贝多芬的西方音乐的熏陶,突然听到另一种音乐,一种在西方音乐中从来没有听过的和谐韵律交融、神秘美妙的东方音乐。乔纳森·博温说:“他似乎不像我们了解的人那样行事。他对事物的感觉是它们从他的脑子里溢出。或许他不以任何可翻译的方式看待它们。就好像是在筵席上看到一个你未曾邀请的人。”

如物理学家所知道,“事件”不会无缘无故地发生。当物理学家完成了一个冗长、困难的计算,突然有好几千个讨厌的项奇迹般地合计为零时,他们知道,如没有一个深层的内在原因,这是不会发生的。现在,物理学家们知道,这些“事件”表明对称性在起作用。就弦而言,此种对称性称为共形对称性,即拉伸或变形弦的世界面的那种对称性。

这正是拉马努金的工作奏效的地方。为了保护原来的共

形对称性不被量子理论所破坏,大量的数学恒等式必须奇迹般地得到满足。这些恒等式恰好是拉马努金模函数的恒等式。

总之,我们说过,我们的基本前提是,自然定律在高维中表述时得到了简化。然而,鉴于量子理论,我们必须设法改进这个基本主题。正确的说法现在应该是:自然定律在高维中自洽地表述时得到简化。增加自洽地这个字眼至关重要。这一限制条件迫使我们使用拉马努金的模函数,它把时空维数固定为10。这使得我们有了解释宇宙起源的一个决定性线索。

爱因斯坦常问自己,上帝是否有选择地创造宇宙。根据超弦理论家的说法,一旦我们要求量子理论与广义相对论统一,上帝就别无选择。他们宣称,单自治这一条,就必定迫使上帝像他所创造的那样创造这个宇宙。

虽然由超弦理论所引进的数学复杂性已达到令人目眩的地步,也震惊了数学家,但该理论的批评者们仍然在其最脆弱点敲击它。他们指出,任何理论都必须是可检验的。既然定义在 10^{28} 电子伏普朗克能量的理论不可检验,超弦理论就不是真正的理论!

如上所述,关键问题在于理论而不在于实验。如果我们聪明绝顶,我们就能彻底解决这理论,找到真正的非微扰解。然而,这不能成为我们不寻求用实验手段验证理论的理由。为了检验理论,我们必须等待来自第十维的信号。

第八章

来自第十维的信号

如果终极理论在我们有生之年被发现,那是多么不可思议啊! 终极自然法则的发现将标志着人类智力史的间断,标志着自从17世纪近代科学肇始以来最漂亮的理论已经出现。我们现在能想象出那是什样子吗?

——温伯格

物理原理美吗?

虽然超弦理论给我们提供了一个宇宙理论的令人振奋的表述,但是根本性难题在于,这一理论的实验验证似乎超出了我们目前的技术水平。事实上,该理论预言所有力的统一出现在普朗克能量,即 10^{28} 电子伏数量级,这个能量大约是现在从我们加速器中可获得能量的 10^{15} 倍。

物理学家格罗斯谈到产生这个巨大能量的费用时说:“把世界上所有国家金库中的钱都放在一起也不够,它确实是一个天文数字。”¹

这真令人失望,因为它意味着,实验验证这架驱使物理学进步的发动机,靠我们现在的机器或可想象的将来的机器,是不再可能了。这还意味着,十维理论不是通常意义下的理论,因为以我们地球上现在的技术水平,它是不可验证的。于是,

我们留下了这样的问题：因缺乏实验证明而被取代的某种物理原理，其本身美吗？

对于某些人而言，回答是一个响亮的“不”字。他们不屑一顾地嘲弄这些理论，称它们为“戏剧物理学”或“趣味数学”。批评家中最为刻薄的，是哈佛大学的诺贝尔奖得主格拉肖。在这场争论中，他已承担了牛虻的作用，带头非难主张高维可能存在的其他物理学家。格拉肖责骂这些物理学家，把当下流行的这种思想比作艾滋病毒，意思是不可救药。他还把现在的时尚效应与前总统里根(Reagan)的“星球大战”计划相提并论：

这里是一个谜：请说出两个极其复杂，需要数十年的研究开发，并且在现实世界里无法实现的宏大方案？“星球大战”与弦理论。……没有一个野心勃勃的方案能用现有技术来实现，也没有一个方案可以达到它所宣称的目标。就稀缺的人类资源而论，这两种冒险都是代价高昂的。另外，在这两种情况下，俄国人正在不顾一切地努力追赶。²

为了搅起更大的争论，格拉肖甚至写了一首诗，诗的结尾写道：

只要你敢作敢为，那么万物至理
没准不止是弦的轨形。
当你的一些领导已经年老僵化，
不独自信赖异端事物，
请听我们你不受打击的忠告——
至理之书没有写完，最后一个词不是威滕。³

格拉肖发誓不让这些理论进入他任教的哈佛大学，却未能如愿。但他承认，在这个问题上他常常寡不敌众。他遗憾地说，“在暴发的哺乳动物世界中，我发现自己是一条恐龙。”⁴（格拉

肖的观点肯定得不到别的诺贝尔奖得主[如盖尔曼(Murray Gell-Mann)和温伯格的赞同。事实上,物理学家温伯格说,“该理论为终极理论提供了我们唯一的候选者来源——居然有人希望许多最聪明的年轻理论家不研究它呢?”⁵]

为了理解这场涉及所有力统一的争论的意义,也为了理解它的实验验证问题,考虑以下“宝石寓言”的类比是有益的。

比如说,一开始是一颗十分美丽的宝石,它在三维中完全对称。然而,这颗宝石是不稳定的。一天,它炸裂开来,把碎片炸向四面八方,它们最终下落到平面国二维世界之中。好奇的平面国居民着手探究重组碎片。他们把原来的爆炸称为“大爆炸”,但他们不明白这些碎片为什么散落到他们的世界。最后,有两类碎片被认出来:一些碎片有一面被打磨光滑,平面国人把它们比作为“大理石”;另一些碎片完全是凹凸不平和丑陋的,一点也不规则,平面国人把它们比作为“木头”。

多年之后,平面国人分成两个阵营。第一个阵营开始把打磨过的碎片拼起来。慢慢地,有些磨光的碎片开始拼合在一起。这些平面国人对这些磨光的碎片怎么被组合起来大为惊讶,他们相信必定有一种有力的新型几何在起作用。这些平面国人称他们部分组合的碎片为“相对论”。

第二阵营的人设法拼凑那些凹凸不平、不规则的碎片。他们也在找出这些碎片中的模式方面取得了有限的成功。然而,凹凸不平的碎片只组成了一个较大的、甚而更不规则的团块,他们称之为标准模型。没人从称为标准模型的丑陋团块中受到启发。

然而,经过多年艰苦卓绝地努力把各种碎片拼合到一起,似乎无法把磨光的碎片与凹凸不平的碎片拼合起来。

于是有一天,一个足智多谋的平面国人偶然想出一个绝妙的主意。他宣布,如果把两块碎片“向上”移动到他称之为

第三维的地方,它们就能够拼成一块。大多数平面国人对这种新的处理方法困惑不解,因为没人能理解“向上”是什么意思。然而,他能够用计算机证明“大理石”碎片可以被视为一些物体的外部碎片,因此被磨光,而“木头”碎片则是内部碎片。当两种碎片在第三维中被拼在一起时,平面国人切望了解计算机显示了什么:具有完美三维对称性的光芒四射的宝石。这两组碎片之间的人为差别,被纯几何一举解决了。

然而,这个解留下了几个没有得到回答的问题。一些平面国人仍然想要这些碎片拼成宝石的实验证明,而不仅仅是理论计算。这一理论给出了建造大功率机器的能量的数量级,这台机器将把这些碎片“向上”提离平面国,在三维空间中拼合。但这所需的能量,大约是平面国人可供最大能量的 10^{15} 倍。

对于某些人而言,理论计算就足够了。即使缺乏实验证明,他们觉得“美”对于解决统一问题是绰绰有余的。他们指出,历史一再表明,对大自然中最难问题的解乃是最美的解。他们还正确地指出,三维理论无敌手。

然而,其他一些平面国人发出了怒吼。他们愤怒地说,不能被检验的理论不是理论。他们声称,检验这个理论将徒劳无益地耗费最好的头脑,浪费有价值的资源。

平面国以及真实世界中的这场争论,将持续一段时间,这是一件好事。正如18世纪哲学家儒贝尔(Joseph Joubert)所言,“没有解决问题先争论问题,比没有争论问题就解决问题更好。”

超导超级对撞机:透视创世之窗

18世纪英国哲学家休谟(David Hume)以提出每一个理论

都必须建立在实验基础之上这一命题而闻名,他茫然不知人们如何能实验验证创世理论。他指出,实验的核心是可重复性。除非实验可以在不同地点和不同时间多次得到重复,并且得到同样结果,否则理论就是不可靠的。但是人们怎么能完成一个创世本身的实验呢?由定义可知,创世不是一个可重复的事件,所以休谟必定得出结论,证明任何创世理论是不可能的。他声称,科学能回答除创世之外的关于宇宙的几乎所有问题,创世是唯一一个不能被重复的实验。

在某种意义上,我们正遇到休谟在18世纪所确认的这一问题的现代翻版。问题依然相同:重新产生创世所需的能量,超过了地球上任何可利用的能源。然而,尽管在我们的实验室里直接实验证明十维理论是不可能的,但有好几种间接处理这个问题的方法。最合理的处理方法是,指望超导超级对撞机(简称SSC)将找到一些亚原子粒子,这些亚原子粒子显示超弦特殊的特征,如超对称性。虽然SSC不能探测普朗克能量,但它可能给我们提供超弦理论正确性的坚实的间接证据。

SSC(已被可怕的政治对抗所扼杀)将是一架真正庞大的机器,是最后一架这类机器。当大约于2000年它在德克萨斯州达拉斯建成时,它将由80千米长的巨型管道组成,管道周围由巨大磁体所包围(如果其中心位于曼哈顿,它将会延伸到康涅狄格州和新泽西州)。将有3000多名专职和访问科学家与工作人员进行实验,并分析从这架机器得来的数据。

SSC的目的,是激励这条管中的两束质子,直到它们的速度接近于光速。因为这些质子束沿顺时针和逆时针方向传播,当它们达到其最大能量时,使它们在管内对撞是一件简单的事。质子之间彼此碰撞达到40万亿电子伏的能量,从而产生可由探测器分析的大量亚原子残骸。大爆炸本身之后,这

种碰撞再没有出现过(故 SSC 的绰号是“透视创世之窗”)。在这些残骸中,物理学家希望找到奇异亚原子粒子,这些粒子将阐明物质的最终形式。

毫不奇怪,SSC 是一项非凡的工程和物理学计划,达到了已知技术的极限。因为使管中质子和反质子弯曲所需的磁场非常大(数量级是地球磁场的 10 万倍),为了产生和保持它们,必须采取超常的步骤。例如,为了减小导线中的发热和电阻,磁体必须被冷却到近乎绝对零度。还要采取专门措施来加固磁体,因为磁场如此之强,以至于若不加固磁体,磁场将使磁体金属本身变形。

由于 SSC 预算造价达 110 亿美元,它变成一个令人垂涎的东西和施展激烈政治手腕的题材。过去,原子对撞机的建造地点,由毫不掩饰的政治交易所决定。例如,伊利诺伊州所以能够恰好在芝加哥旁边的巴达维亚建造费米实验室加速器,是因为(根据《今日物理》杂志)约翰逊总统需要伊利诺伊参议员德克森(Everett Dirksen)投越南战争的关键一票。SSC 可能没有什么不同。虽然许多州尽力争夺该计划,但可能毫不奇怪,SSC 于 1988 年落户于德克萨斯州,特别是美国当选总统和民主党副总统候选人都来自德克萨斯。

虽然数十亿美元已经花费在 SSC 之上,但它将永远不会被建成。使物理学界震惊的是,1993 年,众议院投票取消了这个计划。对国会而言,一架昂贵的原子对撞机可以从两方面看待:它可以是一个油水足的项目,在拥有它的州里,产生了成千上万的就业机会和数十亿美元的联邦财政补贴;或者,它可以被看成是一个不可信的吞钱洞,不产生任何直接用户收益的费钱项目。他们振振有词地说,在经济不景气时期,高能物理学家的一件昂贵玩具是美国负担不起的奢侈品。(但平心而论,SSC 计划的资金必须恰当地看待。“星球大战”资

金1年就花费40亿美元。整修航空母舰需10亿美元。一艘航天飞机造价10亿美元。一架B-2隐形轰炸机造价近10亿美元。)

虽然SSC寿终正寝了,但是我们能从中发现什么呢?至少,科学家们希望找到奇异粒子,比如由标准模型预言的神秘的希格斯粒子。正是希格斯粒子产生对称性破缺,从而是夸克质量的起源。于是,我们希望SSC将发现“质量的起源”。围绕我们的所有具有重量的物体,全靠希格斯粒子才有它们的质量。

然而,物理学家们中的赌注是,SSC还有机会找到标准模型以外的奇异粒子。(可能性包括“彩”粒子,它们正好处在标准模型之外,或者包括“轴子”,它们有助于解释暗物质问题。)但是,最令人激动的或许是超粒子,它们是普通粒子的超对称配偶子。例如,引力微子是引力子的超对称配偶子。夸克和轻子的超对称配偶子分别是标量夸克和标量轻子。

如果超对称粒子最终被发现,那么我们将有一线生机看到超弦本身的残迹。(像场论对称性那样,超对称于1971年在超弦理论中被首次发现,它甚至在超引力发现之前被发现。事实上,超弦或许是唯一可使超对称与引力以完全自治方式结合起来的理论。)即使超对称粒子的潜在发现将不证明超弦理论的正确性,它仍将有助于安抚怀疑论者,这些人说没有一丝关于超弦理论的物理学证据。

来自太空的信号

既然SSC无从建成,从而将无从探测到这样一些粒子,它们是超弦的低能共振,那么,另一种可能就是测量宇宙线的能量,这些宇宙线是高能亚原子粒子,它们的来源仍然不知道,

但必定是远远地处在我们的星系之外的太空。例如,虽然没人知道宇宙线来自何方,但是它们所具有的能量超过了在我们实验室中发现的任何东西的能量。

与原子对撞机中产生的受控射线不同,宇宙线具有无法预言的能量,它不能按要求产生精确的能量。在某种意义上,它好像是企图要么用消防水龙要么干等暴雨来灭火。消防水龙更为便利:我们能在我们高兴的任何时刻通水,能随意调节水的强度,并且所有的水都以相同均匀的速度喷射。因此,消防龙头喷出的水对应于在原子对撞机中产生受控束。然而,从暴雨中来的水可能比消防龙头来的水更加密集、更加有效。当然,问题在于,暴雨像宇宙线那样是无法预言的。你既不能调控暴雨,也不能预言其可能起伏很大的速度。

宇宙线首先于 80 年前由耶稣会会士伍尔夫(Theodor Wulf)在巴黎埃菲尔铁塔顶部进行的实验所发现。从 20 世纪初到 20 世纪 30 年代,英勇的物理学家乘气球或翻山越岭以获得宇宙线的最佳测量结果。但是宇宙线研究在 30 年代开始衰落,当时劳伦斯(Ernest Lawrence)发明了回旋加速器,在实验室里产生了能量比最强的宇宙线还高的受控束。例如,能量达到 1 万万电子伏的宇宙线就像雨点那样平常,它们以每秒每平方英寸若干的速率击打地球的大气。然而,劳伦斯的发明造就了超过该能量 10 倍至 100 倍的庞大机器。

幸运的是,自从伍尔夫首次把带电容器放在埃菲尔铁塔上,宇宙线实验已经发生了剧烈变化。火箭乃至卫星现在能发送远远高出地表的辐射计数器,以便最大限度地减小大气的影响。高能宇宙线击中大气时,击碎了大气中的原子。这些碎片又产生了破碎原子或离子的簇射,它们可用地上的这一系列探测器来探测。芝加哥大学和密歇根大学之间的合作研究,开展了雄心勃勃的宇宙线计划,1089 个庞大阵列的探

测器散布在大约 1 平方英里的沙漠中,等待宇宙线簇射来触发它们。这些探测器被安置在一个与世隔绝的理想地域:达格韦武器试验场(犹他州盐湖城西南约 130 千米处)。

犹他探测器足够灵敏,它能鉴别出一些能量最高的宇宙线的来源。到目前为止,天鹅座 X-3 和武仙座 X-1 已经被证认为大功率的宇宙线发射源。它们可能是大的、自转着的中子星,或者甚至是黑洞,黑洞慢慢地吞噬着一颗伴星,产生巨大的能量涡旋,并向太空喷出巨量辐射(如,质子)。

到目前为止,已被探测到的最高能量的宇宙线具有 10^{20} 电子伏的能量。这个数字非常惊人,它是 SSC 所能产生的能量的 1000 万倍。我们不指望用我们的机器在 20 世纪内产生接近于这个宇宙能的能量。虽然这个能量仍然比探测第十维所需的能量小 1 亿倍,但是我们希望银河系中的黑洞深处产生的能量将接近于普朗克能量。用大的沿轨道运动的宇宙飞船,我们应该能够更深入地探测这些能源的结构,并且探测到甚至比这更大的能量。

根据一个公认的理论,我们银河系中最大的能源——远远超过了由天鹅座 X-3 或武仙座 X-1 所产生的任何能量——位于其中心,它可能由数以百万计的黑洞组成。因此,由于 SSC 被国会取消,我们将发现探索第十维的最终探测器可能在外太空中。

检验不可检验的东西

历史上,物理学家曾经多次庄严宣布某个现象是“不可检验的”或“不可证明的”。但亦有另一种态度,科学家们可以认真对待普朗克能量难以得到,在普朗克能量附近进行可能的间接实验,从而作出意料之外的突破。

19世纪,一些科学家宣布了解恒星的构成永远超出了实验能力。1825年,法国哲学家和社会评论家孔德(Auguste Comte)在他所著的《实证哲学教程》中宣称,由于恒星距我们极遥远,因此我们除了知道恒星是天空中不可到达的光点,此外一无所知。他宣称,19世纪或其他任何一个世纪的机器,都没有足够的力量逃脱地球到达恒星。

虽然决定恒星的构成似乎超出了任何科学的能力,但具有讽刺意味的是,几乎在同时,德国物理学家夫琅禾费(Joseph von Fraunhofer)正在做这件事情。他用棱镜和分光镜分离从遥远恒星发出的白光,确定这些恒星的化学组成。因为恒星中每一种化学元素发出一个特征“指纹”,或叫光谱,对于夫琅禾费而言,不难完成这件“不可能”的事,并确定氢是恒星中最丰富的元素。

这激发了诗人布什(Ian D. Bush)的诗兴:

眨眼,眨眼的小星星,
我不知道你们是什么,
通过分光镜的视野,
我才知道你们是氢。⁶

于是,虽然借助火箭到达恒星所需的能量,远远超过了对于孔德可得到的任何东西(或者,就此而言,对现代科学可得到的任何东西),但关键的步骤不涉及能量。足以解决问题的关键观测在于来自恒星的信号,而不在于直接的测量。同理,我们可以希望,从普朗克能量发出的信号(可能是从宇宙线,亦可能是一个未知来源),而不是从巨大的原子对撞机进行直接测量,可能足以探测到第十维。

“不可检验”思想的另一个例子,是原子的存在性。19世纪,原子假说被证明是认识化学和热力学定律中的关键一步。然而,许多物理学家拒绝相信原子确实存在。它们可能只是

一种数学手段,碰巧它给出了这个世界的正确描述。例如,哲学家马赫就不信原子存在,认为它只是作为一个计算工具。(甚至今天,由于海森伯不确定性原理,我们仍然不能直接拍摄原子的照片,虽然现在已有了间接方法。)然而,1905年,爱因斯坦却给出了原子存在的使人信服的(虽然是间接的)证据。当时他证明,布朗运动(即悬浮在液体中的花粉粒子的无规运动)可以被解释为花粉粒子与液体中原子之间的无规碰撞。

同样,我们可能希望尚未被发现的间接方法给出第十维物理的实验证明。我们不指望给第十维拍照片,而应当满足于它的“影子”的照片。这种间接方法将仔细地分析从原子对撞机来的低能数据,以判断是否十维物理以某种方式影响了低能数据。

物理学中第三个“不可检验”思想,是难以捉摸的中微子的存在性。

1930年,物理学家泡利假设了一个新的看不见的粒子,他称之为中微子,目的是解释某些放射性实验中似乎破坏了物质和能量守恒的消失的那部分能量。虽然泡利意识到,中微子几乎不大可能用实验观察到。因为它们与物质的相互作用相当微弱,因此相当难观察到。例如,如果我们造一块硬铅,把它从我们的太阳系拉伸几光年到半人马座 α ,把它放置在中微子束的路上,一些中微子仍会从另一端穿出来。中微子能穿过地球,就好像地球根本不存在一样,事实上,从太阳发出的无数的中微子一直在穿过你的躯体,甚至在黑夜里亦如此。泡利承认:“我犯了一个弥天大罪,我预言了永远观察不到的一种粒子的存在。”⁷

中微子如此难以捉摸和无可探测,它竟然激发诗人厄普代克(John Updike)写了一首名为“宇宙瑕疵”的诗:

中微子,它们非常小。
它们无电荷无质量,
全然没有相互作用。
地球对它们只是一个糊涂的球,
它们穿球而过
像尘埃少女穿堂而过
亦如光子通过一片玻璃。
它们傲视最精美的气体,
忽视最坚实的墙,
轻视钢和坚固的黄铜,
蔑视他马厩中的牡马
藐视种类的障碍,
渗透你也渗透我!像巨大
又锋利的侧刀,它们
铡过我们的头进入地表。
晚上,它们进入尼泊尔
从床的下边戳穿情人和他的情侣
——你称它奇妙,我称它冷酷。⁸

虽然中微子曾被认为是最终“不可检验”的思想,因为它几乎不与其他物质相互作用,但今天我们时常在原子对撞机中产生一束中微子,用从核反应堆中发出的中微子做实验,在地表深处矿井中探测它们的存在性。(事实上,当一颗壮观的超新星于1987年照亮南半球天空时,物理学家们注意到一串中微子穿过了他们深埋在矿井中的探测器。这是中微子探测器第一次被用来进行至关重要的天文学测量。)在短短30年中,中微子已从一个“不可检验的”思想转变成了现代物理学的一匹役马。

问题是理论的,而不是实验的

从科学史的长远观点来看,可能有一些乐观的理由。威滕确信,科学有朝一日将能够探测到普朗克能量。他说,

并非总是容易说出,哪些是容易问题,哪些是困难问题。在19世纪,水为什么在100度沸腾这一问题无望地不可企及。如果你告诉19世纪物理学家,到20世纪你能计算这个问题,这听上去像一个童话。……量子场理论如此之难,以至于25年来没人完全相信它。

他认为,“好主意总会得到印证。”⁹

天文学家爱丁顿(Arthur Eddington)甚至质问,科学家在坚持一切事物都应接受检验时,他们是否说过了头。他写道:“科学家普遍表示他的信念基于观察,而不是理论。……但我从没有碰到将这一表白付诸实施的人。……观察是不够的……理论在决定信念中有重要的作用。”¹⁰诺贝尔奖得主狄拉克更加直截了当地说:“方程有美感比方程与实验相符更加重要。”¹¹或者,用CERN物理学家埃利斯(John Ellis)的话来说,“用我几年前打开的糖果纸的话语,‘只有乐观主义者才能在这个世界上有所作为。’”然而,尽管持此论者主张一定程度的乐观,但是实验形势看来暗淡。我和一些怀疑论者都认为,我们最多可以指望,到21世纪去间接检验十维理论。这是因为,这个理论归根结底是一个创世理论,因此,检验它,必然要在我们的实验室里重新产生一个“大爆炸”。

就个人而言,我认为我们不必等一个世纪,我们的加速器、空间探测器和宇宙线计数器就将强大到足以间接探测第十维。在若干年内,肯定在今日物理学家的寿命内,某个聪明绝顶的物理学家将能够通过求解弦场论或通过其他非微扰表

述,来证实或否定十维理论。因此,问题是理论的,而不是实验的。

假设某个聪明的物理学家解决了弦场论,导出了我们宇宙的一些已知性质,但是仍然存在什么时候我们可能利用超维空间理论的威力这一实际问题。有两种可能性:

1. 等到我们的文明获得驾驭比我们今天所能产生的任何东西的能量大几万亿倍的能力。
2. 遇到掌握了操纵超维空间技艺的地外文明。

我们回忆一下,从法拉第和麦克斯韦的工作到爱迪生(Edison)及其合作者实际利用电磁力,大约花费了70年。现代文明仍然主要依靠控制电磁力。核力在接近世纪之交被发现,80年后,我们仍然没有办法在聚变反应堆中成功地控制它。下一步,要想利用统一场论的威力,我们的技术需要更大的飞跃,但那将可能具有非常重要的意义。

根本性问题在于,我们正促使超弦理论解答关于日常能量的问题,即它的“天然归宿”位于普朗克能量。这个巨大的能量,只有在创世那一时刻才释放出来。换言之,超弦理论天生是一种创世理论。好比笼中的猎豹,我们为了取乐要求这个雄健的动物为我们唱歌跳舞。猎豹真正的家是广袤的非洲平原。超弦理论真正的“家”是创世时刻。然而,如果我们的人造卫星足够先进,或许有一个最终的“实验室”,我们在此能用实验探测超弦理论的天然归宿,这就是创世的回声!

第九章

创世之前

天地浑沌如鸡子,盘古生其中。

——盘古神话(中国,3世纪)

如果上帝创造了世界,在创世之前他在哪儿呢?
……知道世界是非创造的,时间也是这样,无始无终。

——大往世书(印度,9世纪)

“上帝有妈妈吗?”

当被告知上帝创造了天地之后,孩子们天真地问上帝是否有妈妈。这个貌似简单的问题难倒了教会的长者,使最优秀的神学家难堪,引发了多个世纪以来最棘手的神学争论。所有大宗教都叙述了围绕神的创世活动的许多神话,但是它们都没有恰当地正视孩子们所问问题中固有的逻辑悖论。

上帝可以用7天时间创造天地,但是第1天之前发生了什么呢?如果人们承认上帝有妈妈,那么人们自然又问上帝的妈妈是否也有妈妈,如此等等。然而,如果上帝没有妈妈,那么这个回答带来了更多的问题:上帝从哪儿来的呢?上帝永生不朽,还是超越时间本身?

几百年来,甚至由教会任命的大画家在他们的艺术作品中也在设法解决这些棘手的神学争论。当描绘上帝或者亚当和夏娃时,你给他们画肚脐吗?因为肚脐标志着脐带的连接

点,所以,无论上帝还是亚当和夏娃都不会被画上肚脐。例如,米开朗琪罗(Michelangelo)在画西斯廷教堂的天花板时,在著名的创世和亚当、夏娃从伊甸园驱逐出来的画中,就面临过这个困境。对这个神学问题的回答,将被发现悬挂在某些大博物馆中:上帝和亚当、夏娃的确没有肚脐,因为他们是万物之先。

上帝存在之证明

阿奎那(St. Thomas Aquinas)在13世纪写作时为教会意识形态中的自相矛盾所困扰,决定从神话的不定性到逻辑的严密性提出一个神学争论的准则。在他著名的“上帝存在之证明”一文中,他打算解决这些古老的问题。

阿奎那用下列诗句来总结他的证明:

事物在运动,故有第一推动者,
事物有因,故有第一因,
事物存在,故有造物主,
完美的善存在,故有根源,
事物被设计,故有目的。¹

(前3行诗是所谓宇宙学证明的变种,第4行诗论证道德基础,第5行诗被称为目的论证明。道德证明迄今是最弱的,因为道德可以用演变的社会习俗来看待。)

阿奎那对上帝存在的“宇宙学”证明和“目的论”证明,在过去700年中被教会用来回答这个棘手的神学问题。虽然根据过去7个世纪作出的科学发现这些证明已经被证明漏洞百出,但是在它们的时代,它们十分巧妙,显示出希腊人的影响,希腊人首先把严密引进到他们关于自然的推测之中。

阿奎那通过假定上帝是第一推动者和第一制造者,开始

了宇宙学证明。他通过简单地断言“谁造上帝”问题没有意义,精明地避开了这个问题。上帝没有制造者,因为他是第一制造者。证毕。宇宙学证明如下:运动着的万事万物必然有一些事物在推动它,事物后面又必定有另一些事物在推动,如此等等。但是,什么开始第一推动呢?

设想现在你闲坐在公园里,看着在你面前运动的儿童玩具手推车。你显然认为,有一个推车的小孩。你稍等片刻,只发现有另一个车推第一个车。奇怪的是,你等了较长的时间看小孩,但是看见有第三个车在推前两个车。随着时间的推移,你看见几百个车,一个推着另一个,就是没有见到小孩。你大惑不解,往远处看。你惊奇地看到无穷多的车延伸到地平线处,一个推着另一个,根本没有小孩。如果推一个车得有一个小孩,那么一串无穷多的车在没有第一推动者时能被推动吗?这无穷多的车能自己推自己吗?不会。所以,上帝一定存在。

目的论证明甚至更有说服力。它证明必定有第一设计者。例如,设想走在火星的沙地之上,在那里,风和尘暴侵蚀着山川和巨大的环形山。数千万年来,没有什么逃脱得了沙暴的侵蚀和磨损效应。那么,使你惊奇的是,你发现一个漂亮的照相机躺在沙丘之中。镜头被磨得光光的,快门装置灵敏。你肯定认为,火星的沙石不会产生如此美丽的人工制品。你断定,显然有某个智者制造了这个照相机。接着,在火星表面徘徊一会后,你碰到一只兔子。显然,兔子的眼睛比照相机的眼睛更为复杂。兔子眼睛的肌肉比照相机的快门灵敏得多。所以,兔子的制造者必定比照相机的制造者更高级。所以,这个制造者一定是上帝。

现在设想地球上的机器。这些机器无疑是由更高级的东西(比如人)制造的。人无疑远比机器更为复杂。所以,制造

我们的人一定远比我们更复杂。因此,上帝必定存在。

1078年,坎特伯雷大主教圣安塞姆(St. Anselm)炮制了一个或许最为复杂的上帝存在之证明,本体论证明,它一点也不依赖于第一推动者或第一设计者。圣安塞姆声称,他能单单靠纯粹的逻辑来证明上帝的存在。他定义上帝为最完美、可想象到的最强有力的生物。然而,有可能推想两类上帝。我们设想,第一类上帝不存在;第二类上帝实际存在,并且能实现奇迹,比如开沟造渠,起死回生。显然,第二类上帝(它存在)比第一类上帝(它不存在)更为有力和更为完美。

然而,我们定义上帝是最完美和可想象到的最强有力的生物。根据上帝的定义,第二类上帝(它存在)是更加完美和有利的上帝。所以,第二类上帝是满足定义的上帝。第一类上帝(它不存在)比第二类上帝更弱和更不完美,所以不符合上帝的定义。因此,上帝必定存在。换句话说,如果我们定义上帝“至高无上”,那么上帝必定存在,因为如果它不存在,就能够想象出确实存在的更大的上帝。这是相当巧妙的证明,不像阿奎那的证明,它与创世活动无关,只依靠完美生物的定义。

这些上帝存在之“证明”竟然蔑视科学家和逻辑学家的反复挑战,硬挺了700年之久。其原因在于,对物理学和生物学基本定律认识不足。事实上,只是在上一个世纪才发现了能识破这些证明中潜在漏洞的新的自然定律。

例如,宇宙学证明的漏洞在于,质能守恒无需诉诸于第一推动者就足以解释运动。比如,气体分子无需任何人或任何物使它们运动,就可以与容器壁相碰弹回。原则上,这些分子能永远运动,无始无终。因此,只要质能守恒,就没有第一推动者或最后一个推动者存在的必要。

对于目的论证明,进化论表明,通过自然选择和机遇从较

原始的生命有可能产生更高级、更复杂的生命形式。最终,无需诉诸于更高级的智慧,我们就能回溯生命本身的起源,一直到早期地球海洋中蛋白质分子的自发形成。米勒(Stanley L. Miller)于1955年完成的研究表明,在包含组成早期地球大气的甲烷、氨和其他气体的容器中火花放电,能自发生成复杂的碳氢化合物分子,并且最终形成氨基酸(蛋白质分子的母体)和其他复杂有机分子。因此,第一设计者对产生生命是不必要的,如果有足够的时间,生命显然能自然而然从无机化学物质中出现。

最后,经过几个世纪的混乱,康德(Immanuel Kant)第一个指出本体论证明的错误。康德指出,说明物体存在并不能说明它更完美。例如,这一证明能用来证明独角兽存在。如果我们定义独角兽是可想象的最完美的马,如果独角兽不存在,就能想象一个存在的独角兽。但是说它存在,并不意味着它比不存在的独角兽更加完美。因此,独角兽不一定必然存在。上帝也不一定必然存在。

自阿奎那和圣安塞姆时代以来,我们取得了进步吗?

回答既是肯定的又是否定的。我们可以说,现在的创世理论基于两个支柱:量子理论和爱因斯坦引力理论。1000多年里我们第一次可以说,上帝存在的宗教“证明”,已被我们对热力学和粒子物理学的认识所取代。然而,用大爆炸取代上帝的创世行为,我们却用另一个难题取代了这个问题。阿奎那认为,把上帝定义为第一推动者,他解决了上帝之前发生什么的难题。如今,我们仍然在跟大爆炸之前发生什么的问题作斗争。

不幸的是,爱因斯坦方程在宇宙起源时的极小距离和极大能量处失效了。在 10^{-35} 米数量级的距离,量子效应破坏了爱因斯坦理论。所以,为了重新解决涉及时间之始的哲学问

题,我们必须依靠十维理论。

在本书里,我们强调了我们加入高维时物理学定律得到统一的事实。在研究大爆炸时,我们看到这一表述的逆过程。我们将看到,大爆炸可能起源于原始十维宇宙裂解成四维宇宙和六维宇宙的过程。于是,我们可以把大爆炸的历史看作是十维空间解体的历史,从而看作是上述统一对称性解体的历史。这就是本书的相反主题。

因此,把大爆炸动力学拼在一起如此之难并不奇怪。事实上,通过逆时间回溯,我们正在重组十维宇宙的碎片。

大爆炸的实验证据

每一年,我们都能找到大爆炸发生在大约 150 亿年到 200 亿年前的许多实验证据。让我们评述一下这些实验结果。

首先,恒星正以飞快的速度离我们远去,这一事实通过测量它们的星光畸变(称为红移)已反复得到证实。[退行恒星的星光被移向更长的波长,即移向光谱的红端,道理等同于退离火车的汽笛声比逼近火车的汽笛声高,比退离火车的声音低。这叫做多普勒效应。哈勃定律也表明,恒星或星系离我们越远,就退离得越快。天文学家哈勃(Edwin Hubble)于 1929 年首先宣布的这一事实,在过去 50 年已被实验证实。]我们没有看到遥远星系的任何蓝移,蓝移意味着一个坍缩的宇宙。

其次,我们知道,在我们的星系中,化学元素的分布与在大爆炸和恒星中重元素形成的预言几乎完全吻合。在原初大爆炸中,由于巨大的热量,原始的氢核以足够大的速度彼此相撞从而使它们聚变,形成新的元素:氦。大爆炸理论预言,宇宙中氦与氢的大致比率应该是,氦占 25%,氢占 75%。这与宇宙中氦的丰度的观测结果相符。

第三,退回到 100 亿年到 150 亿年前宇宙中最早的客体,与大爆炸的粗略估计相吻合。我们看不到任何比大爆炸更为古老的客体。因为,放射性物质以精确的已知速率(例如,借助于弱相互作用)衰变,通过计算某种放射性物质的相对丰度,能够得知物体的年龄。如名叫碳 14 的放射性物质每 5730 年衰变一半,这使我们能够确定含碳考古材料的年龄。别的放射性元素(像铀 238,其半衰期是 40 亿年),使我们能够确定(从“阿波罗”飞船得到的)月球岩石的年龄。地球上发现的最古老的岩石和陨石可追溯到大约 40 亿年到 50 亿年前,这大致是太阳系的年龄。通过计算其演化已知的某些恒星的质量,我们能证明我们银河系中最古老的恒星可回溯到大约 100 亿年前。

第四,也是最为重要的,大爆炸产生的一种响彻整个宇宙的宇宙“回声”,应该可以用我们的仪器测量到。事实上,贝尔电话实验室的彭齐亚斯(Arno Penzias)和威尔逊(Robert Wilson)由于探测到大爆炸的这一回声,即一种贯穿已知宇宙的微波辐射,而获得 1978 年诺贝尔奖。大爆炸回声在大爆炸之后数十亿年应该萦绕着宇宙,这一事实最先由伽莫夫(George Gamow)和他的学生阿尔法(Ralph Alpher)以及赫尔曼(Robert Herman)所预言,但是没有人把他们当一回事。当他们在第二次世界大战后不久提出这种思想时,测量创世回声的这个想法似乎是古怪的。

然而,他们的逻辑十分令人信服。当被加热时,任何物体逐渐发射辐射。这就是铁放在熔炉中时变得赤热的原因。铁越热,它发射的辐射频率就越高。一个精确数学公式(斯特藩-玻尔兹曼定律)把光的频率(或在这种情况下光的颜色)与温度关联起来。(事实上,这就是科学家通过测量它的颜色确定遥远恒星表面温度的方式。)这种辐射被称为黑体辐射。

当铁冷却时,发射辐射的频率也减小,直到铁在可见光范围内不再发射为止。铁回到它的正常颜色,但它继续发射不可见的红外辐射。这就是军事夜视镜在黑夜工作的原因。夜间,相对热的物体(比如敌兵和坦克发动机)可能被隐蔽在黑暗中,但它们不断以红外辐射的形式发射不可见的黑体辐射,这种辐射能被专门的红外眼镜探测到。这也是夏天你的密封轿车变热的原因。阳光穿过你的轿车的玻璃,使车内变热。随着车的变热,它开始以红外辐射的形式发射黑体辐射。然而,红外辐射不能很好地穿透玻璃,因此在轿车里出不来,急剧升高了轿车的温度。(同理,黑体辐射影响温室效应。像玻璃一样,燃烧化石燃料所引起的大气中二氧化碳含量升高,会使地球的红外黑体辐射难以散发,因此逐渐使地球变暖。)

伽莫夫推断,大爆炸起初很热,从而是一个理想的黑体辐射发射器。虽然 20 世纪 40 年代的技术相当简陋,无法探测这个来自创世的微弱信号,但是他能计算出这一辐射的温度,并且自信地预言,有朝一日我们的仪器会足够灵敏,从而可检测这种“化石”辐射。他的思想背后的逻辑如下:大约大爆炸之后 30 万年,宇宙冷却到原子可以开始凝结的温度,电子开始绕质子运动从而构成稳定的原子,原子不再被穿过宇宙的强烈辐射所分解。在此之前,宇宙很热,原子一形成就不断被辐射所打破。这意味着,宇宙是不透明的,像一团浓厚的、吸收力强的、不可穿透的雾。然而,30 万年后,辐射不再强到使原子分解,从而光可以未被散射地传播很长距离。换言之,宇宙在 30 万年后突然变黑、变透明。(我们如此习惯于听说“太空是黑暗的”,以至于我们忘记早期的宇宙根本不透明,而是充满了汹涌的、不透明的辐射。)

30 万年之后,电磁辐射不再与物质发生强烈相互作用,从而变成黑体辐射。随着宇宙逐渐变冷,这种辐射的频率变

低。伽莫夫和他的学生算出该辐射将远低于红外区域,而进入微波波段。伽莫夫推断,通过在天空搜索均匀的各向同性的微波辐射源,人们应该能够探测这一微波辐射,发现大爆炸的回声。

伽莫夫的预言被遗忘了好几十年,直到 1965 年微波背景辐射被十分偶然发现。当彭齐亚斯和威尔逊在新泽西州霍尔姆德尔打开他们的新喇叭形反射器天线时,他们发现了一种贯穿所有空间的神秘的背景辐射。起先,他们认为这种出乎意料的辐射由污染物质(比如落在天线上的鸟粪)引起的静电所造成。但是当他们拆卸并且弄干净大部分天线之后,他们发现“静电”继续存在。与此同时,普林斯顿大学物理学家迪克(Robert Dick)和皮布尔斯(James Peebles)正在重新考察伽莫夫那个旧的计算。当彭齐亚斯和威尔逊最终听说了普林斯顿物理学家们的工作时,显然他们的结果之间有联系。当他们意识到这个背景辐射可能是原初大爆炸的回声时,据说他们欢呼道:“我们看到的不是一堆鸟粪,就是宇宙的创生!”他们发现,这一均匀背景辐射几乎就是伽莫夫及其合作者早些年所预言的东西,如果大爆炸留下了某种已经冷却到 3 开残余辐射的话。

COBE 与大爆炸

大爆炸理论最引人注目的科学证明,或许是宇宙背景探测器(简称 COBE)卫星在 1992 年取得的结果。当年 4 月 23 日,全美国的报纸都报道了加利福尼亚大学伯克利分校斯穆特(George Smoot)领导的一组科学家的研究结果,它宣布了大爆炸理论最引人注目、最令人信服的论据。没有物理学或神学背景的记者和专栏作家在他们的新闻报道中突然增加关于

“上帝面目”的雄辩。

COBE 卫星能够把彭齐亚斯、威尔逊、皮布尔斯和迪克的早期工作改善许多个数量级,足以排除对于已决定性地发现大爆炸发射的化石辐射所持的一切疑问。普林斯顿的宇宙学家奥斯特里克(Jeremiah P. Ostriker)宣称,“当化石在岩口中被发现时,它使物种起源绝对明白无误。好,COBE 发现了它的化石。”²1989 年底发射的 COBE 卫星,被专门设计用来分析由伽莫夫和他的同事所首先推测的微波背景辐射结构中的微观细节。COBE 的发射还有一项新任务:澄清背景辐射引起的早期困惑。

彭齐亚斯和威尔逊的原始工作是粗糙的;他们只能证明背景辐射均匀到 10%。当科学家们更详细地分析背景辐射时,他们发现它特别均匀,没有明显的起伏、扭结或疙瘩。事实上,它太均匀了。背景辐射像均匀的、看不见的雾充满了宇宙之中,它如此均匀,以至于科学家很难使它和已知的天文数据相一致。

20 世纪 70 年代,天文学家用他们巨大的望远镜越过大部分的天空系统地测绘大量星系。使他们惊奇的是,他们发现,大爆炸后 10 亿年,宇宙已经呈现出一种聚集成星系、甚至更大的星系团,以及被称为巨洞的巨大又空虚的空间的模样。星系团硕大无朋,一度含有数十亿个星系,巨洞延伸的尺度则以百万光年计。

但是这里有一个宇宙之谜:如果大爆炸非常均匀,那么 10 亿年时间对于形成我们看到的星系团中的物质聚集是不够的。原始均匀大爆炸与 10 亿年后的宇宙团块之间总的不匹配,是一个折磨每一个宇宙学家的恼人的难题。大爆炸理论本身不再有什么怀疑,麻烦的是我们对创世之后 10 亿年的“后大爆炸”演化的认识。但是没有能测量宇宙背景辐射的敏

感的卫星,这一难题使人烦恼了许多年。事实上,到1990年,没有严格科学背景的新闻记者开始写一些耸人听闻的文章,错误地说科学家发现了大爆炸理论本身的致命漏洞。许多记者写道,大爆炸理论将被推翻。长期诽谤大爆炸理论的其他方案开始在传媒中再次抬头。甚至《纽约时报》发表重头文章都说,大爆炸理论处在严重的困境之中(此种说法在科学上不正确)。

这场围绕大爆炸理论的伪争论,使得COBE数据的宣布更为有趣。COBE卫星能用前所未有的精度(探测十万分之一变化的能力)搜索天空,用无线电发回宇宙背景辐射的前所未有的最精确画面。COBE结果再次证实了大爆炸理论以及更多的东西。

然而,COBE数据并不容易分析。斯穆特领导的小组必须面对诸多巨大难题。例如,他们必须仔细扣除背景辐射中地球的运动效应。太阳系相对于背景辐射以每秒370千米的速度移动着。还存在太阳系相对于银河系的相对运动,银河系相对于星系团的复杂运动。尽管如此,辛辛苦苦的计算机放大之后,几个使人震惊的结果由分析而得到。首先,微波背景以0.1%的误差与伽莫夫的早先预言相吻合(用更精确的实验数据加以调整)(图9.1)。实线代表预言,而×表示COBE卫星测得的数据点。这幅图第一次在大约1000多名天文学家的会议上被投影在屏幕上时,全屋子的人突然起立欢呼。这可能是科学史上头一遭,一个简单的图得到如此众多著名科学家雷鸣般的掌声。

其次,斯穆特小组能证明,细微的几乎微观的斑点事实上出现在微波背景中。这些微小的斑点就是有待解释的大爆炸后10亿年所发现的星团和巨洞。(如果这些斑点未被COBE所发现,那么必须在后大爆炸分析中作出重要的修正。)

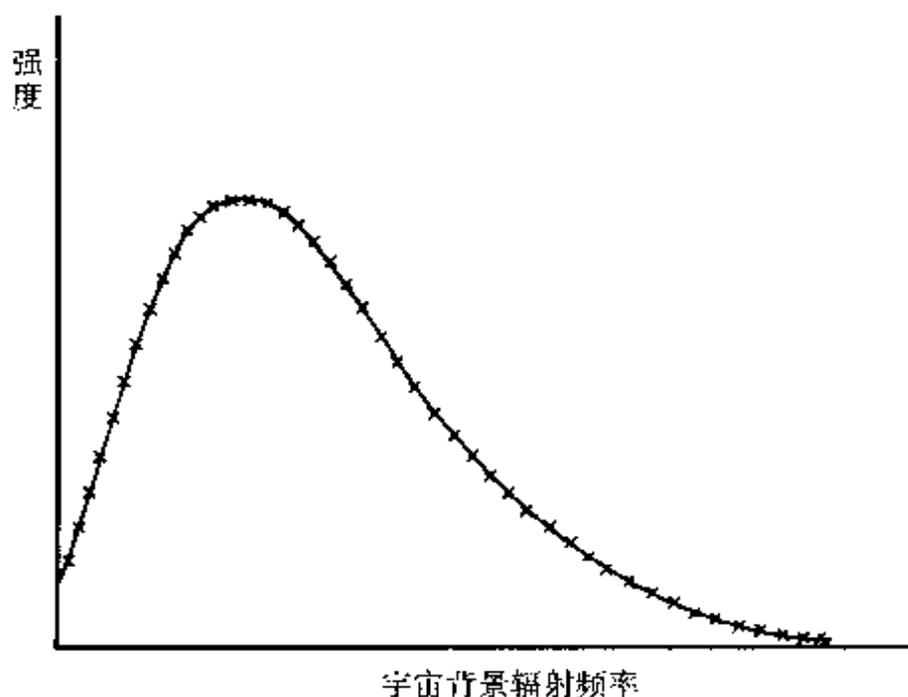


图 9.1 实线代表由大爆炸理论所作出的预言,它预言宇宙背景辐射在微波区域应该类似于黑体辐射。×表示由 COBE 卫星实际收集的数据,给我们提供了关于大爆炸理论最令人信服的证明。

第三,这些结果与所谓的暴胀理论相一致,但未证明暴胀理论。(这个由麻省理工学院古思提出的理论指出,在创世的初始时刻宇宙比通常的大爆炸方案有更加厉害的暴胀,它主张我们用望远镜看到的可见宇宙只是更大宇宙的一小部分,这些更大宇宙的边界超出了我们可见的范围。)

创世之前:轨形?

COBE 结果使物理学家们确信,我们认识宇宙的起源到大爆炸之后几分之一秒的范围内。然而,我们仍然留下什么先于大爆炸和为什么出现大爆炸这些令人为难的问题。在极

端情况下,广义相对论最终会导致没有意义的回答。爱因斯坦意识到广义相对论在这些非常小的距离内完全失效,他企图把广义相对论推广到一个能解释这些现象的无所不包理论。

在大爆炸时刻,我们期望量子效应是制服引力的主要的力。所以,大爆炸起源的关键,是引力的量子理论。到目前为止,唯一能声称解决大爆炸之前发生什么之谜的理论,是十维超弦理论。科学家们现在正猜测十维宇宙如何分裂成四维宇宙和六维宇宙。我们的两个孪生宇宙看起来像什么?

一个跟这些宇宙难题作斗争的物理学家,是哈佛大学教授瓦法(Cumrun Vafa),他多年来一直在研究我们的十维宇宙如何被分裂成两个较小的宇宙。颇有讽刺意味的是,他也是一个被两个世界扯开的物理学家。瓦法居住在马萨诸塞的坎布里奇,原来出生于过去10年里被政治动乱所折磨的伊朗。一方面,他希望能社会混乱平息之后,最终返回他的祖国伊朗。另一方面,他的研究使他远离那片受难的国土,在早期宇宙中的混乱有机会稳定之前,直奔那遥远的六维空间。

“想象一个简单的电视游戏,”他说。他指出,一个火箭飞行器可以在电视荧屏上旅行,直至到达荧屏右边。任何一个电视游戏玩家都知道,火箭飞行器突然从荧屏左边出现,出现的高度与右边消失的高度相同。同理,如果火箭飞行器游弋得太远,落到荧屏底,那么它在荧屏顶部重新出现。于是,瓦法解释道,在那个电视荧屏中有一个完全自包含的宇宙。你永远离不开由那个荧屏所定义的宇宙。虽然如此,大多数青少年却从不问他们自己,那个宇宙实际形状像什么。瓦法十分惊人地指出,电视荧屏的拓扑结构等于内胎的拓扑结构!

把电视荧屏想象为一张纸。因为荧屏顶上的点等同于荧屏底部的点,所以我们可以用胶水把底边和顶边粘在一起。

我们现在把这张纸卷成一个管子,但是管子左边的点等同于管子右边的点,把这两端粘起来的一个办法,是把管子仔细地弯成一个圆圈,用胶水把两个开口的末端粘接起来(图 9.2)。

我们所做的,就是把一张纸转变成一个轮胎。游弋在电视荧屏上的火箭飞行器,可以被描述为运动在内胎的表面上。每一次火箭突然在电视荧屏上消失并且重新出现在荧屏的另一边,这对应于火箭飞行器运动过了内胎的胶接点。

瓦法猜测,我们的姊妹宇宙有某种扭曲六维环面的形状。瓦法和他的同事首创了这样的概念:我们的姊妹宇宙能被数学家所称的轨形(orbifold)所描述。事实上,他关于我们姊妹宇宙具有轨形拓扑结构的假说,似乎与观察所得的数据符合得相当好。³

为了形象理解轨形,考虑在圆圈中运动 360 度。人人都知道,我们回到同一点。换句话说,如果我绕着五朔节花柱跳 360 度,我们仍将回到同一点。虽然这可能听起来很荒谬,但是不难构造轨形。考虑住在锥面上的平面国人。如果他们绕锥体顶点运动的角度小于 360 度,就回到同一点。于是,轨形是锥体的高维推广(图 9.3)。

为了获得关于轨形的感性认识,设想一些平面国人居在所谓的 Z 轨形中,它与方形豆子袋(像那些在狂欢节和乡间集市上所见的)等价。起先,似乎与居住在平面国没有什么两样。然而,当他们勘查表面时,他们开始发现怪事。例如,如果平面国人朝任何一个方向走很长的路,他会回到他原来的位置,就好像是兜了一个圈子。然而,平面国人也注意到,在他们的宇宙中,某些点有些怪事(豆子袋的 4 个角)。当绕这 4 个点中的任何一个走 180 度(不是 360 度)时,他们返回到出发时的同样地方。

关于瓦法的轨形颇值得注意的事情,是只要有几个假设,

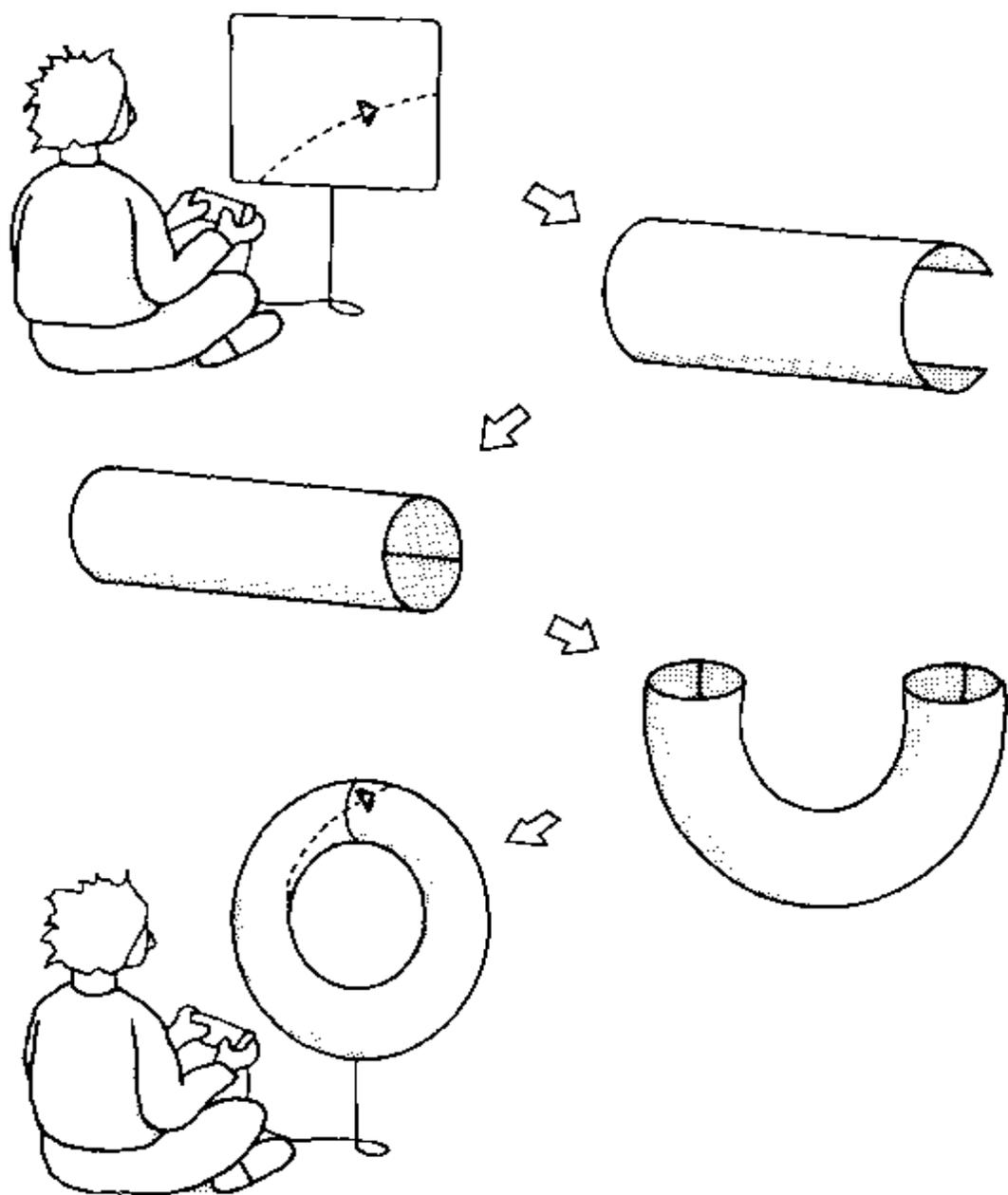


图 9.2 如果火箭消失于电视游戏荧屏的右边,它会在左边重新出现。如果它在顶部消失,它会在底部重新出现。我们现在弯曲荧屏,使得等同点接合。首先我们通过卷起荧屏把顶边和底边相接合。然后,通过把荧屏卷成一个管子模样,把左边与右边相接合。用这种方法,我们能证明电视游戏荧屏具有轮胎的拓扑结构。

我们就能导出夸克和其他亚原子粒子的性质。(如上所述,这是因为,卡鲁查-克莱因理论的空间几何结构迫使夸克假设该

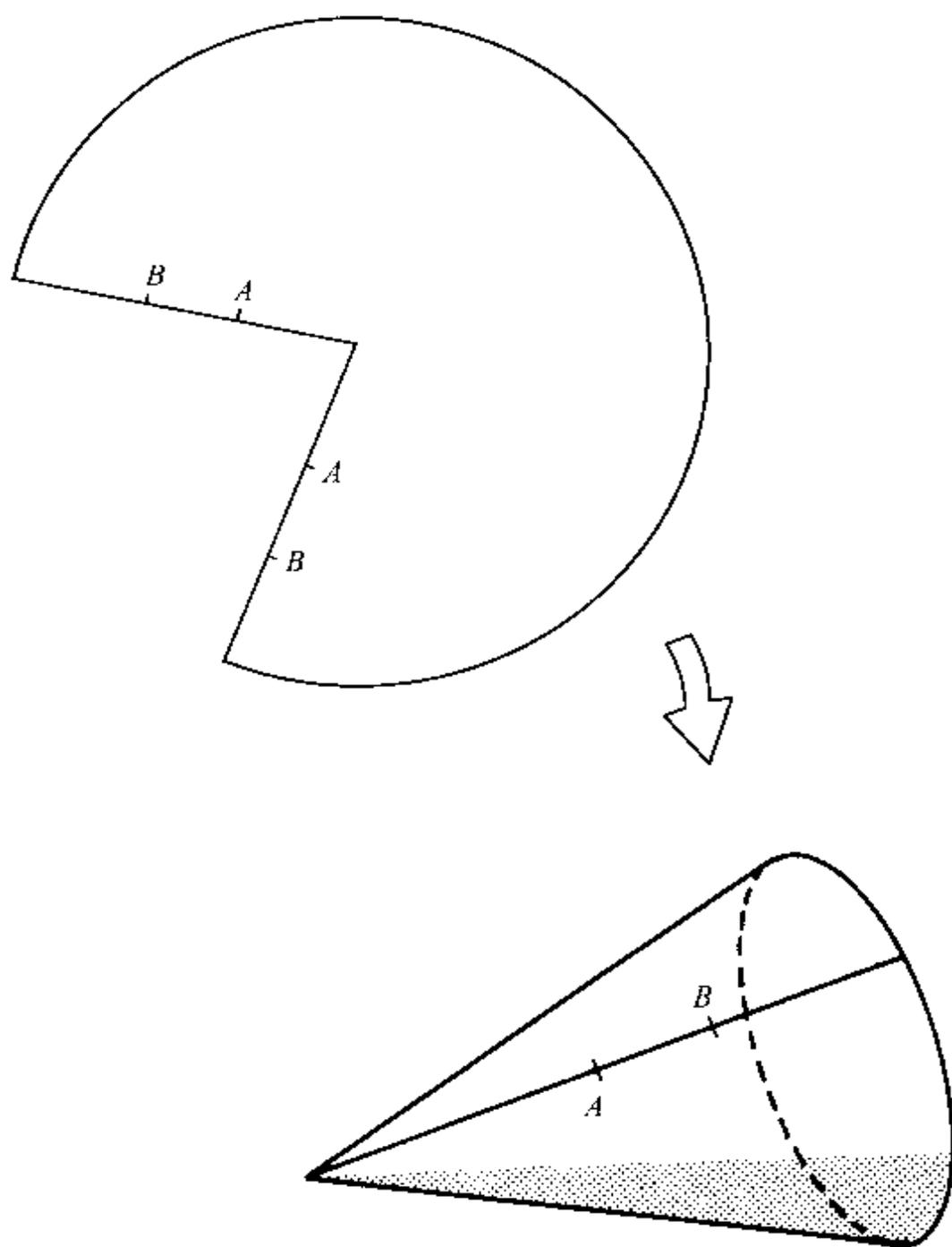


图 9.3 如果我们把点 A 和点 B 相接, 那么我们形成一个锥体, 它是轨形最简单的例子。在弦理论中, 我们的四维宇宙可能有一个六维的孪生姐妹, 它具有轨形的拓扑结构。然而, 这个六维宇宙如此之小, 小到不可观察的程度。

空间的对称性。)这使我们确信,我们的路是正确的。如果这些轨形给我们一些完全无意义结果,那么我们的直觉将告诉我们,这种结构存在着根本性错误。

如果弦理论的解中没有一个是包含标准模型,那么我们必须像丢弃别的有希望但最终是错误的理论一样,丢弃超弦理论。然而,物理学家高兴的是,能够获得一些十分诱人地接近于标准模型的解。

从20世纪初法国数学家庞加莱开创拓扑学以来,数学家在过去80年里一直在与高维空间中这些怪异表面的性质打交道,因此,十维理论能结合到以前看来完全无用的现代数学大家庭之中。

为什么有3代?

尤其是,上一个世纪由数学家所编辑的数学定理的丰富仓库,现在正被用来解释为什么有3个粒子家族。如上所述,大统一理论的一个灾难性性质,就是有3个等同的夸克和轻子家族。然而,轨形可以解释大统一理论这些使人为难的性质。⁴

瓦法及其合作者发现了许多对弦方程有希望的解,而弦方程表现为与物理世界相似。事实上,用一小组假设,他们能重新导出标准模型,标准模型对于大统一理论是重要的一步。这实际上既是超弦理论的优势,又是它的弱点。在某种意义上,瓦法和他的合作者过于成功:他们发现了弦方程数百万个可能的解。

超弦理论面临的基本难题是:数百万个可由超弦理论在数学上产生的可能宇宙,哪一个是正确的?如同格罗斯所言,有千百万的具有3个空间维的解。有大量的可能的

经典解。……如此丰富的解原本很使人高兴,因为它提供了诸如杂优弦那样的理论看起来酷似真实世界的证据。除了有4个时空维数以外,这些解还有许多与我们世界相似的其他性质——恰当类型的粒子,如夸克和轻子,以及恰当类型的相互作用。……那是2年前狂热的来源。⁵

格罗斯告诫,虽然这些解中有些解十分接近标准模型,但是其他的解产生了一些讨厌的物理性质:“然而,它使人稍觉难堪,我们有如此多的解,但是没有什么好办法在它们中间进行选择。使人更加难堪的是,除了许多需要的性质以外,这些解中还有少数潜在的灾难性性质。”⁶乍一听到此种说法,一个门外汉可能困惑不解地问:为什么你不计算弦偏爱的那些解呢?因为弦理论是一个明确定义的理论,令人困惑的是物理学家们算不出答案。

问题在于,物理学中主要工具之一微扰论不起作用。微扰论(它逐渐增加小的量子修正)不能把十维理论分解成四维和六维理论。于是,我们被迫用非常难于应用的非微扰方法。这就是我们不能解弦理论的原因。如上所述,由吉川圭二和我提出,后来由威滕所进一步改进的弦场论,目前不能用非微扰方法解决。无人聪明绝顶。

从前,我曾有一个历史学专业的研究生室友。我记得有一天他警告我,计算机革命最终可能使物理学家失业。“毕竟,”他说,“计算机能计算出一切,不是吗?”对他而言,数学家把所有物理问题交给计算机处理,物理学家在失业线上挣扎,是迟早的事。

我对此说大吃一惊,因为,对于物理学家而言,计算机不过是一架复杂加法机,一个不折不扣的白痴。它用迅捷的速度弥补了它智力的不足。你必须在计算机计算之前,给它输

入理论。计算机本身不能产生新的理论。

而且,即使理论已知,计算机求解问题可能要花无穷大的时间。事实上,计算所有物理学中真正有意义的问题,都将耗费无穷大的机时。这就是弦理论的难题。虽然瓦法及其同事产生了数百万个可能的解,但是得花费无穷大的时间去确定数百万种可能性中那一种正确,或者去计算量子难题的解,这些难题涉及奇异的隧穿过程,它是有待解决的量子现象中最为困难的现象之一。

隧穿空间和时间

总之,我们在问卡鲁查于1919年提出的同一个问题——第五维到哪里去了?——除了在更高的程度。正如克莱因于1926年所指出的那样,对这个问题的回答必须涉及量子理论。量子理论中最惊人(和最复杂)的现象或许就是隧穿。

例如,我现在正坐在椅子上。我的念头突然穿过靠近我们墙壁分子,在别人的起居室里不请自来地重新聚合,是一件不愉快的事,也是不可能的事。然而,量子力学提出,甚至是最不可能和怪异的事,也存在有限的概率(虽然很小)——犹如早上一觉醒来,发现我们的床在亚马孙的丛林之中——将最终发生。任何事件(不管多么奇怪)都可以被量子理论归化成概率。

这个隧穿过程听起来更像科幻小说,而不是真正的科学。然而,隧穿可以在实验室里得到测量,它事实上解决了放射性衰变之谜。通常,原子核是稳定的,核内的质子和中子通过核力被束缚在一起。然而,仍然有核可能分裂的小小概率。质子和中子可能由隧穿过去而逸出大的能垒——把核束缚在一起的核力。通常,我们说所有的核一定为此而稳定,但铀核衰

变是一个无可否认的事实,事实上,铀核在不应该衰变时衰变;事实上,当核内的中子隧穿能垒时,能量守恒定律被短暂地破坏。

然而,问题是对于像人这么大的物体,这些概率小得近乎为零。在已知宇宙寿命的时间内,我们穿墙过壁的概率是无穷小。因此,我可以安全地认为,至少在我的有生之年,我将不会被粗野地送穿墙壁。同理,原先可能作为十维宇宙开始的我们宇宙并不稳定,它隧穿并且炸成四维宇宙和六维宇宙。

为了理解这种形式的隧穿,考虑一部虚构的卓别麟(Charlie Chaplin)电影,其中卓别麟正用力拉扯一条床单,想盖住一张过大的床。这种床单的四个角上有橡皮筋,但是它太小了,于是卓别麟必须一次一个地把橡皮筋套在床垫的每一个角上。一旦他绕着床的四个角平稳地把床单拉开,他就露出满意的笑容。但是拉力太大,一条橡皮筋在一个角上突然绷开了,床单卷了起来。难办的是,他把这个橡皮筋拉在角上,另一个角上的橡皮筋又会绷开。他每次使劲拉一个角的橡皮筋,另一个角上的橡皮筋就会绷开。

这个过程,被称为对称性破缺。平稳地拉伸的床单,拥有高度的对称性。你可以把床沿着任一条轴转 180 度,而床单保持原样。这个高度对称的态被称为伪真空。虽然伪真空表现得十分对称,但它并不稳定。床单不想处在这种拉伸状态下,它绷得太紧,能量过高。于是,一条橡皮筋绷开,床单就卷起。对称性被破坏,床单处于对称性破缺的低能状态。绕着一条轴把卷曲的床单旋转 180 度,我们不再回到同样的床单。

现在用十维时空(完全对称的时空)取代床单。在时间的开端,宇宙是完全对称的。如果那个时候有人,他能毫无问题地自由通过十维中的任一维。在那个时刻,引力、弱力、强力和电磁力用超弦统一起来。所有的物质和力都是同一个弦多

重态的组成部分。然而,这个对称性不能持续下去。十维宇宙虽然完全对称,却不稳定,就像床单那样,它处在伪真空态。因而,向低能态的隧穿是必然的。隧穿最终发生时,会发生相移,故对称性丧失。

由于宇宙开始分裂成四维宇宙和六维宇宙,故宇宙不再是对称的。六维已卷曲起来,与一条橡皮筋在床褥一角绷开时床单卷起的方式一样。但请注意,床单可以有四种卷起的方式,取决于哪一个角首先绷开。然而,对于十维宇宙,显然有数百万种卷起的方式。为了计算十维宇宙偏爱那一个态,我们需要用量子理论中最难的相变理论来解弦场论。

对称性破缺

相变不是什么新东西。考虑我们自己的一生。希伊(Gail Sheehy)在《阶段》一书中,强调生活不像它平时表现的那样是一个连续的经验流。它实际上通过若干阶段,这些阶段由一些必须解决的特定冲突和必须实现的特定目标所刻画。

心理学家埃里克松(Erik Erikson)甚至提出了一种心理发展阶段理论。主要冲突表征了每一个阶段。当这个冲突被正确解决时,我们前进到下一个阶段。如果这个冲突不被解决,它可能变化,甚至引起向早期阶段后退。类似地,心理学家皮亚杰(Jean Piaget)证明,青少年早期精神发育也不是一个稳定的学习过程,而实际上表现为由孩子的概念化能力所表征的间断阶段。某一个月,孩子可能放弃寻找滚出他视野的球,他不理解即使你不再看见物体,物体仍然存在的道理。下一个月,对这孩子而言却显而易见。

这是辩证法的精髓。根据这个辩证法原理,所有客体(人,气体,宇宙本身)都经历一系列阶段。每一个阶段都由两

个相反力间的矛盾来表征。事实上,矛盾的性质决定了阶段的性质。当矛盾被化解时,物体达到一个更高的阶段,称为综合,新的矛盾又开始产生,这个过程在更高的层次上周而复始。

哲学家称此为“量”变到“质”变。量的积累最终导致质的改变。这个理论同样适用于社会。社会矛盾可以急剧激化,正如18世纪末的法国。农民面临挨饿,发生自发食物骚乱,贵族集团退守在堡垒后。当矛盾达到爆发点时,就发生从量变到质变的相变:农民拿起武器,夺取了巴黎,攻占了巴士底狱。

相变也可以是突发性事件。例如,考虑一条已被拦截的河流。坝后水库迅速充满河水,水坝承受着巨大的压力。因为水库不稳定,它处在伪真空态。水喜欢处在真真空态,这意味着水喜欢冲开河坝,一泻千里,从而达到低能态。于是,相变就是会造成灾难性后果的决堤。

更加突发性的例子,是原子弹。伪真空相应于稳定的铀核。虽然铀核貌似稳定,但是有巨大的、易爆炸的能量被封闭在铀核之中,核爆炸当量是化学爆炸的几百万倍。偶尔,核隧穿到较低的能态,即核自发分裂。这被称为放射性衰变。然而,用中子轰击铀核,可能使它一次性释放出所有被禁锢的能量。当然,这就是原子弹爆炸。

科学家们发现的关于相变的新性质,是相变通常伴随对称性破缺。诺贝尔奖得主萨拉姆喜欢下列实例。考虑一个圆形宴会桌,所有宾客围桌而坐,每人面前有一香槟酒杯。这里存在对称性。通过镜子看宴会桌,我们看到同样的场面:所有宾客围桌而坐,每人面前有一香槟酒杯。同理,我们能旋转圆形宴会桌,一切布置都保持不变。

现在打破对称性。假设第一个用餐者拿起他右边的杯

了。按照约定,其他所有宾客都拿起他右手的香槟杯子。注意,在镜中看来,宴会桌的镜像产生相反的情形。每一个宾客拿起他左边的杯子。于是,左右对称性已被打破。

另一个对称性破缺的例子,来自于一个古代神话。这个神话讲的是一位公主被限制在一个磨光的水晶球顶部。虽然没有铁栏杆把她限制在球上,但她是一个囚徒,因为她只要稍微动一下,就会从球上滑落下来自杀身亡。许多王子都想营救公主,但是每个王子都不能援球而上,因为球太滑溜了。这是一个对称性破缺的例子。公主在球顶上时,她处在完全对称态。球并不偏爱任何一个方向。我们能以任何一个角度旋转该球,局面保持不变。然而,任何一点儿错误地偏离球中心,就会使公主从球顶掉下来,从而打破这种对称性。例如,如果她掉到西方,那么旋转对称性就被破坏了。西方现在被选中了。

因此,最大的对称态,常常也是不稳定态,从而相应于伪真空。真真空态相应于公主从球上掉下来。所以,相变(从球上掉下)相应于对称性破缺(选择了向西的方向)。

关于超弦理论,物理学家们假设(但是尚未证明)原来的十维宇宙是不稳定的,能隧穿到达四维宇宙和六维宇宙。于是,原来的宇宙处在伪真空态,即最大的对称性态,而现在我们处在破缺的真真空态。

这就提出一个烦人的问题:如果我们宇宙实际上不处于真真空态,会发生什么?如果超弦只暂时选择了我们的宇宙,而真真空仍然处在数百万可能的轨形之中,又将发生什么?这将有灾难性的后果。在许多其他轨形下,我们发现标准模型不出现。于是,如果真真空实际上是标准模型不出现的态,那么我们知道的所有化学定律和物理定律统统将会推翻。

如果出现这种情况,那么一个小泡可能突然出现在我们

宇宙之中。在这个小泡内,标准模型将会起作用,一组不同的化学定律和物理定律将会起作用。小泡内的物质将分解,可能以不同方式重组。接着,这个小泡将以光速膨胀,侵占了整个恒星系统、星系乃至星系群,直到吞没了整个宇宙。

我们永远看不到它成为现实。由于它以光速传播,它将永远不被事先观察到。我们将永远不知道是什么击中了我们。

从冰块到超弦

考虑放在我们厨房高压锅中的一普通冰块。众所周知,如果点燃炉子,将会发生什么。但是如果我们把炉子加热到兆兆度,冰块会怎样呢?

如果我们在炉子上加热冰块,它首先熔化变成水,经历了一次相变。现在我们把水煮沸,它经历另一次相变,变成蒸气。现在继续把蒸气加热到高温。最终,水分子分解。分子能量超过了分子的束缚能,分子分解成氢气和氧气。

现在我们继续把它加热超过 3000 开,直到氢原子和氧原子被分裂。电子被从核中拉出来,我们现在有了等离子体(即电离的气体),常称为物质(继气体、液体和固体之后)的第四种状态。虽然等离子体不是普通经验中的部分,但每当我们看太阳时,就能看到它。事实上,等离子体是宇宙中最普通的状态。

现在继续把等离子体在炉子上加热到 10 亿开,直到氢核和氧核分解,我们就有了由一个个质子和中子构成的“气体”,与中子星的内部相似。

如果我们进一步加热核子“气体”到 10 兆开,这些亚原子粒子将转变成分离的夸克。现在我们将有夸克和轻子(电子

和中微子)气体。

如果我们把这种气体加热到 10^{15} 开,那么电磁力和弱力将统一起来。 $SU(2) \times U(1)$ 对称性将在这一温度出现。在 10^{28} 开,电弱力和强力将统一起来,大统一对称性 [$SU(5)$, $O(10)$, 或 $E(6)$] 出现。

最后,大得出奇的 10^{32} 开,引力和大统一力统一起来,十维超弦的所有对称性出现。我们现在有超弦气体。那时,如此大的能量将进入高压锅中,以至于时空的几何开始扭曲,时空的维度发生变化。我们厨房周围的空间变得不稳定,在空间结构中形成一条裂口,蛙洞在厨房中出现。此时,离开厨房当为上策。

冷却大爆炸

因此,通过加热普通的冰块到无法想象的温度,我们能恢复超弦。这里的经验在于,当我们加热物质时,它经历了明确的发展阶段。最终,随着能量的增加,越来越多的对称性得到了恢复。

通过颠倒这个过程,我们能明白大爆炸如何作为一个不同阶段的结果出现。我们现在不加热冰块,而是通过不同的阶段冷却宇宙中的超热物质。从创世时刻开始,在我们宇宙演化过程中,我们经历了以下阶段。

10^{-43} 秒 十维宇宙分解成四维宇宙和六维宇宙。六维宇宙坍缩到 10^{-34} 米大小。四维宇宙暴胀。温度是 10^{32} 开。

10^{-35} 秒 大统一力分解;强力不再与电弱作用相统一。 $SU(3)$ 对称性脱离大统一对称性。大宇宙中的一个小斑点暴胀 10^{50} 倍,最后成为我们可见的宇宙。

10^{-9} 秒 温度现在是 10^{15} 开,电弱对称性分解成 SU(2)和 U(1)对称性。

10^{-3} 秒 夸克开始聚成中子和质子。温度大约是 10^{14} 开。

3分钟 质子和中子现在正凝聚成稳定的核。无规碰撞能量不再大得能分解开始形成的核。对于光而言,空间仍是不透明的,因为离子不透光。

30万年 电子开始绕核凝聚。原子开始形成。因为光不再被过多地吸收或散射,对光而言,宇宙变得透明了。太空变得黑暗了。

30亿年 第一批类星体出现。

50亿年 第一批星系出现。

100亿年到150亿年 太阳系诞生。此后数十亿年,生命的初始形式在地球上出现。

这看起来几乎不可思议:我们作为在一个较小星系中一颗较小恒星的第三颗行星上的智慧猿,竟能重新构造我们宇宙的历史,几乎可一直追溯到宇宙的诞生时刻,在那里温度和压强超过了在我们太阳系中发现的一切。弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用的量子理论,竟然把这个绘景呈现给我们。

与创世这一绘景一样使人吃惊的是,或许一样怪异的仍然是这种可能性:蛀洞可以作为进入另一个宇宙的通道,甚至可能作为时间机器进入过去和未来。用引力的量子理论武装起来的物理学家,可能能够回答这些引人入胜的问题:平行宇宙存在吗?过去能被改变吗?

第三篇

蛀洞：通往另一个宇宙的通道？

第十章

黑洞与平行宇宙

听,隔壁就是一个宇宙地狱:去吧!

——卡明斯(e. e. cummings)

黑洞:穿越时空的隧道

黑洞近来激起了公众的想象力。许多书籍和纪录片在专门探索爱因斯坦场方程的这个奇怪预言,这个坍缩的恒星在死亡过程中的最后一幕。有意思的是,公众却大多不知道黑洞的一个最独特的特征:它们可能是通向另一个宇宙的通道。还有,科学界还有一种有趣的猜想:黑洞可以打通一条时间隧道。

为理解黑洞以及它们多么难找,我们首先得理解恒星为什么会发光,它们如何成长,以及最后如何死亡。当一团几倍于我们太阳系的巨大氢云被自身的引力压缩时,一颗恒星就会产生。随着引力能转化为氢原子的动能,压缩着气体的引力渐渐使之变热。通常,气态氢内质子间由于荷电而产生的斥力足以使它们分开。然而在特定的条件下,如温度高到1000万开至1亿开时,质子(氢原子核)的动能会克服静电的排斥,而砰然合在一起。核力便取代了电磁力,两个氢原子核就“聚变”成氦原子,同时释放出巨大的能量。

换句话说,一颗恒星就是一个核燃炉,它的燃料是氢,并产生以氦的形式作为废料的核“灰烬”。一颗恒星也是将其挤

压在一块的引力和威力相当于数以万亿计的氢弹爆炸的核力之间精致平衡作用的结果。这时恒星就成熟了并随着它的核燃料的用完而老化。

要明白能量如何从聚变中产生出来,理解恒星在其生命进程中走向黑洞的一幕幕,我们必须分析图 10.1。图中给出了一条在近代科学中极重要的曲线,它有时也称为结合能曲线。水平轴代表各种元素(从氢原子到铀原子)的原子量。竖直轴表示原子核中质子的平均“重量”。请注意,平均来说氢原子和铀原子中的质子要重于图上中心部分其他元素的质子。

我们太阳是一颗普通的黄星,主要由氢组成。与最初的大爆炸类似,它使氢聚变而产生氦。然而,因为氢原子中的质子比氦原子中的质子重,于是就有一些剩余质量。这些质量通过爱因斯坦质能公式 $E = mc^2$ 转化为能量,而这个能量则使原子核束缚在一起。这个能量也是氢变成氦时所放出的能量。这就是太阳会发光的原因。

然而,经过几十亿年,这些氢会慢慢地用尽。一颗黄星最后会因产生太多的废氦而使核燃炉关闭。当这发生之后,引力就占了主导地位,并将恒星挤压得更紧。随着温度升高,恒星很快热得足以燃烧废氦并把它转化成其他元素,如锂和碳。请注意我们沿曲线到达原子量较高的元素时仍可以释放能量。换句话说,废氦仍可以燃烧(正如通常的炉灰在某种条件下又可以燃烧一样)。尽管恒星在尺度上已经小了很多,它的温度却非常高,其大气层大大地膨胀开来。事实上,当我们的太阳用尽它的氢后开始燃烧氦原子时,它的大气层将扩展到火星的轨道。这称为红巨星。当然,这意味着,在这个过程中地球会被蒸发掉。所以,这条曲线同样预言着地球的最终命运。因为我们的太阳是一颗中年恒星,大约 50 亿岁,在它烧

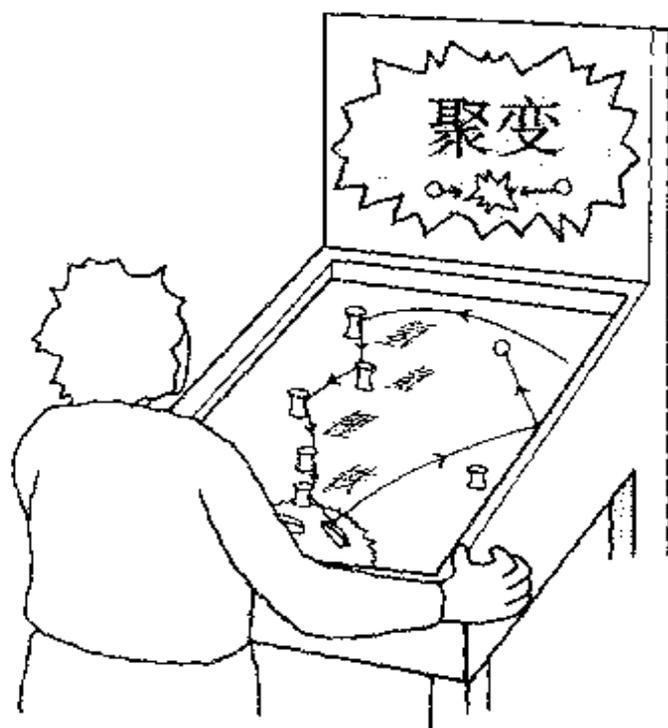
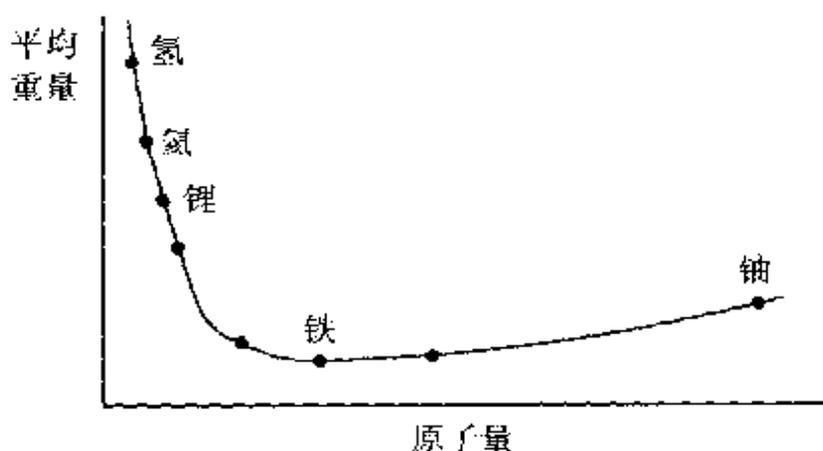


图 10.1 较轻元素(例如氢和氦)的每个质子的平均“重量”相对较大。于是,如果我们使氢聚变而形成恒星内部的氦,我们就会有剩余质量。它按爱因斯坦质能方程 $E = mc^2$ 转化成能量。这就是使恒星发光的能量。但是随着恒星聚变越来越重的元素,最终我们得到铁,而不能得到更多的能量。然后恒星坍缩,坍缩产生巨大热量,形成超新星。这次爆发使恒星碎裂并洒落到星际空间,以此形成新的恒星。然后,此过程像玩弹球游戏那样重新开始。

掉地球之前还会有另一个 50 亿年。(有趣的是,地球最初和太阳产生于同一团转动的气体云,而物理学现在预言,与太阳一起被造就的地球将回到太阳中去。)

最后,当氦用完了之后,核燃炉又熄灭了。引力又占了压倒优势来压缩星体。红巨星收缩成为一颗白矮星,即一颗全部质量被压缩成地球大小的小小的恒星。¹ 白矮星不很亮,因为在降至曲线的底部之后,它只能从公式 $E = mc^2$ 中提取很少一部分剩余能量。白矮星燃烧着在曲线底部剩下的为数不多的元素。

我们的太阳最终将变成一颗白矮星,并在几十亿年中用尽它的核燃料而渐渐死亡。最后它会变成一颗暗的、烧光了的矮星。然而据认为,如果恒星的质量足够大(是我们太阳质量的好几倍),则白矮星中的大多数元素将继续聚合成越来越重的元素,最后到达铁元素。一旦到达铁元素,我们几乎就到了曲线的最底部。我们不能再从剩余质量中提取能量了,所以核燃炉就会关闭。引力重新成为主导,压缩着星体直到其温度暴涨了几千倍,而达到上万亿度。到这时,白矮星的铁核坍塌,它的外层则被炸毁,同时释放出星系中所知的最巨额的能量,成为一颗叫做超新星的爆发恒星。仅仅一颗超新星在一段时间内就有可能比包含着上千亿颗恒星的整个星系还亮。

在超新星爆发之后,我们会看到一个完全死了的星球,即一颗中子星,它只有曼哈顿那么大小。中子星里密度如此之大,粗略地说,所有的中子都互相“紧挨”着。尽管中子星几乎看不见,我们仍可以用仪器探测到它们。它们一边转动一边发出某些辐射,就像在外层空间中的宇宙灯塔。我们看到的是一颗闪烁的星星,即脉冲星。(虽然这种情景听起来像科幻小说,从 1967 年开始发现它们至今,人们观测到的脉冲星已

超过了400颗。)

计算机模拟显示,大多数比铁重的元素都可以在超新星的高热和压力下合成。当恒星爆发时,它将大量的星体碎骸释放到太空中,其中包含着许多高原子量的元素。这些残骸最终和其他气体混合,直到聚积起足够多的氢,又一次开始引力收缩过程。这些产生于星际气体和尘埃的第二代恒星包含着丰富的重元素。其中一些恒星(像我们的太阳)的行星也将含有这些重元素。

这就解开了宇宙学中一个由来已久的不解之谜。我们的身体中含有铁以后的重元素,但是我们的太阳并不热得足以产生它们。如果地球和我们身体中的原子来源于同样的气体云,那么我们身体中的这些重元素从何而来?结论是不可避免的:我们身体里的重元素合成于一个在我们的太阳产生之前爆炸的超新星中。换句话说,几十亿年前有一颗无名的超新星爆炸了,在产生我们太阳系的那团气体云中播下了种子。

一颗恒星的演化可以大致描述成如图10.1所示的一个弹球游戏机,它具有结合能曲线的形状。弹球开始在顶部,从氢跳到氦,从较轻的元素跳到较重的元素。它每沿着曲线跳一次,就变成不同类型的星球。最后,球跳到了曲线的底部,停在了铁元素上,并且在一场超新星爆发中被弹射出去。然后当这星际物质又聚集成一颗富含氢元素的恒星,这个过程就在弹球机上重新开始。

然而,我们注意到弹球可以有两条路跳下曲线。它也可以从曲线的另一边,即从铀开始,沿曲线一步就跳下来,将铀核裂变成碎片。由于在裂变的产物(如铯和氪)中质子的平均重量都比铀中质子的平均重量小,剩余的质量通过公式 $E = mc^2$ 就被转化成能量。这就是原子弹的能量来源。

这样的结合能曲线,不仅解释了恒星的生死和元素的产

生,还使得原子弹和氢弹的存在成为可能!(科学家经常问是否有可能研制除原子弹和氢弹之外的核弹。从结合能曲线,我们可以看到答案是否定的。注意到这条曲线排除了由氧或铁做成原子弹的可能性。这些元素在曲线的底部,所以不存在足够的剩余质量来做炸弹。传媒中提到的各种炸弹,如中子弹,都只是铀弹和氢弹的变种。)

初听到恒星的历史时,可能会有些怀疑。毕竟从来没有人活了上百亿年来目睹它们的演化。然而,由于天空中有无数颗恒星,因而很容易就能看到处于几乎每个演化阶段中的恒星。(例如,1987年的超新星爆发,在南半球几乎用肉眼就可以看到,得到的那些珍贵的、丰富的天文数据,与一个正在坍缩的带铁核的白矮星的理论预言符合得很好。再有,在1054年7月4日被中国古代天文学家观测到的一颗壮观的超新星,留下的残骸被认定为是一颗中子星。)

另外,我们的计算机程序已经精确到可以完全在数值上预言恒星演化的历程。我在读研究生时有一个主修天文学的同屋。每天他都毫无例外地早出晚归。在他临走之前,他说他将一颗恒星放在炉子里来看它如何成长。开始我想他是说笑话。然而,当我深入追问他时,他很严肃地告诉我,他在白天把一颗恒星放在计算机里,来看它如何演化。由于热力学方程和聚变方程都已知,只要告诉计算机从一个特定质量的氢气团开始,然后让它数值求解这气体的演化方程。这样,我们会发现我们的恒星演化理论可以再现用望远镜在天空中看到的所有恒星一生中的每一幕。

黑 洞

如果一颗恒星 10 到 50 倍于我们太阳的大小,那么甚至

在它成为中子星后,引力还会继续压缩它。没有聚变产生的力来抵抗引力的拉曳,就无法阻止这颗恒星的最后坍缩。这时,它就变成闻名遐迩的黑洞。

在某种意义上,黑洞是应当存在的。我们回忆,一颗恒星是两种宇宙力的副产品:引力要压碎这颗恒星,而聚变像氢弹那样要把恒星炸开。所有恒星的生命历史各个阶段,都是这种引力与核聚变之间精致平衡的作用结果。或迟或早,当一颗大质量恒星的核燃料用完之后,它变成纯粹的一团中子,就没有什么可以再抗拒强大的引力了。最后,引力成为主导把中子星压得一无所剩。这样恒星就完成了它的生命循环:恒星生于引力开始压缩天空中的一团氢气之时,而死于核燃料用完之后引力又使它坍缩之际。

黑洞的密度如此之大,以至于光将被迫绕着它转,就像一个从地球上发射的火箭。由于没有光可以从这巨大的引力场中逃脱出来,坍缩了的恒星颜色就变黑了。事实上,那就是黑洞通常的定义,一颗光也不能从中逃逸的坍缩恒星。

为理解这一点,我们注意到所有的天体都有一个所谓的逃逸速度。必须有这个速度才能脱离这个天体的引力的拉曳。例如,一个太空探测器应达到每小时 40000 千米的逃逸速度,才能脱离地球引力的拉曳进入外太空。我们的太空探测器如“旅行者”号已进入外太空,完全脱离了太阳系(带着善意的信息给那些可能捡到它的外星人),它已达到太阳的逃逸速度。(我们能呼吸到氧,这是由于氧原子没有足够大的速度来脱离地球的引力场。木星和其他气态巨行星主要由氢组成,是由于它们的逃逸速度大得足以捕获早期太阳系的原始的氢。于是,逃逸速度帮助我们解释了在过去 50 亿年中我们太阳系中行星的演化。)

牛顿的引力理论,事实上给出了逃逸速度与恒星质量间

的精确关系。行星或恒星越重及半径越小,为脱离其引力拉曳所需的逃逸速度就越大。早在1783年,英国天文学家米歇尔(John Michell)用这种计算提出,一个超级重的恒星可能会有一个等于光速的逃逸速度。此种巨大恒星发出的光永远逃不脱,但可以绕恒星转。于是,对于一个外部的观察者,这个恒星看上去完全是黑的。用在18世纪所知最好的知识,他确实计算了这样一个黑洞的质量。^{*}不幸的是,他的理论被认为是妄想,很快就被遗忘了。然而,今天我们倾向于认为黑洞存在,因为我们的望远镜和仪器已经在天空中看到了白矮星和中子星。

有两个方法来解释黑洞为什么黑。从乏味的角度来讲,恒星与光之间的“力”如此之大,以至于光路被弯曲成一个圆。或者,我们可以从爱因斯坦的角度来讲,他说“两点之间最短的距离是一条曲线”。将一束光弯曲成一个圆,意味着空间本身被弯曲成一个整圆。这种情况只可能发生在黑洞完全挤出了一块时空,所以光束便在一个超球面上绕圈。这片时空已经从它周围的时空分立出来了。空间本身被“撕开”了。

爱因斯坦-罗森桥

黑洞的相对论描述源于史瓦西的工作。1916年,仅在爱因斯坦写下他著名的方程数月之后,史瓦西便能精确求解爱因斯坦方程,计算一个大质量的静态恒星的引力场。

^{*} 他在《皇家学会哲学学报》中写到,“如果一个与太阳同样密度球的半径以500比1的比率超过太阳的半径,一个从无限远落向它的物体,在它的表面处将获得一个超过光速的速度,因此,假设光和其他物体一样被正比于惯性的力所吸引,则从这个物体发出的所有的光将由于自身的引力而被吸回来。”²

史瓦西解有几个有意思的特点。第一,黑洞被一圈“无归点”环绕着,任何物体只要走进这个半径之内就会被毫无例外地吸进黑洞,不可能逃脱。任何人只要不幸走进史瓦西半径之内也会无情地被黑洞俘获,压碎至死。今天,这个到黑洞的距离被称作史瓦西半径,或视界(最远的可视点)。

第二,任何掉到史瓦西半径以内的人都会在时空的“另一边”看到一个“镜像宇宙”(图 10.2)。爱因斯坦并不担心这个怪异的镜像宇宙的存在,因为和它通信是不可能的。任何送到黑洞中心的空间探测器,都会遇到无穷大的曲率,也就是引力场变得无穷大,任何物体都会被压碎。电子将被从原子中剥离,甚至原子核中的质子和中子本身也会被撕开。再有,要穿透到另外的宇宙中,探测器必须超过光速,而这是不大可能的。所以,尽管这一镜像宇宙在数学上有其必要性,它使得史瓦西解有意义,但它在物理上决不会被观察到。

因此,联结这两个宇宙的著名的爱因斯坦-罗森桥(由爱因斯坦及其合作者罗森而得名),就被认为只是一个数学怪物。必须有这个桥才能有一个在数学上自洽的黑洞理论,但不能通过爱因斯坦-罗森桥到达镜像宇宙。很快,在引力场方程的其他解中,如描述荷电的赖斯纳-努德斯特伦解,也找到了爱因斯坦-罗森桥。然而,爱因斯坦-罗森桥仍被作为一个在相对论知识中一个不寻常的但却被人遗忘的脚注。

情况随着新西兰数学家克尔(Roy Kerr)的工作开始发生了转机,他在 1963 年找到了爱因斯坦方程的另一个精确解。克尔假设,所有坍缩着的恒星都会转动。正如一个转着的溜冰者在收回他的手时会加速一样,一个转动的恒星球在开始坍缩时也必须加速自转。于是,描述黑洞的静态史瓦西解,不是爱因斯坦方程物理上最切题的解。

克尔的解在它提出来的时候,在相对论领域中引起了很

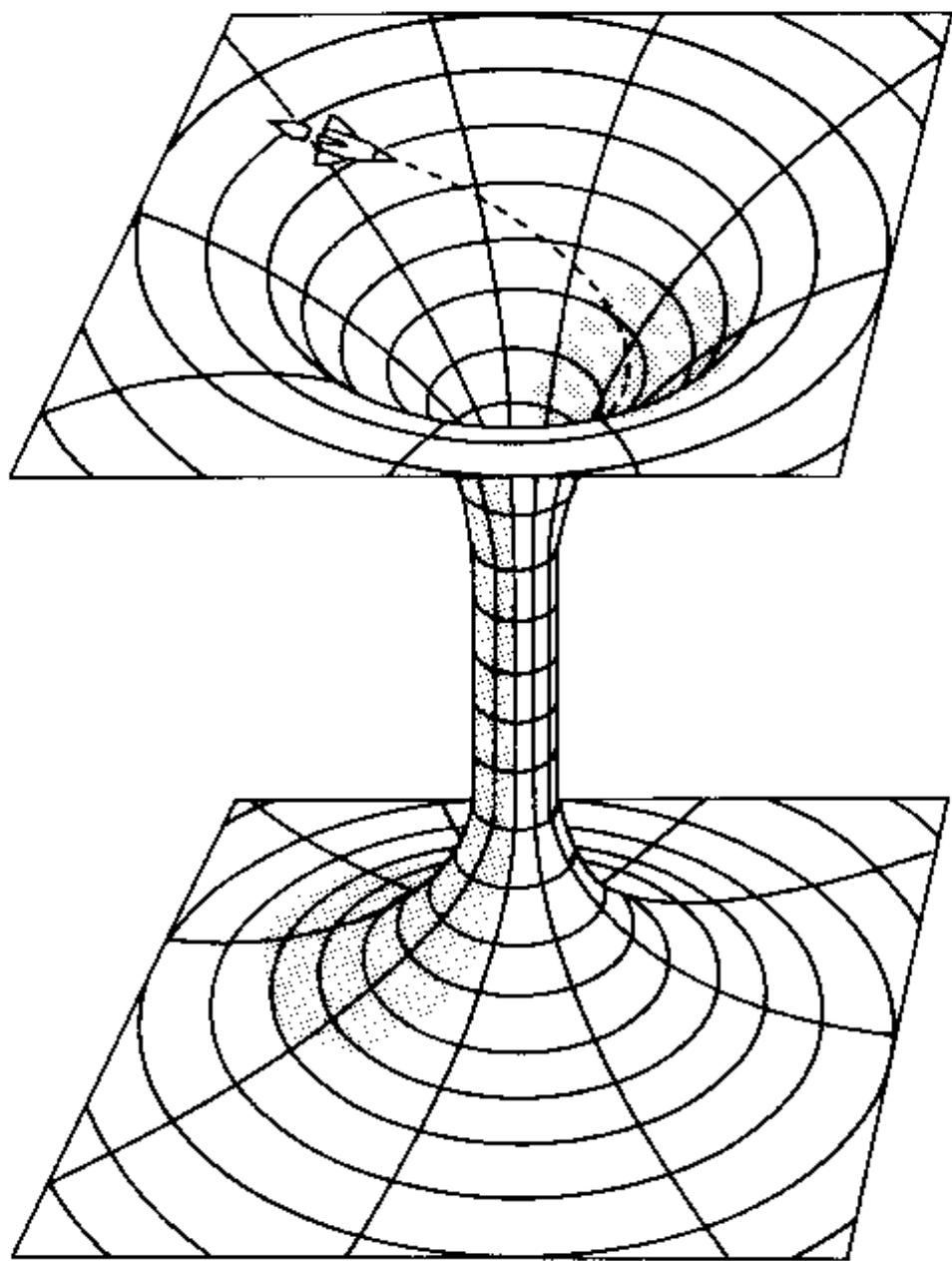


图 10.2 爱因斯坦-罗森桥联结两个不同的宇宙。爱因斯坦认为,任何进入到桥中的火箭将被压碎,从而使得这两个宇宙间的通信变得不可能。然而,最近的计算显示,通过桥会非常困难,但也许是可能的。

大的轰动。天体物理学家钱德拉塞卡曾这样说:

在我整个历经 45 年的科学生涯中,令我最震惊的体

验是意识到新西兰数学家克尔发现的爱因斯坦方程的一个精确解给出了散布宇宙中的无计其数大质量黑洞绝对精确的表述。这种“在美的面前的战栗”，这种难以置信的事实，即一个在数学中以追求美为动力的发现会在自然中找到精确的摹写，使我不得不说人的心智对美有着最深远一层的感悟。³

然而，克尔发现，一个大质量的转动着的恒星不会坍塌成一个点。相反，一个自转着的恒星会变得越来越平，直到最后被压缩成一个环，这个环有有趣的性质。如果一个探测器从侧面发射到黑洞中，它将落到环上并彻底被销毁。因为从侧面接近这个环时，时空曲率仍是无穷大。可以说黑洞中心的周围仍存在着一个“死亡之环”。然而，如果一个空间探测器从上面或下面发射到环中去，它将遇到一个很大却是有限的曲率；也就是说，引力不是无穷大。

这个从克尔解中得到的很令人吃惊的结论意味着，任何一个沿着一个自转黑洞的转动轴发射进去的探测器，原则上有可能在中心处巨大但有限的引力场存活下来，并穿过去到达镜象宇宙而不被无穷大曲率所摧毁。爱因斯坦-罗森桥形同一个连通两个时空域的隧道；它就是一个蛀洞。于是，克尔黑洞就是通向另一个宇宙的通道。

现在试想一下你乘坐的火箭已进入了爱因斯坦-罗森桥。当你的火箭接近自转的黑洞时，它看到一个环状的转动恒星。一开始，当火箭从北极向黑洞下落的时候，看起来像要灾难性地坠毁。然而，当我们离环近一些的时候，从镜象宇宙来的光就会到达我们的传感器。由于所有的电磁辐射，包括雷达，都在绕着黑洞转，我们雷达屏幕上探测到的是绕黑洞转了很多圈的信号。这种效应类似于在一个充满镜子的大厅里，我们在其中会被很多的镜像所迷惑。光漂掠过这许多面镜子，产

生了错觉：在大厅中有无数个自己。

当我们通过克尔黑洞时，也会发生同样的效应。同一束光绕着黑洞转了很多圈，我们火箭上的雷达测到的是那些绕着黑洞转的图象，就产生了并不存在于那儿的物体的幻象。

卷曲因子5

这是否就意味着黑洞可以利用来作星系际旅行，就像《星际旅行》和其他科幻电影中描述的那样？

我们在前面看到，一个特定空间的曲率决定于这个空间中所包含的质能量（马赫原理）。爱因斯坦著名的方程给出了由于质能存在导致的精确的时空弯曲程度。

当柯克船长带我们在“卷曲因子5”上从超维空间中穿过时，供给“企业”号能量的“双锂晶体”必须奇迹般地把时空卷曲起来。这意味着双锂晶体有能把时空连续统卷成法国号的魔力；也即它们是巨大的质能库。

如果“企业”号要从地球到最近的一颗恒星半人马座 α 上去，它不是真正运动到那儿去，相反，是半人马座 α 向“企业”号移动。试想坐在地毯上用套索拉着几英尺远的一个桌子。如果我们的力量足够大且地板足够光滑，我们可以拉着套索直到下面的地毯开始折叠起来。当我们用足够大的力气去拉，桌子会走向我们，桌子和我们之间的“距离”会消失在一堆折皱的地毯中。然后我们简单地跳过“地毯卷”。换句话说，我们几乎没有动；桌子和我们之间的空间被压缩了，而我们只是走过这个压缩后的距离。同理，“企业”号也没有真正地越过整个空间到达半人马座 α ；它只是越过了皱起来的时空——穿过蛙洞。为更好地理解当一个人掉到爱因斯坦-罗森桥都发生了些什么，我们现在来讨论一下蛙洞的拓扑。

为使这些多连通空间形象化一些,想象我们在一个晴朗的下午在纽约第五大道散步,正想着我们自己的事情,一个奇怪的漂动的窗口就在我们面前打开,很像爱丽丝的镜子。(打开这个窗口的能量足以粉碎地球,目前不考虑这些,这里只是一个纯粹假想的例子。)

我们走向这个盘旋着的窗口去仔细看一看,惊恐地发现我们自己正瞪着一只难看的霸王龙的头。我们正准备逃命的时候,注意到那只霸王龙没有身体。他不可能伤害到我们,因为它的整个身体显然在窗口的另一边。当我们朝下找恐龙的身体时,我们可以看到沿街的所有情景,好似恐龙和窗口都根本不存在似的。我们困惑地绕着窗口转圈,庆幸哪儿也找不到霸王龙。然而,当我们从窗口背面往里瞅的时候,我们看到了一只雷龙的头也在瞪着我们看(图 10.3)!

我们很害怕地再一次绕着窗口转圈,从侧面看这个窗口。更使我们惊奇的是,窗口及恐龙的一切迹象都消失了。我们在绕着浮动的窗口转了几圈之后发现,从一个方向,我们看到霸王龙的头;从另一个方向,我们看到雷龙的头;当我们从侧面看时,我们发现镜子和恐龙都没有了。

怎么回事?

在一个遥远的宇宙里,霸王龙和雷龙摆好了生死搏斗的架势。当它们面对面时,一个浮动的窗口突然在它们之间出现了。霸王龙向镜子里窥视时,它看到一个短小、瘦弱的哺乳动物,卷曲的头发和一张小脸:一个人。头能很清楚地看到,但没有身体。然而,雷龙从另一个方向向同一个窗口看时,它看到了第五大道上的商店和车辆。接下来霸王龙发现窗口中的这个人消失了,在窗口面对着雷龙的那一面出现了。

现在我们假设,突然一阵风把我们的帽子吹进了窗口。我们看到帽子飘进了另一个宇宙的天空中,但是沿着第五大



图 10.3 在这个完全假想的例子中,一个“窗口”或一个蛀洞在我们这个宇宙中打开了。如我们从这个窗口的一个方向看进去,我们会看到一只恐龙。如果我们从窗口的另一侧看进去,我们会看到另一只恐龙。在其他宇宙看来,在两个恐龙间打开了一个窗口。在这个窗口里边,两只恐龙看到了一个奇怪的小动物(我们)。

道却哪儿也看不到。我们长叹一口气,在绝望中,将我们的手伸到窗子里去抓那帽子。在霸王龙看来,一个不知从哪儿来的帽子从窗子里吹出来了。然后就看到一个没有身体的手从窗子里伸出来,绝望地在摸帽子。

这时风改变了方向,帽子被送到另一个方向去了。我们伸出我们另一只手,但是从另一个方向。我们现在就处在一个很窘的境地。我们两只手从不同方向都伸进了窗子里去了,但我们却不能看到我们的手指,两只手好像都消失了。

这在恐龙看来是什么?它们看到两只摆动小手吊在窗子两边,但没有身体(图 10.4)。

这个例子说明了一些精致的,可以从多连通空间创造出来的时空扭曲。

关闭 蛙 洞

引人瞩目的是,这么一个简单的思想——高维可以统一时间和空间,以及“力”可以解释为那个时空的弯曲——会导致如此众多的物理结果。然而,在蛙洞与多连通空间的问题上,我们已触及到了爱因斯坦广义相对论的极限。事实上,产生蛙洞或维通道所需的质能如此之大,以至于我们期望量子效应将会成为主导。量子修正则可能实质上关闭了蛙洞开口,使得通过这个通道去旅行变得不可能。

由于量子理论和相对论都不足以独立解决这个问题,我们得等到十维理论的完成,才能决定这些蛙洞到底是物理上的相关思想还是另一个臆想。但是在我们的讨论量子修正问题和十维理论之前,我们停下来考虑一下可能是蛙洞的一个最怪异的效应。正像物理学家们可以证明蛙洞容许多连通空间,我们也能证明蛙洞容许时间旅行。

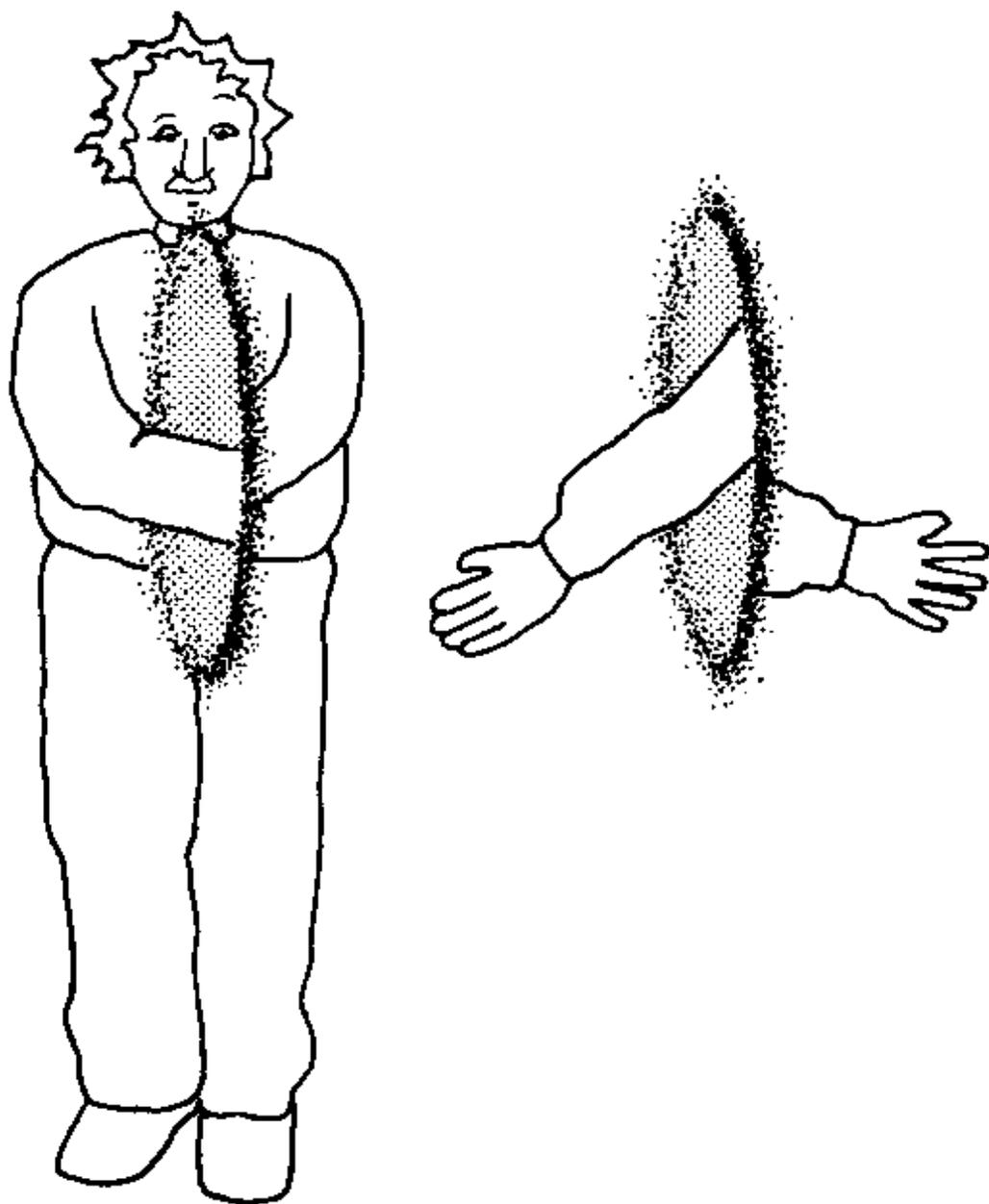


图 10.4 如果我们把手从窗口两个不同的方向伸进去,那么看起来好像我们的手消失了。我们有身体但是没有手。在另一个宇宙中看来,两只手从窗口的两边显现出来了,却没有附着在身体上。

下面就让我们来考察这个多连通宇宙最迷人、玄妙的后果:制造时间机器。

第十一章

制造时间机器

对我们这些有坚定信念的物理学家来说,过去、现在和未来的区分是一种错觉,尽管这是一种持久的错觉。

——爱因斯坦

267

时间旅行

我们能够让时间倒流吗?

我们能像威尔斯的小说《时间机器》中的主人公那样拨动机器上的仪表,跳跃成千上万年到达 802701 年吗? 或者像福克斯那样搭乘用钷作燃料的汽车赶到未来吗?

如果时间旅行是可能的,那么这个广阔的世界将会充满着各种各样可能发生的非常有意思的事情。正如特纳(Kathleen Turner)在他的小说《佩吉·苏结婚了》中所描述的那样,每一个人都在私下里许了一个心愿,他们设法回到过去、纠正在生活中所犯的虽小但又是非常严重的错误。在弗罗斯特(Robert Frost)的诗“路尚未确定”中,我们非常想知道,在我们生活的关键时刻,如果作出不同的抉择、走另一条路的话,结果将会怎样。如果我们能够进行时间旅行,我们就可以回到年轻的时候,可以克服过去发生的令人感到为难的事情,我们可以选择不同的伴侣、或者从事不同的职业;或者我们甚至可以改变重要历史事件的结果从而改变人类的命运。

例如,在电影《超人》的高潮中,我们的主人公在地震摧毁了加利福尼亚州大部分地区并且将他的情人压在成百上千吨岩石和瓦砾底下时悲痛欲绝。在为她的惨死哀伤之时,他冲入太空,违背了他不干涉人类历史进程的誓言。他不断地加快自己的速度,直到超越光速这个限度,从而破坏了空间和时间。在以光速旅行时,他迫使时间的流逝放慢下来,然后停止,最后使时间回到莱恩(Lois Lane)被岩石和瓦砾压死之前。

无论如何,这样的事情显而易见是不可能发生的。虽然在你加快自身的速度时,时间确实会减慢,但是你不可能加速到比光的速度还要快,因此你也就不能使时间逆转。其原因是,根据狭义相对论,在你接近光速时,你自身的质量在这个过程中将变成无穷大。因此,大多数科幻小说家所偏爱的超光速时间旅行方式与狭义相对论相矛盾。

布勒(A. H. R. Buller)在《笨拙》上发表下面这首五行打油诗时充分意识到了这一点:

有个女孩名叫布赖特,
她的速度比光速要快得多,
她旅行了一整天,
以相对论方式,
回到了头一天晚上。¹

爱因斯坦本人也像布勒一样,充分意识到了这是不可能的。

大多数没有认真研究过爱因斯坦方程的科学家视时间旅行如天方夜谭,就像被外星人绑架之类的故事那样不可信。但实际上事情却相当复杂。

要解决这个问题,我们首先必须放弃狭义相对论这一较为简单的理论,然后围绕着广义相对论展开研究。前者禁止时间旅行,而后者或许会允许时间旅行。广义相对论比狭义相对论有更大的适用范围。狭义相对论只能描述远离一切恒

星且以恒定速度运动的物体,而广义相对论的威力更大,它能够描述在超大质量星和黑洞附近加速的火箭。因此,广义相对论推翻了狭义相对论的一些简单结论。对于任何一位在爱因斯坦广义相对论框架内认真对时间旅行作数学分析的物理学家来说,最终结论很令人惊奇地还远远没有搞清楚。

支持时间旅行观点的科学家指出,广义相对论中的爱因斯坦方程组容许某些形式的时间旅行。但他们承认,把时间扭成圈所必需的能量大得足以使爱因斯坦方程组失效。在时间旅行变得非常可能而在物理学上又相当有意思的区域内,量子理论将会取代广义相对论。

我们还记得,爱因斯坦方程组阐明了时空曲率或时空弯曲由宇宙中质能内容所决定。找到一些质能结构,它们能使时间弯曲到允许进行时间旅行,这在实际上是可能的。但是,使时间弯曲到倒退所必需的质量密度非常巨大,以至于广义相对论在此时失效,而量子修正开始超过相对论发挥主导作用。因此,在爱因斯坦方程组的框架内,到底能不能进行时间旅行还没有最后定论,因为在非常大的引力场中爱因斯坦方程组已不再奏效,与此同时我们预计量子理论将处于主导地位。

这正是能用超空间理论来解决问题的地方。因为量子理论和爱因斯坦引力理论两者在十维空间中被统一在一起,所以我们估计,用超空间理论肯定能够处理时间旅行问题。至于蛀洞和维度窗口,我们把它们放在最后一章中讨论。我们还把超空间理论所能发挥的全部作用也加进最后一章中。

现在让我们讲述一下围绕着时间旅行所发生的争论,以及不可避免产生的有趣佯谬。

因果性的破坏

科幻小说家总想知道,假如单独一个人在时间中往回走将会怎样。有许多小说表面上看来似乎是可能的或者有理的。但是,如果时间机器像汽车一样普遍,数以千万计的时间机器可以购得,试想这样将会发生多大的混乱。大混乱不久就会爆发,并在我们的宇宙结构中肆意扩大。数以百万计的人们在时间上往回走,干预他们自己的过去和他人的过去,在这个往回作时间旅行的过程中重写历史。一些人甚至带着枪回到过去,在他们的敌人出生前干掉敌人的父母。因此,在任何时刻作一次简单的人口普查,看看究竟有多少人也变得不可能。

如果时间旅行是可能的,那么因果律就会被破坏。实际上,一切历史都会像我们所说的那样全部崩溃。设想一下成千上万人逆时而动,变更改变历史进程的重大事件所造成的混乱。或许有刹那间,福特剧院的听众中挤满了许多晚到的争吵者。他们互相争夺,看谁能获得阻止暗杀林肯(Lincoln)总统的殊荣。当数以千计寻刺激者来到诺曼底拍照时,诺曼底登陆计划也因此而泄密。

历史上的重大战役,可以超越原先的既定结果而被迫修改。试想,在公元前331年的高加曼拉战役中,亚历山大战胜了大流士三世率领的波斯人,取得了决定性的胜利。这场战役使得波斯统治彻底崩溃,结束了他们与西方的对抗,从而使接下来的1000年中西方文明和文化得以在全世界泛滥。但是,假如有一小队带有武器的雇佣兵加入战斗,他们装备有小火箭和现代化火炮,试想结局又会变成什么样子。即使是最微弱的现代化火力也会把亚力山大那些早已吓得魂不附体的

士兵击溃。这种对过去历史的干涉将会削弱西方文明和文化在全世界的扩张。

时间旅行将意味着,任何历史事件永无了结。历史著作无法写就。某个顽固分子将总是企图行刺格兰特(Ulysses S. Grant)将军,或在20世纪30年代把原子弹机密泄露给德国人。

假如历史也像黑板上的字可以随意被擦掉而重写,那么世界会变成什么样?我们的过去就像海滩上移动的沙粒那样,持续不断地被最弱的微风吹向这个或者那个方向。每次碰上有人拨动时间机器上的转盘,并且他(或者她)错误地将他的(或者她的)时间方向转向过去,历史将不断在这样的时刻发生改变。我们所知道的历史将无从谈起。它将不再存在。

大多数科学家不喜欢这令人不快的可能性。这样,不仅历史学家都不可能弄明白“历史”的意义,而且每当我们进入过去或者未来时,立即就产生了真正的佯谬。宇宙学家霍金实际上就是用这种情形为时间旅行不可能提供了“实验”证据。鉴于我们未受来自未来的大批旅行者的入侵,霍金相信时间旅行是不可能的。

时间佯谬

为了弄明白有关时间旅行的一些问题,我们首先必须给各种各样的佯谬分类。一般来说,大多数佯谬可以划分为两种基本类型:

1. 你在出生前碰上你的父母;
2. 你没有过去。

第一类时间旅行改变了原先记录的事件的先后次序,所

以它对时空结构的破坏最为严重。例如,记得在影片《回到未来》中,我们年轻的主人公在他的还是少女的母亲刚要爱上他的父亲时碰上了她。令他震惊和伤心的是,他发现在无意中阻止了他父母之间命中注定的偶然相遇。使事情变得更加糟糕的是,他的母亲现在又多情地爱上了他!如果他不知不觉地阻止了他母亲和父亲相爱,而他又不能使他母亲错放的感情转移目标,那么他将因为永远不会诞生而消失。

第二类佯谬所包含的事件没有任何开端。例如,让我们设想一位穷困潦倒但是又极高奋斗精神的发明家,他在自己杂乱的地下室里试图制造世界上第一台时间机器。此时突然出现一位富有的年长的绅士,他向发明家提供大笔资金和一些复杂的方程组,间接地帮助发明家制造时间机器。接着,发明家靠着时间旅行的学问使自己富了起来。他能够准确掌握股市发生暴涨或暴跌的时间。他会在股市、赛马和其他赌博中发财。数十年以后,已非常富有并已渐老的他及时地返回去履行自己的使命。他遇到了他自己——一位在他的地下室中工作的年轻人。他把有关时间旅行的秘密告诉了年轻的自己,并且给了可藉以利用的钱。问题是:时间旅行的思想到底从何而来呢?

海因莱因在他的经典短篇小说《你们这帮傻瓜》中虚构的故事或许是所有第二类时间佯谬中最不可思议的。

1945年,一个女婴被秘密送到克里夫兰的一座孤儿院。直到1963年,她令人吃惊地迷上了一位流浪者为止,“珍妮”在那里孤独、忧郁地成长着。她一直不知道她的父母是谁。她爱上了这位流浪者。但是,正当珍妮的境况终于要改观时,一系列的灾难发生了。首先,她怀上了流浪者的孩子,但是他随后不见了。其次,在复杂的分娩过程中医生发现,珍妮长有两套性器官。为了挽救她的生命,医生不得不使用外科手术

改变了她的性别,使“她”变成了“他”。最后,一个神秘的陌生人从产房中绑架了她的婴儿。

由于受到这些灾难的打击、社会的排斥以及命运的嘲弄,“他”变成了一个酒鬼和流浪者。珍妮不仅失去了她的父母和情人,他还失去了他唯一的孩子。在数年后的1970年,他跌跌撞撞地进入一家名为“大众之地”的偏僻的酒吧。他将他的悲伤的故事讲给一位年长的酒吧招待听。这位富有同情心的酒吧招待给流浪者一个机会去报复那位使她怀孕并将她抛弃的陌生人。方法是他加入“时间旅行者团队”。当他俩进入一部时间机器后,酒吧招待把流浪者送回到1963年。流浪者奇怪地爱上了一位年轻的父母双亡的女子。后者后来有了身孕。

酒吧招待随后往后驶了9个月,将婴儿从医院里偷出来并驶回到1945年将婴儿送进孤儿院。然后,酒吧招待又把已彻底困惑的流浪者送回到1985年以准时征募到时间旅行者团队中。流浪者终于把他的一生集中在一起并且成为时间旅行者团队中受人尊敬的年长的一员。接着,他将自己装扮成一位酒吧招待去进行一项最为困难的任务:一个命运攸关的约会,即于1970年在“大众之地”酒吧中会晤某位流浪者。

问题是:谁是珍妮的母亲、父亲、祖父、祖母、儿子、女儿、孙女以及孙子?那位女孩、流浪者和酒吧招待都是同一个人。这些佯谬肯定会使你头晕,特别是当你想解开珍妮的复杂的出身时。如果我们画一画珍妮的家谱图,我们发现所有的分支像在圆环中,都是弯曲的并且折回到它们自身。我们得出一个叫人大吃一惊的结论,她是她自己的母亲和父亲!她就是她自身的整个家谱图。

世界线

相对论为我们解决这些佯谬中最棘手的佯谬提供了一种简单方法。我们将使用由爱因斯坦最早提出来的“世界线”方法。

例如,假设我们的闹钟在某天的上午8点钟将我们闹醒,而我们又准备去上班,决定在床上消磨一个上午。虽然表面上看来我们在床上除了虚度半天光阴以外什么事都没做,但是实际上我们描绘了一条“世界线”。

拿出一张绘图纸,水平方向的标度取为“距离”,垂直方向的标度取为“时间”。如果我们从早上8点开始一直到中午12点都只是躺在床上,我们的世界线是一条垂直线。我们向未来前进了4个小时,但是没有移动半步距离。甚至沉醉于我们所爱好的消遣活动中,无所事事,也会形成一条世界线。(如果有人批评我们虚度光阴,我们可以理直气壮地告诉他,根据爱因斯坦的相对论,我们正在四维时空中画一条世界线。)

现在让我们来讨论接下来的情况。我们终于在中午起床并于下午1点钟到达上班地点。我们的世界线是斜线,因为我们在时间中移动的同时也在空间中移动。我们的家在左下角,右上角是我们的办公室(图11.1)。如果我们驾车去上班,我们到达办公室的时间不过会提前到12点30分。这意味着我们旅行的速度越快,我们的世界线偏离垂直方向越大。(注意:在图上也存在着我们的世界线不能进入的“禁区”,因为我们的速度不能比光速更快。)

我们可以立即得出结论。我们的世界线永远没有真正的起始点和终止点。甚至当我们死了以后,我们躯体上的分子

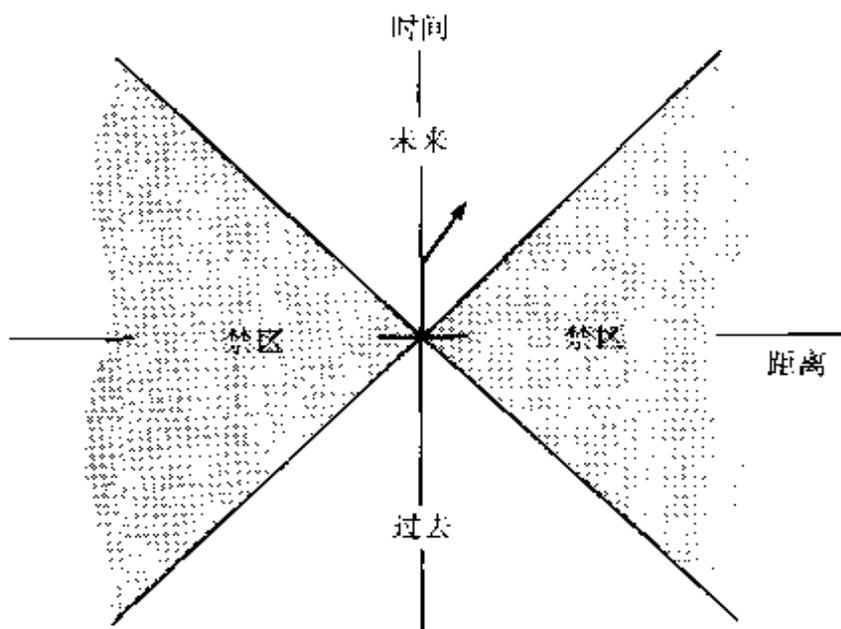
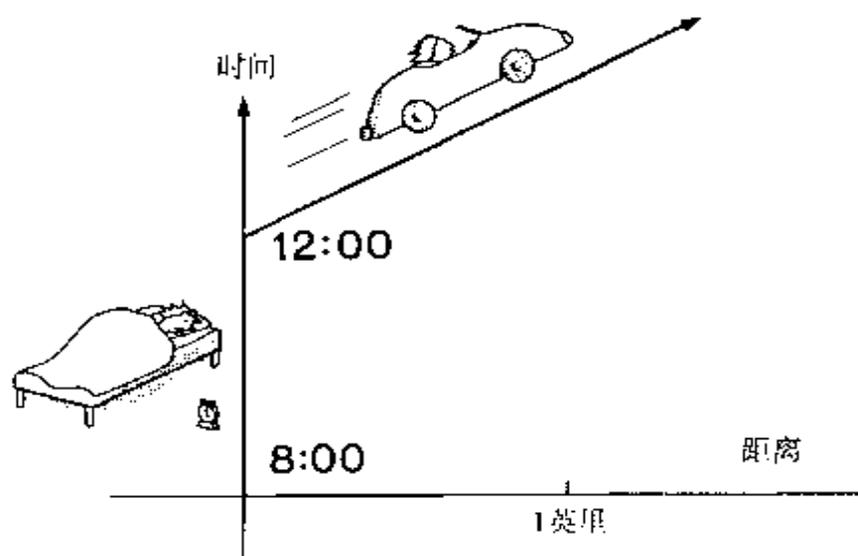


图 11.1 我们的世界线汇总了我们从出生到死亡的全部历史。例如,当我们从上午 8:00 开始在床上一直躺到中午 12:00,我们的世界线是一条垂直线。如果我们驾车上班,我们的世界线就变成了一条斜线。我们驾驶得越快,我们的世界线倾斜得就越厉害。然而,我们旅行所能达到的最快速度是光速。因此,这张时空图中有一部分是“禁区”,即只有当我们比光速还要快时才能进入这个禁区。

的世界线继续延伸着。这些分子或许扩散进入空气或土壤，但是它们将画出它们自己的永远不会结束的世界线。与此类似，当我们降生时，从我们的母亲身上来的分子的世界线合并成婴儿。世界线不会无缘无故中断或者冒出来。

为了弄明白上述有关世界线的要点合在一起时的情况，我们举一个我们自身世界线的简单例子。假设在1950年，我们的母亲跟父亲相遇，接着坠入爱河，最终生下了婴儿（我们）。因此，我们的母亲和父亲的世界线相遇后产生了第三条世界线（我们的世界线）。当一个人死亡之后，构成这个人的世界线最终会分散成数以十亿计的我们的分子的世界线。从这个观点出发，人可以被定义为分子世界线的一个暂时集合，这些世界线在我们出生前是分散的，接着汇到一起形成我们的身体，当我们死了以后又将重新散开。《圣经》上说，“从尘埃中来，到尘埃中去。”在这种相对论绘景中，我们或许可以这样说：“从世界线来，到世界线去。”

因此，我们的世界线包含了与我们的历史有关的全部信息。曾经发生在我们身上的每一件事情（从我们的第一辆自行车到我们的第一次约会、第一个工作），都被记录在我们的世界线上。实际上，俄国大宇宙学家伽莫夫——他以才气过人的智慧和异想天开的想象力诠释爱因斯坦的著作而闻名于世——就非常恰当地给他的自传取名为《我的世界线》。

借助于世界线，当将来某个时候我们返回过去时，我们就可以知道要发生的事情了。让我们假想我们进入时间机器，在我们出生之前遇上我们的母亲。不幸的是她爱上了我们，抛弃了我们的父亲。我们真的会像《回到未来》中所描写的那样消失掉吗？在世界线上，我们现在已经清楚这种情形为什么不可能发生。当我们消失时，我们的世界线也就因此而消失。然而，根据爱因斯坦的相对论，世界线不能被切断。因

此,在相对论中过去不能被改变。

第二个佯谬是重新创造过去。不管怎么说,它提出了许多有趣的问题。例如,我们让时间倒流。我们去履行这段历史而不是破坏它。因此,时间旅行发明者的世界线就成为一个封闭的环。他的世界线仅仅是重复过去而不是改变过去。

比较麻烦的是“珍妮”的世界线,她是自己的母亲、父亲、儿子和女儿(图 11.2)。

请再次注意,我们不能改变过去。当我们的世界线逆时间而返时,它只是简单地履行早已被知道的历史。因此,在这样的宇宙中,回到过去跟那时的你自己相逢是可能的。假如我们的生活经历是环形的,那么我们或迟或早总会遇上一个年轻的男子或女子。他或她就是年轻时候的我们自己。我们告诉这位年轻人,我们有些认识他或她。接下来再想想,我们记得在我们还年轻时,我们遇上了一位自称认识我们的奇怪老人。

因此,也许我们能达到过去,但是永远别想改变它。正如我们所强调的,世界线不能被切断,也不能终止。它们或许在某段时间里形成一些环,但是它们不能改变过去。

但是这些光锥图只是在狭义相对论的框架内提出来的,而狭义相对论虽然能描述我们进入过去时所要发生的事件,但是它毕竟太简单了,不能解决时间旅行是否有意义这个问题。为了回答这个大问题,我们必须转向广义相对论。在广义相对论中,情况变得非常微妙。

广义相对论是解决问题的非常有力的工具。我们用它才弄清了这些相互缠绕的世界线可能在物理学上是允许存在的。这些封闭的圆环有一个科学名称,叫作闭合类时曲线。但是科学界尚存在这样的争论:广义相对论和量子力学到底允许还是不允许闭合类时曲线。

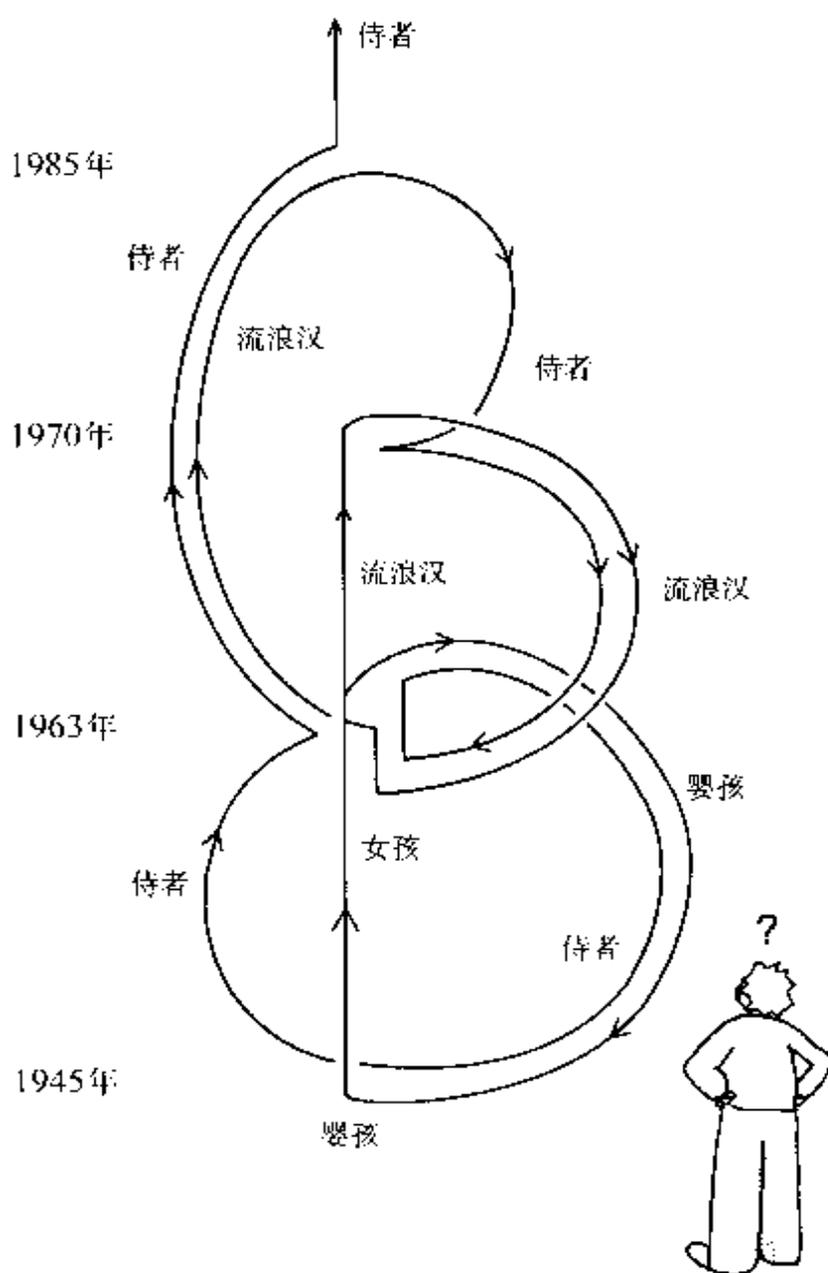


图 11.2 如果时间旅行是可能的,那么我们的世界线就变成一个闭合环。1945年,有一个女孩出生。1963年,她有了自己的孩子。到了1970年,他成了一个流浪汉,他返回到1945年碰上了他自己。1985年,他是一个时间旅行者,于1970年在一家酒吧中登上时间机器,将自己带回到1945年。他绑架了那个孩子并把她送回到1945年,使所有的一切都重新开始。这个女孩是她自己的母亲、父亲、祖父、祖母、儿子和女儿等等。

算术和广义相对论的破坏者

1949年,爱因斯坦非常关注他的一个亲密同事和朋友的发现。他就是维也纳数学家哥德尔(Kurt Gödel),他也在爱因斯坦工作的普林斯顿高等研究院工作。哥德尔找到了爱因斯坦方程组的一个微扰解,这个解允许破坏公认的基本信条,即允许某种形式的时间旅行。它在历史上第一次把时间旅行建立在数学基础上。

在大约四分之一世纪中,哥德尔以破坏者的角色而出名。1931年,他意想不到地证明了你不能证明算术的自洽性,因此而闻名于世(或者,实际上声名狼藉)。在证明过程中,他摧毁了自欧几里得和古希腊人开始至今已有2000年之久的梦想。这个梦想就是要使数学变得尽善尽美,即把全部数学简化成少数几条自洽的公理,任何数学结果皆可由此导出。

哥德尔用绝妙的数学技巧证明,在算术中总是存在一些定理,它们到底是正确的还是错误的,永远不能从算术公理得到证明。这也就是说,算术总是不完备的。哥德尔所获得的结论,或许是1000年来数理逻辑领域最惊人的出乎意料的进展。

数学一度被认为是所有学科中最纯洁的学科,因为它是精确的、确定的,它还没有被我们这个物质世界所具有的令人生厌的粗俗所玷污,但是现在它变得不确定了。自哥德尔以后,数学的基石似乎被动摇了。(粗略地讲,哥德尔著名的证明,是从证明在逻辑上存在一个奇特的悖论开始的。例如,考虑这样一个陈述:“这个句子是错误的。”如果这个句子是正确的,那么必然导致结论:这个句子是错误的;而如果这个句子

是错误的,那么这个句子又是正确的。或者考虑这样一个陈述“我是个说谎者”,那么只有当我讲真话时我才是个说谎者。哥德尔随后把这一陈述表述如下:“这个句子不能够被证明是正确的”。如果句子是正确的,那么它就不能被证明是正确的。通过仔细建立一张由这样的悖论组成的复杂网络,哥德尔证明,存在一些正确的但不能用算术来证明的命题。)

哥德尔毁灭了一个梦,一个所有数学家最珍视的梦。在此之后,哥德尔接着又粉碎了围绕着爱因斯坦方程组所凝聚的传统知识。他证明了爱因斯坦理论含有一些令人吃惊的病态结果,其中包括时间旅行。

他首先假设宇宙中充满了缓慢旋转的气体或者尘埃。这似乎是合理的,因为广阔的宇宙的确像是充满了气体和尘埃。然而,哥德尔的解引起人们巨大关注是出于如下两个原因。

首先,他的解破坏了马赫原理。他证明了爱因斯坦方程组的两个解有相同的尘埃和气体分布是可能的。(这意味着马赫原理是不完备的,即还存在着隐含的假设。)

更重要的是,他证明了某些形式的时间旅行是允许的。如果一颗粒子在哥德尔宇宙中沿着它的路径旅行,它最终会返回到过去并与它自身相遇。他这样写道:“乘一艘宇宙飞船,沿着范围足够大的曲线作环形旅行,在这些世界里有可能旅行到过去、现在和未来的任何区域,然后再返回。”² 因此,哥德尔找到了广义相对论中的第一条闭合类时曲线。

从前,牛顿认为时间像一支射向靶子的离弦之箭。一旦这支箭射出,没有什么东西能使它转向或者改变它的路径。爱因斯坦则认为,时间更像一条浩荡的河流,它向前方流动,但是在通过时而峡谷时而平原的区域时总是蜿蜒曲折。物质或者能量的存在可以在瞬间改变河流的流向,但是从全流域来看,这种流动又是平滑的:它决不会突然中断或者猛地往回

流。然而哥德尔认为,时间这条河流能够缓慢地折回成一个圆圈。河流毕竟也有回流和漩涡。河流在总体上总是向前流动,但在边上就不一样了,那里总会有一些小池塘,水在池边以旋转的方式流动。

哥德尔的解不能斥之为狂想者所做的工作,因为哥德尔使用了爱因斯坦本人的场方程组找到了奇异解。在这个解中,时间弯曲成一个圆。由于哥德尔遵循规则进行研究,并发现了爱因斯坦方程组的一个合理的解,爱因斯坦只得被迫采取逃避的方式放弃这个解,因为它与实验数据不相符。

在哥德尔的宇宙中有一个小小的不足,那就是假定了宇宙中的气体和尘埃缓慢转动。在实验上我们没有发现太空中的宇宙尘埃和气体的任何转动。我们的仪器设备已经证实,宇宙正在膨胀,但没有呈现出转动迹象。因此,可以毫无顾虑地彻底抛弃哥德尔宇宙。(这给我们留下了一种似乎合理但又让人觉得打破常规的可能性,即如果我们宇宙正如哥德尔所猜测的那样的确在转动,那么闭合类时曲线和时间旅行在物理上就是可能的。)

1955年,爱因斯坦逝世。有关他的方程组的打破传统的解因为实验上的原因而搁置了下来。与此同时,人们在出生之前也没能碰上他们的父母亲。爱因斯坦对此感到满意。

生活在曙暮带中

接着在1963年,纽曼(Ezra Newman)、昂蒂(Theodore Unti)和坦布里诺(Louis Tamburino)发现了爱因斯坦方程组的一个新解,它甚至比哥德尔的解还要离奇。与哥德尔宇宙不一样,他们的解不是建立在充满了尘埃的旋转宇宙上。表面上,它类似于一个典型的黑洞。

与哥德尔解一样,他们的宇宙也允许出现“闭合类时曲线”和时间旅行。除此之外,当你绕着黑洞走 360 度后,你并没有回到你原来的出发点。相反,就像居住在一个带有黎曼切口的宇宙上,你将会转到这个宇宙的另一片。纽曼-昂蒂-坦布里诺宇宙的拓扑结构,或许可以比作居住在螺旋型的楼梯上。如果我绕着楼梯移动 360 度,我们没有到达出发点而是到达楼梯的另一个地方。生活在这样一个宇宙中比我们最坏的梦魇还要糟糕,常识已经完全不起作用。事实上,这种奇异宇宙的病态如此之鲜明,以至于很快就出现了这样一个名称:NUT 宇宙(NUT 是纽曼、昂蒂和坦布里诺三个人名字的首字母)。

起初,相对论学者们也以放弃哥德尔解同样的方式放弃了 NUT 解。那就是说,我们的宇宙似乎不像是按照这些解所预言的方式来演化,因此它们由于实验上的理由而被武断地抛弃了。但是,数十年过去后,爱因斯坦方程组的此类奇异解大量涌现了出来,它们都允许时间旅行。20 世纪 70 年代初,新奥尔良州杜雷大学的蒂普勒(Frank J. Tipler)对爱因斯坦方程组的一个旧解重新进行了分析。这个解由斯托库姆(W. J. van Stockum)于 1936 年所发现,它甚至比哥德尔的解还要早。这个解假设存在一个无限长的旋转的圆柱体。使人们大吃一惊的是,蒂普勒可以证明这个解违背了因果性。

甚至克尔的解(它对外层空间的黑洞作了物理意义上最现实的描述),也被证明允许时间旅行。宇宙飞船穿越克尔黑洞的中心(假设在这个过程中宇宙飞船不会被压碎),因果性将会被破坏。

不久,物理学家们发现,NUT 型奇点可以被植入任何黑洞或膨胀宇宙中。事实上,现在为爱因斯坦方程组编造无数个病态解都是可能的。例如,爱因斯坦方程组的每一个蛀洞解

都可以被证明允许某种形式的时间旅行存在。

根据相对论专家蒂普勒的观点，“表现出任何一种奇异行为的场方程组解都可以找到。”³ 因此，如果爱因斯坦还在世的话，爱因斯坦方程组病态解数量的爆炸必定会使他大吃一惊。

爱因斯坦方程组在某种意义上像特洛伊木马。从表面上看，这种马像是一件完美的可接受的礼物，它告诉我们，在引力场下恒星发出的光是弯曲的，并且这种弯曲现象是可以观测的，它还对宇宙的起源给出了令人信服的解释。但是，各式各样的魔鬼和妖怪都潜伏在里面，它们允许穿越蛀洞的星际旅行和时间旅行这些可能性存在。我们为洞穿宇宙最黑暗的秘密所必须付出的代价，是我们最普遍持有的关于我们世界的一些信仰——空间是单连通的，历史是不可改变的——可能崩溃。

但是问题仍然存在：这些闭合类时曲线是否能像爱因斯坦所做的那样根据纯粹的实验基础加以抛弃，或者是否有人能够证明它们在理论上是可能的，并且是否能够真的制造时间机器？

制造时间机器

1988年6月，三位物理学家，即加州理工学院的索恩和莫里斯(Michael Morris)以及密歇根大学的尤尔特塞韦尔(Ulvi Yurtsever)，就时间机器提出一个非常重要的建议。他们使《物理评论快报》——世界上最著名的刊物之一——的编辑相信他们的工作应该受到重视。(数十年间，狂人们为时间旅行所提的大量建议投稿于主流物理杂志，但全部被拒绝发表，因为它们不是建立在重要的物理原理或者爱因斯坦方程组上。)

像训练有素的科学家一样,他们用易被接受的场论语言给出他们的讨论,接着又认真细致地解释了他们最薄弱的假设出现在什么地方。

为了战胜科学界中的怀疑主义,索恩和他的同事们意识到,他们必须征服那些反对把蛀洞当作时间机器的典型的反对意见。首先,如上所述,爱因斯坦本人认识到,在黑洞中心引力场极其巨大,以致会把任何空间飞行器撕裂。虽然蛀洞在数学上是可能的,但是在实际上却毫无用处。

第二,蛀洞可能是不稳定的。可以证明,蛀洞中的微小扰动将会促使爱因斯坦-罗森桥坍塌。因此,出现在黑洞中的宇宙飞船足以产生一个扰动,使得通向蛀洞的通道关闭。

第三,必须比光速还快,才能真正穿过蛀洞到达其另一侧。

第四,量子效应可能会非常之大,以致蛀洞可能会关闭起来。例如,通向黑洞的入口发出的强大辐射不仅会杀死任何一位企图进入黑洞的人,而且还会将入口关闭。

第五,时间在蛀洞中会慢下来,在中心区趋向于完全停止。因此,在地球上的人看来,蛀洞具有不受欢迎的特点,空间旅行者的速度似乎慢了下来,并在黑洞的中心变成彻底停止。空间旅行者似乎被冻结在时间中了。换句话说,空间旅行者要花无限长的时间穿越蛀洞。我们姑且假设在某一时刻有人以某种方法穿过蛀洞中心并重新返回地球,时间的畸变仍然会如此之巨大,以至于地球上有可能已经过去了数百万年,甚至数十亿年。

因为上述所有理由,所以蛀洞解从未被严肃采纳过。

索恩是一位严肃的宇宙学家,通常他也许会以极端的怀疑或者甚至嘲讽的态度去看待时间机器。但是,索恩却以最好奇的方式逐渐卷进了这个问题的探讨中。1985年夏,萨根

(Carl Sagan)把他将要出版的下一本书的稿子寄给索恩,这部小说名叫《接触》,它围绕着划时代的事件严肃探索科学问题和政治问题:跟外层空间中第一批地外生命接触。凡思考外层空间中的生命问题的科学家,都必须面对如何打破光垒这个问题。由于爱因斯坦狭义相对论明确禁止任何超光速的旅行,因此用传统的宇宙飞船旅行到遥远的恒星可能要花成千上万年时间,也就是说进行星际旅行是不现实的。由于萨根想使他的书在科学上尽可能准确,他写信给索恩,问他科学上有什么可行的办法避开光垒。

萨根的要求,激发了索恩向自己的智力挑战的好奇心。现在摆在面前的是一个坦诚的、与科学相关的要求,它由一位科学家向另一位科学家提出。对于这样的要求必须给出一个严肃的回答。所幸的是,因为这个问题具有非正统性,因此索恩和他的同事们用最不寻常的方法去研究它。他们反向进行研究。在通常情况下,物理学家总是从一个确切知道的天体(中子星、黑洞、大爆炸)出发,然后求解爱因斯坦方程组以找出周围空间的曲率。我们记得,爱因斯坦场方程的实质就是一个天体所含的质能决定了其周围时空的曲率大小。用上述方法处理,我们保证能找到有关天体的爱因斯坦方程组的解,而这些天体正是我们期望在外层空间里找到的。

但是,因为萨根的奇特请求,索恩和他的同事们反向研究问题。他们从一个他们希望找到的粗糙思想出发。他们希望存在这样一个爱因斯坦方程组的解,在这个解中空间旅行者不会因为强大的引力场的潮汐效应而被撕裂。他们希望蛀洞是稳定的,不会在旅行的中途突然关闭。他们希望在蛀洞中往返旅行所花的时间以天来计算,而不是以地球上的数百万年或数十亿年来计算等等。实际上,他们的指导方针就是希望时间旅行者在进入蛀洞一段时间后以合理的安全程度返

航。一旦他们确定他们的蛀洞该是什么样的,接下来所能做的就是,开始计算产生这样的蛀洞所需要的总能量。

从他们的非正统观点出发,他们就不特别在乎能量的需求会不会大大超越 20 世纪的科学。对他们来说,这是一个在将来某个文明时代真要制造时间机器时的工程问题。他们想证明这在科学上是可行的,而并非证明它是经济的或者用目前地球上的科学就能办到:

通常情况下,理论物理学家会问:“物理定律是什么?”以及/或者“这些定律对于宇宙的预言是什么?”与此相反,在这封信里我要问:“物理定律对非常先进的文明的活动有什么限制?”这个问题会引发一些有关物理定律本身的很有意思的疑问。我们从这样一个问题开始,即物理定律是否会限制一个非常先进的文明为星际旅行而制造并维持蛀洞。⁴

关键性的短语,自然是“非常先进的文明”。物理定律告诉我们什么可能而不是什么可行。物理定律与为检验它们所花的钱无关。因此,理论上可能的事情也许会超过地球这颗行星上所有国家的生产力。索恩和他的同事们谨慎地声明,能够掌握蛀洞能力的这种神话般的文明,必定“十分先进”。也就是说,这种文明能够实现一切可能的实验(即使对地球上的人来说它们是不现实的)。

令索恩及其同事非常高兴的是,他们不久就相当容易找到了满足他们所有硬性限制的解,并且这个解简单得令人吃惊。它完全不是典型的黑洞解,因此不必担心被坍缩恒星所撕裂的一切问题。他们把他们的解命名为“可穿越的蛀洞”,以此与其他不能被宇宙飞船穿越的蛀洞解区分开来。他们为他们的解兴奋不已,接着就回信给萨根,于是萨根把他们的一些思想加进了他的小说中。实际上,他们对所获得的解竟如

此简单而感到惊奇,以至于相信新入学的物理学研究生都能够理解他们的解。1985年秋,在加州理工学院进行的广义相对论课程的期终考试中,索恩把这个蛀洞解给了学生们,但是没有告诉他们它是什么,他要求学生推导出它的物理性质。(绝大多数学生给出了对这个解的详尽的数学分析,但他们没有意识到自己正在检验的是一个允许时间旅行的解。)

如果学生们在期终考试中更加机警一点的话,他们就会推导出这个蛀洞的一些相当惊人的性质。实际上,他们将会发现,穿越这个可穿越的蛀洞的旅行就像乘飞机旅行一样舒适。旅行者所经受的最大重力不会超过 $1g$ 。换句话说,他们的表观重量,不会超过他们在地球上的重量。此外,旅行者永远不用担心在旅途中蛀洞入口会关闭。索恩的蛀洞实际上是永久开放的。穿过一个可穿越的蛀洞的旅行是可以控制的,而不再是要花100万年或者10亿年。莫里斯和索恩这样写道,“旅行将完全是舒适的,所需的总时间大约在200天,”或者更少。⁵

至此,索恩写道,在电影中常描述的时间佯谬不再存在,“从电影到科幻的情节(例如,返回到过去并自杀的那种情节),人们也许希望闭合类时曲线能够生成多重性为零的初始轨道”(即那些不可能的轨道)。⁶然而,索恩已经证明,出现在他的蛀洞中的闭合类时曲线看起来完全能填充过去,而不是改变过去或者引起时间佯谬。

在最终把这些令人吃惊的结果提供给科学界后,索恩写道,“爱因斯坦场方程组新的一类解已获得,它们描述了在原则上可被人类穿越的蛀洞。”

当然,还存在一个与这一切有关的难题,那就是我们今天为什么没有时间机器的一个原因。索恩计算中的最后一步,是推导为产生这种不可思议的可穿越的蛀洞所必需的质能的

精确性质。索恩和他的同事们发现,在蛀洞的中心必定存在着具有反常性质的“非凡的”物质形态。索恩很快指出,这些“非凡的”形态虽然反常,但看来没有违背已知的任何物理定律。他提出警告,在未来某个时候,科学家或许能证明这种非凡物质不存在。然而现在,对一个已掌握足够高深的科技知识的人来说,这类非凡物质看来是一种完全可以接受的物质形态。索恩自信地写道,“一个非常先进的文明可以从单个蛀洞制造出逆时间旅行的机器。”

时间机器的设计蓝图

然而,凡读过威尔斯的小说《时间机器》的人,或许都会对索恩的时间机器设计蓝图感到失望。你并没有坐在起居室内的椅子上,按动几个按钮,看着闪烁的指示灯,目睹着历史大跨度变化的景象,包括毁灭性的世界大战,伟大文明兴衰,或者未来的伟大科学成果。

索恩时间机器的一种形式由两个室组成,每一个室包含两块平行的金属板。在每对金属板间产生的强大电场(比今天的技术所能产生的任何电场都大)使时空开裂,在连接两个室的空間形成一个洞。然后把一个室放到太空飞船上,把它加速到接近光速,而另一个室仍旧安置在地球上。由于蛀洞能够连接两个不同时间的空间区域,因此第一个室中的时钟要比第二个室中的时钟走得慢。因为蛀洞两端的时间以不同的速率流逝,所以掉进蛀洞一端的任何人都将立刻被猛地抛到过去或者未来。

另一种时间机器或许如下所述。如果能够找到非凡物质,并且它们像金属一样可塑,那么最理想的形状想来应该是圆筒形。一个人站在圆筒的中央。接着非凡物质就会使它周

围的空间和时间弯曲,产生一个蛀洞。这个蛀洞通往宇宙中处于不同时间的另一个遥远的地方。处在漩涡中心的是那个人,他进入蛀洞后,所受到的引力场强度不超过 $1g$,并且会发现自己已到了宇宙的另一端。

表面上看,索恩的数学论证无可挑剔。爱因斯坦方程组确实表明,蛀洞解允许时间在其两端以不同的速率流逝,因此时间旅行在原则上是可能的。当然,首要的手段是制造这个蛀洞。正如索恩和他的同事们很快就指出的那样,主要问题是如何控制足够的能量,以制造和维持一个含有非凡物质的蛀洞。

在正常情况下,基础物理学的基本原理之一就是所有的物体都具有正能量。振动的分子、运动的汽车、飞翔的鸟以及升腾的火箭都具有正能量。(按照定义,空无一物的真空空间所具有的能量为零。)但是,如果我们能够制造出具有“负能量”的物质(也就是说,所含能量比真空还要低的物质),那么我们或许就能够产生一种非凡的时空组态,时间在这个组态中被弯成一个圈。

这样一个非常简单的概念,竟有一个听起来相当复杂的名称:平均弱能条件。正如索恩谨慎指出的那样,平均弱能条件必须被打破;为了使时间旅行能成功进行,能量必须暂时变成负能量。但是,负能量在过去一直遭到相对论专家的反对。他们认为,负能量将使反引力以及许许多多从未在实验中观察到的其他现象成为可能。

但是,索恩很快就指出有一种方法能获得负能量,那就是通过量子理论。1948年,荷兰物理学家卡西米尔(Henrik Casimir)证明了量子理论能够产生负能量:只要取两块大的、不带电的金属平板就可以做到。常规情况下,常识告诉我们,由于两块平板是电中性的,因此它们之间没有作用力。但是

卡西米尔证明,由于海森伯不确定性原理,隔开这两块平板的真空实际上是异常活跃的,数以万亿计的粒子和反粒子不断产生和消失。它们从真空中产生并且消失于真空中。因为它们飞逝,所以它们中绝大部分不能被观察到,并且不会破坏任何物理定律。这些“虚粒子”在这两块平板间产生净吸引力。卡西米尔预言这种吸引力能够被测量到。

当卡西米尔刚发表他的论文时,它受到了严重的怀疑。毕竟,两块电中性的物体怎么能相互吸引,从而违反经典电学的普遍规律?这闻所未闻。但是在1958年,物理学家斯帕尔纳伊(M. J. Sparnaay)在实验室里观察到了这种效应,跟卡西米尔预言的完全一致。从那时起,这种效应就被命名为卡西米尔效应。

制造卡西米尔效应的一种方法,就是在每个蛀洞的入口放两块大的导电平行板,由此在蛀洞的每一端产生负能量。正如索恩和他的同事们所总结的那样,也许结果将表明,“平均弱能条件永远不能违背。在这种情况下,不可能存在诸如可穿越的蛀洞、时间旅行或者因果性失效这样的事情。在你到达一座桥之前就想通过它,那实在是为时过早了。”⁷

现在,对索恩时间机器的评判尚付阙如。所有人都承认,决定性因素是无论何时都需要一种完全量子化的引力理论来彻底解决问题。例如,霍金已经指出,蛀洞入口处发出来的辐射相当大,它们将反馈到爱因斯坦方程组所包含的质能内容之中。这种向爱因斯坦方程组的反馈将会使蛀洞入口发生畸变,甚至可能永远关闭它。但是,索恩不同意辐射将会强到足以关闭蛀洞入口的观点。

这样就出现了超弦理论。因为超弦理论是完全的量子力学理论,它把爱因斯坦的广义相对论作为一个组成部分包含在内,所以它可以用于计算对早先的蛀洞理论所作的修正。

原则上,它将允许我们确定平均弱能条件在物理上到底是否现实,以及蛀洞入口是否向喜欢到过去旅行的时间旅行者开放。

霍金对索恩的蛀洞持保留看法。但是具有讽刺意味的是,霍金自己提出了甚至比它更异想天开的新的蛀洞理论。霍金不是把现在跟过去连接起来,而是建议用新的蛀洞把我们宇宙跟无数个平行宇宙连接起来!

第十二章

碰撞着的宇宙

[大自然]不仅比我们想象的要古怪,而且比我们所能想象的还要古怪。

——霍尔丹(J. B. S. Haldane)

宇宙学家霍金是科学界最富悲剧色彩的人物之一。他在无法治愈的、不断恶化的疾病中奄奄一息,但是面对着几乎是不可超越的障碍,他顽强地致力于他的研究活动。虽然他已经对他的双手、双腿、舌头乃至声带都失去了控制能力,但是在他被限于轮椅上的同时,他成了开辟新的研究道路的先锋。任何一个意志稍弱的物理学家遇到这样的困难早就会放弃解决重大科学难题的斗争了。

他不能用手握笔,他所有的计算都在头脑中完成,偶而靠助手的帮助。失去了声带以后,他用机械设备跟外界交流。但是他不仅进行旺盛的研究工作,而且还抽时间写了一本畅销书《时间简史》,并到世界各地演讲。

当我应邀在他组织的一次物理学会议上作演讲时,我到就在剑桥大学外面的他家里拜访过他一次。走在他的起居室中,给人印象深刻的一系列精巧的小工具令我感到惊讶。借助这些工具,他继续着他的研究。例如,我发现在他的办公桌上有一样东西,跟音乐家用来放乐谱的那种器材非常相似。但是,这件东西要精致得多,为了便于他看书,它能够抓住书本的每一页并且小心地翻过去。(我受到了震撼并陷入沉思。

我想许多物理学家也早已沉思过,如果我失去了手臂、腿或者声音,即使能得到最好的器械帮助,我还能有精力和意志去继续搞研究吗?)

霍金是剑桥大学物理学卢卡逊教授。担任过同一职位的还有牛顿。霍金也像他这位闻名于世的前任一样,致力于他这个世纪最伟大的问题,即爱因斯坦引力理论和量子理论的最终统一。因此,他对优美而自洽的十维理论感到惊奇。实际上,他就是用对这一理论的讨论来结束他的那本畅销书的。

霍金不再把他的富有创造性的大量精力花在使他名扬全球的那个领域——黑洞上。它现在已经过时了。他正在玩更大的游戏——统一场论。我们记得,弦理论起初是一种量子理论,后来则吸收了爱因斯坦的引力理论。霍金是作为纯粹的经典相对论专家而不是量子理论专家开始研究的,他从另一种观点接近这一问题。他和他的同事哈特尔(James Hartle)从爱因斯坦的经典宇宙出发,然后对整个宇宙进行量子化!

宇宙的波函数

霍金是量子宇宙学这一新学科的创始者之一。刚开始的时候,这在术语上看起来像是矛盾的。量子这个词用在极微小的夸克和中微子世界中,而宇宙学意味着几乎是无限宽广的外层空间。但是,霍金和其他人现在认为,宇宙学的最终问题只能用量子理论来解决。霍金把量子宇宙学用于这个问题的最终的量子结论。这个结论允许存在无限多个平行宇宙。

我们记得,量子理论的出发点是波函数,它描述粒子所有可能的状态。例如,想象天空中有一块巨大的不规则的雷雨云。雷雨云越黑,水蒸气和尘埃的含量在此处也越大。因此,通过对雷雨云作简单的观察,我们就能很快估算出在某块天

空中发现大量水和尘的概率。

雷雨云或许可以被比作单个电子的波函数。波函数像雷雨云一样填充在整个空间。同样,在某一点波函数的值越大,那么在该点找到电子的概率也越大。与此相类似,波函数可以跟大物体(例如人)联系在一起。当我坐在普林斯顿我的椅子上时,我知道我有一个具有薛定谔概率性质的波函数。如果我通过某种方法看见自己的波函数,那它肯定类似于跟我的身体形状非常接近的一团云。但是,也有一些云将遍及整个空间,到达火星,甚至越出太阳系,尽管在那里它已消散得非常小。这意味着,我坐在椅子上而不是呆在火星上的可能性非常大(我实际上就是坐在椅子上)。虽然我的部分波函数甚至已经散布出了银河系,但是我呆在另一个星系的可能性只是无穷小。

霍金的新思想,是把整个宇宙看成一个量子粒子。通过重复一些简单的步骤,我们会获得一些令人大开眼界的结论。

我们从描述一组所有可能宇宙的波函数开始。这意味着,霍金理论的出发点必定是一组无限多的平行宇宙,即宇宙的波函数。霍金用宇宙这个词代替粒子。他的这个相当简单的分析,已经导致我们在宇宙学思想上的概念性革命。

根据这一绘景,宇宙的波函数遍及所有可能的宇宙。假设波函数在靠近我们自己宇宙的地方相当大,因此正如我们所期望的那样,我们宇宙很可能就是一个合适的宇宙。然而,波函数遍及所有的其他宇宙,甚至到了那些没有生命以及与我们所熟知的物理定律不相容的宇宙中。由于波函数被认为在其他这些宇宙衰减至非常小,因此我们预期在不远的将来我们宇宙将不会通过量子跃迁而成为那样的宇宙。

量子宇宙学家所面对的目标,就是在数学上证明这种猜想,即证明宇宙的波函数对我们现在的宇宙是大的,而对其他

宇宙则衰减到很小。然后由此进一步证明我们所熟悉的宇宙在某种意义上是独一无二的,也是稳定的。(目前,量子宇宙学家还不能解决这个重要难题。)

如果我们严肃对待霍金的思想,这意味着,我们必须从分析无限多个所有可能存在的相互共存的宇宙开始。坦率地说,宇宙这个词的定义不再是“存在的一切”了。现在,它的意思是“可能存在的一切”。例如,在图 12.1 中,我们看到宇宙

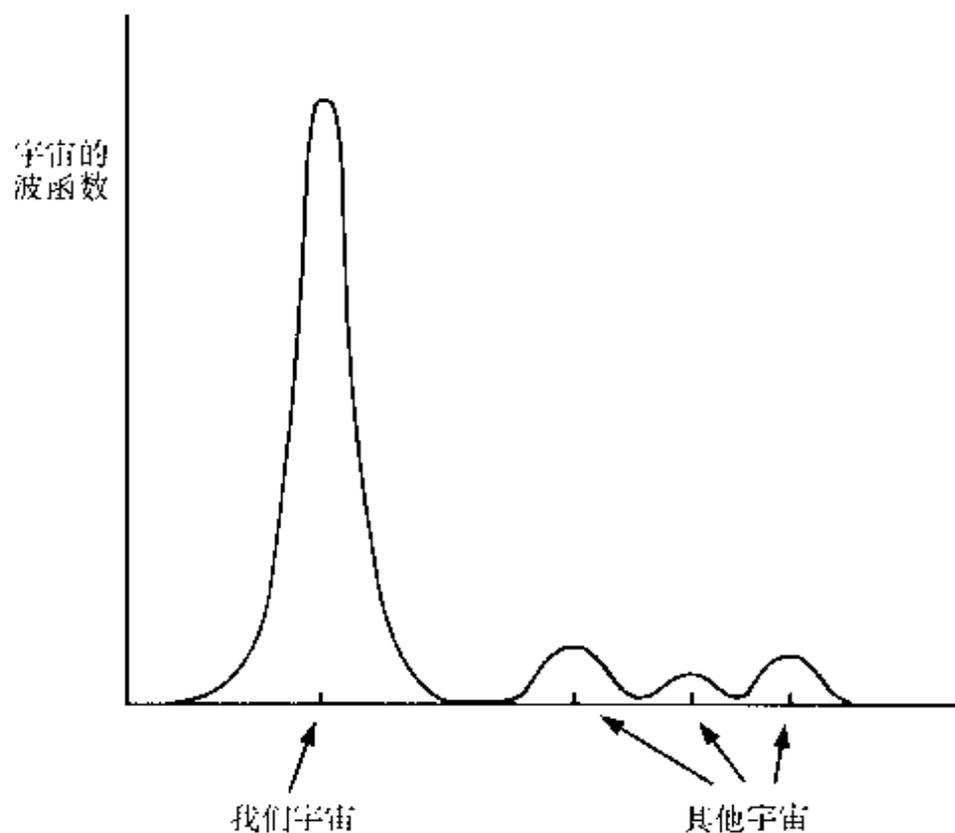


图 12.1 在霍金的宇宙波函数中,波函数最有可能集中在我们宇宙周围。我们所以生活在我们宇宙中,是因为这个宇宙最有可能拥有最大的概率。但是,波函数选择邻近平行宇宙的概率亦存在,虽然很小但是不为零。因此,宇宙之间的转移或许是可能的(尽管概率非常低)。

的波函数如何散布到若干可能的宇宙上。我们宇宙是最可能的一个,但肯定不是唯一的一个。霍金的量子宇宙学还假定,宇宙波函数允许宇宙相互碰撞。蛀洞可以发展和连接这些宇宙。但是,这些蛀洞与我们在前面几章中所描述的蛀洞不一样。它们把三维空间中的不同部分跟它们自身连接起来,即这些蛀洞把不同的宇宙彼此连接起来。

例如,考虑悬浮在空气中的一大群肥皂泡。在正常情况下,每一个肥皂泡都像是一个独立的宇宙,除了它不时与另一个肥皂泡相撞形成一个更大的肥皂泡,或者分裂成两个更小的肥皂泡外。差别仅仅在于,每一个肥皂泡现在都是十维宇宙。由于时空只存在于每一个泡上,因此在泡与泡之间不存在这样的时空。每一个宇宙都拥有它自含的“时间”。说时间在所有的宇宙中都以相同速率流逝,是毫无意义的。(但是我们应当强调指出,由于我们目前的技术水平,这些宇宙之间的旅行还没有向我们开放。此外,我们还应当强调,在这种尺度上的大量子跃迁极端罕见,发生的周期可能比我们的宇宙寿命还要长得多。)这些宇宙中的绝大多数是死宇宙,无任何生命可言。在这些宇宙中,物理定律是不一样的,因此无法满足使生命成为可能的物理条件。也许在数以十亿计的平行宇宙中只有一个宇宙(即我们宇宙)有一组合适的物理定律允许生命存在(图 12.2)。

霍金的“婴孩宇宙”理论,尽管不是一种切合实际的输运方法,却肯定提出了哲学问题乃至宗教问题。它在宇宙学家中间激起了两场旷日持久的争论。

把上帝放回宇宙中?

第一场争论与人存原理(anthropic principle)有关。在数

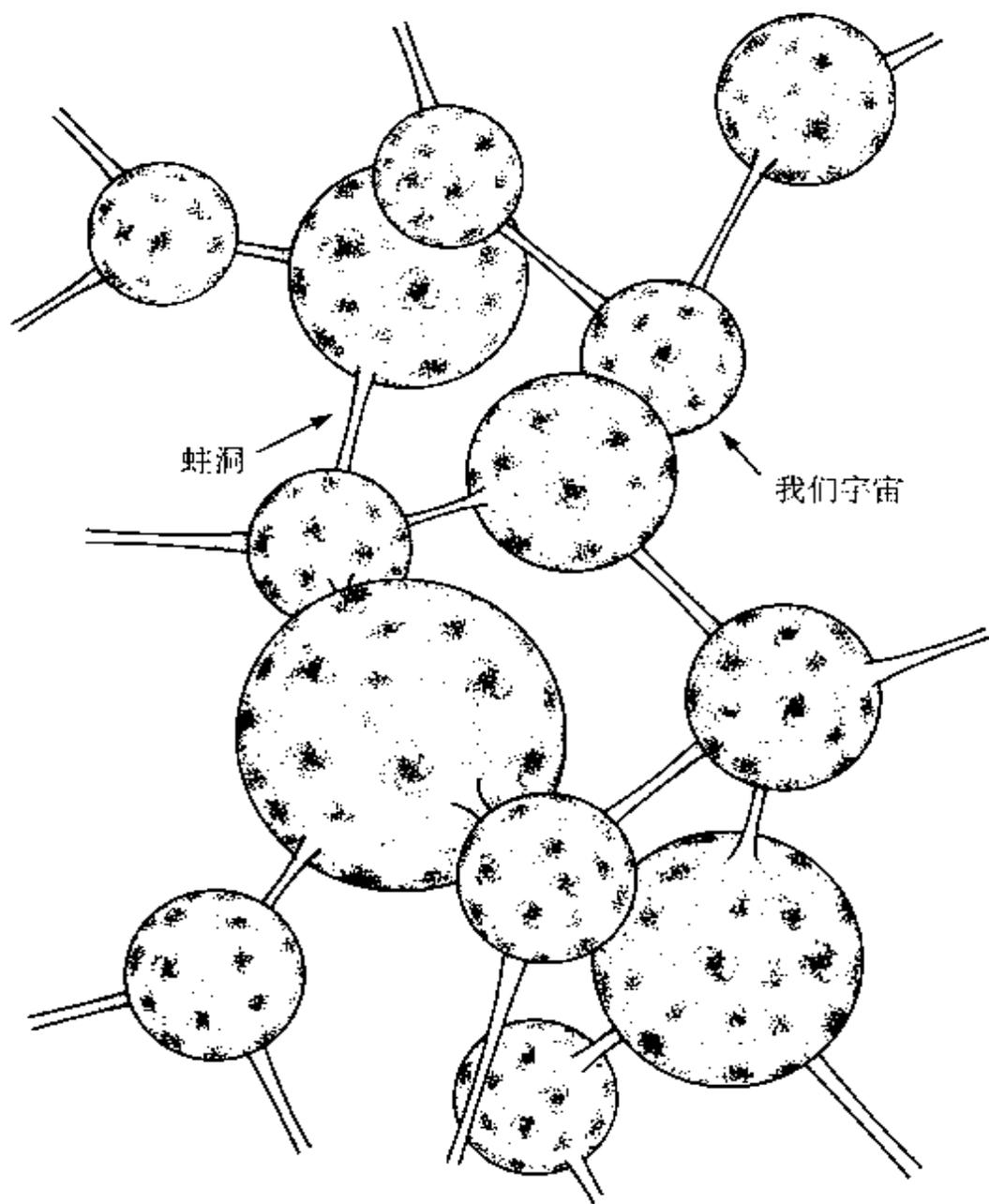


图 12.2 我们宇宙或许是无数个平行宇宙中的一个。每一个宇宙通过无穷多的虫洞跟其他宇宙相连。在这些虫洞之间旅行是可能的,但可能性又微乎其微。

个世纪里,科学家已经学会客观地观察宇宙。这种观察在很大程度上摆脱了人的偏见。我们不再将我们人的偏见和奇思

异想投射到每一个科学发现上。但是在历史上,早期的科学家常常犯拟人论错误。拟人论认为,物体和动物具有类似人那样的性质。犯这种错误的那些人,是因为他们发现他们的宠物也能表现出人的情绪和感受。(好莱坞的编剧们同样也犯了这种错误,他们想当然地认为天空中绕恒星转动的行星上肯定居住着跟我们相似的生物。)

拟人论是一个古老的难题。爱奥尼亚哲学家色诺芬尼(Xenophanes)曾经悲伤地说,“人们想象众神出生。他们的衣服、声音和体形都跟人相似。……是的,埃塞俄比亚众神是黑皮肤、扁鼻子,色雷斯众神是红头发和蓝眼睛。”过去数十年里,一些宇宙学家惊恐地发现,拟人论在人存原理的伪装下又悄悄回到了科学之中。人存原理的一些鼓吹者公开宣称,他们想把上帝放回科学中去。

实际上,围绕人存原理的这种奇特争论,还是存在某种科学价值的。争论围绕一个无可争辩的事实(假如宇宙的物理常量改变一点点,那么宇宙中的生命将不可能存在)展开。这个值得注意的事实仅仅是一个幸运的巧合,还是展示了某个“天帝”的作品?

人存原理有两种表述。“弱”表述宣称,宇宙中存在智慧生命(我们)应当被认为是一种实验事实,它帮助我们理解宇宙常量。正如诺贝尔奖得主温伯格对此所作的解释,“世界就是它现在的这个样子,至少部分原因在于,倘若它不是这样那就不会有人问世界为什么是这个样子了。”¹用这种方式来表达的人存原理的弱表述,人们很难对它进行讨论。

为了使宇宙中有生命,就需要将许许多多巧合事件联系到一起,但存在这种联系的可能性实际上非常小。生命依赖形形色色复杂的生物化学反应。我们如果将化学和物理中的一些常量改变一小点,就可以很容易使生命的存在变成不可

能。例如,我们哪怕略微改变支配核物理的常量,则发生在恒星以及超新星上的核合成和重元素生成或许变为不可能。接着,在超新星中生成的原子或许会变得不稳定,或者也许根本就不可能生成。生命依赖于重元素(比铁还重的元素),因为在合成 DNA 和蛋白质分子时需要重元素。因此,核物理中哪怕是最小的改动,也将会使宇宙中的重元素不能在恒星上制造出来。我们都是恒星的孩子,但是,如果核物理定律略有改变,我们的“父母”将不可能有“孩子”(我们)。作为另一个例子,我们可以放心地说,生命在早期海洋中的形成可能花了 10 亿年至 20 亿年时间。但是,如果我们能够以某种方法将质子的寿命缩短到数百万年,那么生命就不可能形成。因为由分子的随机碰撞形成生命所需要的时间不够充分。

换言之,我们存在于宇宙中并向有关宇宙的这些问题,这个事实意味着一系列复杂的事件必然发生了。它意味着,自然界的物理常量的值必须有一个确定范围,以使恒星有足够长的时间产生我们身体里的重元素,以使质子在生命有机会孕育等等之前不要衰变得太快。换句话说,宇宙中存在能够问关于宇宙之问题的人类,这给宇宙物理施加了大量的严格限制条件,例如它的年龄,它的化学组分,它的温度,它的尺寸,以及它的物理过程。

物理学家戴森(Freeman Dyson)对这些宇宙巧合事件作了评论。他曾经写道:“当我们观察宇宙,确认众多物理事件和天文事件早已在共同发挥对我们有益的作用时,它在某种意义上几乎像是已经知道我们将要来到这个宇宙。”这段话带给我们人存原理的“强”表述。它认为,宇宙所包含的一切物理常量都已被(上帝或者某个天帝)精确地选择好了。因此生命在我们宇宙中是可能的。因为这种“强”表述提出了有关神的问题,所以它在科学家中间引起了更大的争议。

可以想象,如果只有少数几个自然常量为了使生命成为可能而必须假定有确定的值,那么生命或许会失去形成的机会。但是,为了使生命在我们宇宙中形成,一大批物理常量的取值显而易见必须限制在一个极窄的范围内。由于这种巧合事件发生的可能性极小,因此为了创造生命,神智(上帝)或许就精确地选择了那些值。

当科学家们第一次听说人存原理的某种表述时,他们立即被弄糊涂了。物理学家帕格尔斯回忆道:“这是一种推理形式,它与理论物理学家进行研究工作时通常所用的方式完全不一样。”²

上帝将地球安排在离太阳的距离恰到好处,人存原理是这个旧表述的一种更为复杂的形式。假如上帝把地球安置得离太阳太近,那么地球就因太热而不能支持生命。假如上帝把地球放在离太阳太远,那么地球就因太冷而不能支持生命。这种表述的错误在于,星系中数以百万计的行星可能处在距离太阳不恰当的位置上,因此在这些行星上不可能出现生命。但是,有些行星碰巧处在与它们的太阳保持着恰当距离的位置上。地球这颗行星是它们中的一个,因此我们在这里讨论那个问题。

最终,大多数科学家从人存原理中醒悟过来,因为人存原理既不具有预见能力,也无法加以检验。帕格尔斯很不情愿地总结道:“与物理原理不同,人存原理无法决定它是正确的还是错误的,没有办法去检验它。与传统的物理原理不同,人存原理无法接受实验的否证。可以肯定,它不是一个科学原理。”³物理学家古思坦率地说:“从情绪上看,人存原理有点激怒我。……人存原理是在人们想不出更好的办法时才选择的。”⁴

对于费恩曼来说,理论物理学家的目标就是“尽快证明自

已是错的”。⁵但是人存原理毫无结果,不能被否认。或者,正如温伯格所说,“虽然没有科学家显然就没有科学,但是不清楚没有科学是否宇宙就不可能存在。”⁶

对人存原理(因而也就是有关上帝)的争论休止了许多年,直到最近被霍金的宇宙波函数所复苏。如果霍金是正确的,那么就确实存在着无穷多的平行宇宙,存在着许多有不同的物理常量的宇宙。其中,也许质子衰变得太快,或者恒星不能制造出比铁重的重元素,或者大磨灭在生命开始可以形成前发生得太快,等等。实际上,如果没有像我们所知的能使生命变成可能的物理定律,无穷多的这些平行宇宙都是死的。

在一个像我们所在的宇宙那样的平行宇宙中,物理定律正如我们所知道的那样是适宜于生命的。其证据就是我们今天在这里讨论这件事情。如果这是真的,那么也许就没有必要要求上帝解释如此珍贵的生命在我们宇宙中是可能的。但是,这就重新打开了弱人存原理的可能性,即我们和许多死宇宙共存,我们宇宙是唯一适合生命存在的宇宙。

霍金的宇宙波函数激起的第二场争论要深刻得多,实际上尚未得到解决。它被称为薛定谔猫难题。

被修正了的薛定谔猫

因为霍金的婴儿宇宙和蛙洞理论发挥了量子理论的作用,所以它不可避免重新引发了至今仍旧没有解决的与它的基础有关的争论。霍金的宇宙波函数没有完全解决量子理论的这些佯谬,它仅仅表达了一种令人震惊的新观点。

我们记得,量子理论认为,对每一个物体都存在一个波函数,它表征在时空中某一特定点上找到物体的概率。量子理论还认为,在你对粒子进行观测之前,你永远不会确切知道它

的状态。在进行测量之前,粒子可能处在各式各样状态中的一个上。所有这些状态都由薛定谔波函数来描述。因此,在作出观测或者测量之前,你不能够确切知道粒子的状态。实际上,在测量之前粒子存在于冥态,它是所有可能状态的总和。

当这个思想被玻尔和海森伯第一次提出来时,遭到爱因斯坦的反对。“月亮只是因为老鼠盯着它看才存在吗?”他喜欢这样问。根据量子理论的严格诠释,月亮在被观测前实际上并不存在于我们所知的状态中。事实上月亮可能处在无穷多个状态中的任何一个,包括它在天空中,或者正在出现,或者根本不在天空中。正是盯着月亮看的测量过程确定了月亮实际上在围绕着地球转动。

爱因斯坦跟玻尔进行了多次热烈讨论,以挑战这种非正统世界观。(在一次交流中,玻尔怒气冲冲地对爱因斯坦说:“你不是在思考。你只不过是在推理!”⁷)甚至是薛定谔(他以他那著名的波动方程激发了整个讨论)也反对针对他的方程所作的这种再诠释。他一度沮丧地说:“我不喜欢它,非常抱歉我曾经做了一些与之相关的研究。”⁸

为了挑战这种修正主义者的解释,批评家问:“在你看到猫之前,它是死的还是活的?”

薛定谔为了证明这个问题多么荒谬,他把一只虚构的猫放进一只密封的箱子。这只猫面对着一支枪。枪与一台盖革计数器相连,而盖革计数器又与一块铀相连。铀原子是不稳定的,它将发生放射性衰变。如果某个铀原子核发生蜕变,它就会被盖革计数器捕捉到,接着盖革计数器将会扣动枪上的扳机,枪射出的子弹将会把猫杀死。

为了确定猫到底是死的还是活的,我们必须打开箱子检查这只猫。但是,在我们打开箱子之前,猫所处的状态是什么

样的？根据量子理论，我们只能认为猫由一个描述死猫和活猫两者总体的波函数来描述。

对薛定谔来说，考察猫是死是活的思想极其荒谬，但是量子力学的实验证明迫使我们得出这种结论。现在，每一个实验都证实了量子理论。

薛定谔猫佯谬就是这样怪异，以至于它经常使人想起在卡罗尔的寓言中艾丽斯对柴郡猫消失如何作出反应：“‘你将会在那里看到我’，猫说着就消失了。艾丽斯对此不感到大惊小怪，她相当习惯于古怪事情的发生。”在那些年里，物理学家也已经习惯于发生在量子力学中的“古怪”事情。

物理学家对付这种复杂性，至少有三种主要办法。第一，我们可以假设上帝存在。因为所有的“观测”都隐含着一个观测者，所以在宇宙中必定存在某种“意识”。一些物理学家，如诺贝尔奖得主维格纳(Eugene Wigner)，坚持认为量子理论证明宇宙中存在着某种普遍的宇宙意识。

第二种解决此佯谬的方法，得到绝大多数研究物理学家的支持。它就是，对这一难题弃之不顾。大多数物理学家指出，没有任何意识的照相机照样能够进行测量。他们希望这个棘手又不可避免的难题滚开。

物理学家费恩曼曾经说，“我认为可以放心地说没有人理解量子力学。如果你可以尽可能避开量子力学，你就不要坚持对自己说：‘但是它怎么能像那样呢？’因为你将‘白白地’进入一个还没有人从中逃出去的死胡同。没有人知道它怎么能像那样。”⁹实际上，有人常说，在本世纪提出来的理论中，最愚蠢的莫过于量子理论。一些人说，量子理论唯一可取之处就是它毫无疑问是正确的。

但是，还存在着第三种解决佯谬的方法，它被称为多个世界理论。这个理论(像人存原理一样)在过去数十年里没有得

到赞同,但它又被霍金的宇宙波函数所挽救。

多个世界

1957年,物理学家埃弗里特(Hugh Everett)提出了一种可能性,即在宇宙演化过程中,它不断像道路上的分岔那样——“裂”为二。在一个宇宙中,铀原子未发生蜕变,猫不会被射杀。在另一个宇宙中,铀原子发生了蜕变,猫被射杀。如果埃弗里特是对的,那么就存在无穷多个宇宙。每一个宇宙通过道路上的分岔网跟其他各个宇宙相连。或者,像阿根廷作家博尔赫斯(Jorge Luis Borges)在《道路分岔的花园》中所写的那样,“时间不断分岔,通向无数的未来。”

物理学家德威特(Bryce DeWitt)是多个世界理论的支持者之一。他这样描述这个理论带给他的持续不断的冲击:“发生在每一个恒星、每一个星系以及每一个遥远的宇宙角落的每一次量子跃变,都把地球上我们的局域世界分裂成极大数量的它自己的复制品。我仍然清楚地记得在我第一次接触这个多个世界概念时所经受的震惊。”¹⁰多个世界理论假设所有可能的量子世界都存在。在某些世界中存在着像地球上起支配作用生命形式那样的人类。在其他世界上,有阻止人类在这种行星上继续演化的亚原子事件发生。

正如物理学家维尔切克(Frank Wilczek)所指出的:

据说,如果特洛伊的海伦(Helen)在鼻尖上长有一个疣,那么这个世界的历史将会完全不一样。是的,疣产生于单细胞中的突变,这些突变往往由于暴露在太阳的紫外线下而引发。结论是存在许许多多的世界,在它们中,特洛伊的海伦确实在她的鼻尖上长有一个疣。¹¹

实际上,可能存在多个世界这个思想是一个古老的思想。

哲学家马格努斯(St. Albertus Magnus)曾经写道,“存在多个世界还是仅仅只有单个世界?这是在对自然界的研究中最伟大和崇高的问题之一。”然而,有关这一古老思想的新难题,是这些多个世界解决了薛定谔猫佯谬。在某一个宇宙中,猫或许是死的;而在另一个宇宙中,猫又是活的。

与埃弗里特的多个世界理论看起来一样古怪,有人能够证明它在数学上等价于量子理论的通常诠释。但是在传统上,埃弗里特的多个世界理论没有在物理学家中间流行开来。存在无穷多个随时裂解的同样有效的宇宙,尽管这个思想不能被排除,但是它给了喜欢简单性的物理学家提出了一个哲学梦魇。有一条名叫奥卡姆剃刀的物理学原理,它认为我们应该永远走最简单的可能的道路,放弃笨拙的其他选择,特别是在其他选择永远不能被测量的情况下更应如此。(因此,奥卡姆剃刀剃除了旧的“以太”理论。以太理论认为一种神秘的气体一度弥漫在整个宇宙中。它为令人困窘的问题——如果光是波,它能在真空中传输,那么是什么在波动?——提供了一个方便的答案,即以以太像液体那样甚至在真空中振动。爱因斯坦证明,以太是不必要的。但是他从来没有说过以太不存在。他仅仅说它是无关的。因此,借助奥卡姆剃刀,物理学家就不再谈论以太了。)

人们可以证明,埃弗里特多个世界之间的交流是不大可能的。因此,每一个宇宙都不能意识到其他宇宙的存在。如果实验不能检验这些宇宙存在,那么我们应当用奥卡姆剃刀把它们剃除掉。

物理学家某种程度上都具有相同的气质,他们不直截了当说天使和奇迹不可能存在。也许它们确实不存在,但是根据奇迹的定义,它几乎不可重复,因此它也不能通过实验来测量。所以,我们必须用奥卡姆剃刀把它们剃除掉(当然,除非

我们能够找到可以重复的、可测量的奇迹或天使)。多个世界理论的提出者之一、埃弗里特的导师惠勒(John Wheeler)不太情愿地放弃了这个理论,因为“它需要携带太重的形而上学行李”。¹²

但是,随着霍金的宇宙波函数的流行,多个世界理论的不流行性也许正在减退。埃弗里特的理论建立在单粒子基础上,当宇宙分裂时,不同宇宙之间交流的可能性不存在。尽管霍金的理论与埃弗里特的理论有关系,但是前者比后者要深入得多:前者基于无穷多个自洽宇宙(且不光是粒子),还假定了宇宙之间存在着隧穿(取道蛀洞)的可能性。

霍金甚至进行了令人气馁的工作——计算宇宙波函数的解。他相信他获得的进展是正确的,部分因为该理论是明确的(假如理论正如我们所提及的那样,它最终用十维来定义)。他的目标是,要证明宇宙波函数在看起来像我们所在宇宙那样的宇宙附近有巨大的值。因此,我们宇宙是最有可能的宇宙,但肯定不是唯一的一个。

到目前为止,已经召开了多次有关宇宙波函数的国际性会议。但是,像以前一样,宇宙波函数中牵涉到的数学超出了这颗行星上任何人的计算能力。我们不得不等待有进取心的人能够找到霍金方程组的严格解。

平行世界

埃弗里特的多个世界理论与霍金的宇宙波函数之间的主要差别在于,霍金理论把连接这些平行宇宙的蛀洞置于他的理论的中心地位。但是,你不必担心某一天你下班回家,开门后进入了一个平行宇宙,发现你的家人再也听不见你了。他们在你辛苦工作了一整天后不是扑上来迎接你,而是像遇到

一个人侵者那样恐慌、尖叫,并以非法闯入为由将你投入监狱。这种剧情只有在电视或电影中才会发生。在霍金的方案中,蛀洞实际上不断地把我们宇宙跟万万亿个平行宇宙连接起来。但是这些蛀洞的平均尺寸极其小,大约为普朗克长度(约为质子的100万万亿分之一,对人类的旅行来说简直太小了)。此外,由于在这些宇宙之间发生大的量子跃变不频繁,因此我们或许不得不等待一段很长的时间,才会看到这样的事件发生,而这段时间要比这个宇宙的寿命还长。

因此,有人可以进入一个孪生宇宙完全符合物理学定律(尽管非常地不大可能)。这样的孪生宇宙跟我们宇宙极其相像,除了这两个宇宙分裂时在某一点上产生的微小又紧要的差别外。

这类平行宇宙被温德姆(John Wyndham)在他的小说“随机搜寻”中作了探讨。一个名为特拉福德(Colin Trafford)的英国核物理学家在1954年一次核实验爆炸时死里逃生。他没有死在医院里。相反,他毫毛未损地一个人在伦敦偏僻地区醒来。他很安心,因为他觉得一切正常。但是他很快就发现不大对劲。报纸的标题都是不可能的。第二次世界大战竟然从来没有发生。原子弹也从来没有被发明。

世界历史被扭曲了。此外,他看了一眼货架,注意到他自己的名字和相片是一位畅销书作家。他感到非常震惊。在这个平行世界里存在着一位他自己的对应人,此人是一名作家而不是核物理学家!

莫非这一切都是在做梦?他多年前曾经想成为一名作家,而不是选择成为一名核物理学家。显然在这一平行宇宙里,不同的选择是在过去作出的。

特拉福德翻阅伦敦电话号码簿,发现他的姓名也列在其中,但是地址不对。经过一番犹豫,他决定去访问“他的”家。

他进入“他的”公寓后，吃惊地遇到了“他的”妻子——一个他从未见过的漂亮女人。她非常痛苦和愤怒，因为“他”跟其他女人有无数风流韵事。她因为他的婚外不检点而责骂“他”，但是她注意到她的丈夫看上去不知所措。特拉福德发现，他的对应人是一个好色之徒。但是，他发现很难与这位他以前从未见过、即使偶然成为“他的”妻子的漂亮陌生人进行争辩。显而易见，他和他的对应人已经转换了宇宙。

他逐渐发现自己爱上了“他”自己的妻子。他不明白他的对应人怎么能以如此卑鄙的手段对待他的可爱的妻子。随后几个星期的缠绵终身难忘。他决定消除他的对应人在这些年里给他妻子的伤害。然后，正当这两个人重新互相发现之时，他被突然拉回到他自己的宇宙，留下“他的”爱情。被抛回他自己的宇宙违背了他的意愿，他开始了疯狂的搜寻以找到“他的”妻子。他发现，在他的宇宙中大多数人但不是所有人在另一个宇宙中都有其对应人。他推断“他的”妻子毫无疑问在他自己的世界里也必定有一个对应人。

他搜寻他记得的从那个孪生宇宙里来的所有线索时，感到很困惑。用他所有的历史知识和物理知识，他断定两个世界由于1926年或1927年发生的某个关键性事件而相互分开。他推断，有一个事件肯定早已将两个宇宙劈裂开了。

接着，他仔细查找几个家庭的出生和死亡记录。他把剩下的积蓄花在了会见许许多多人上，直到他找到了“他的”妻子的家谱。最后，他成功地在他自己的宇宙中找到了“他的”妻子。他最终和她结了婚。

巨蛙洞的冲击

有一位哈佛大学的物理学家投身到有关蛙洞的这场争论

中。他就是锡德尼·科尔曼(Sidncy Coleman)。他像是艾伦(Woody Allen)和爱因斯坦的混血儿。他慢悠悠地拖着步穿过杰弗逊会堂的过道,试图说服对他最近的蛀洞理论持怀疑态度的人。科尔曼留着卓别麟式的胡子,朝后梳着爱因斯坦式的头发,穿着过大的运动衫,在任何人群中都显得很突出。现在,他声称已经解决了困扰物理学家 80 年的著名的宇宙常量难题。

他的工作甚至上了《发现》杂志的封面。杂志还配发了一篇题为“平行宇宙:来自哈佛最疯狂物理学家的新真相”的文章。他在科幻小说上也是疯狂的,因为他是一个十足的科幻小说迷。他甚至跟人合作创立了降临出版公司,出版有关科幻小说批评主义的书籍。

现在,科尔曼又精力旺盛地忙于攻击那些认为科学家在我们的有生之年将不可能证实蛀洞理论的批评家。如果我们相信索恩的蛀洞,那么我们将不得不等到有人发现外来物质或者掌握卡西米尔效应的那一天。在此之前,我们的时间机器没有能把我们发射回过去的“引擎”。与此相类似,如果我们相信霍金的蛀洞,那么为了能在蛀洞之间穿梭往来,我们必须在“虚时间”中旅行。两种方式中的任何一种,对这位平凡的理论物理学家来说都是非常糟糕的。他受到了 20 世纪不充足的、薄弱的技术的挫折,只能梦寐以求获得普朗克能量。

这就是科尔曼的工作所承担的任务。最近,他宣称蛀洞也许在现在(而不是在遥远的不可预见的将来)可能产生明确的、可以测量的结果。如上所述,爱因斯坦方程组认为物体所含的质能决定了它周围的时空曲率。爱因斯坦想知道,空无一物空间的纯真空状态到底有没有能量。纯空没有能量吗?一种叫做宇宙学常量的东西可以测量这种真空能量。原则上,宇宙学常量无法被阻止出现在方程组中。爱因斯坦认为,

这一项在美学上非常难看,但是他不能用物理根据或者数学根据将其抛弃。

20世纪20年代,当爱因斯坦求解他的宇宙方程组时,他懊恼地发现宇宙正在膨胀。当时,流行的看法是,宇宙是静态的、一成不变的。为了使他的方程组能够不出现宇宙膨胀解,爱因斯坦在这个解中加进了一个很小的宇宙学常量,选择它的数值,使它正好抵消膨胀,通过人为的裁决获得一个静态宇宙。1929年,当哈勃最后证明宇宙的确在膨胀的时候,爱因斯坦除去了那个宇宙学常量,说那是“我一生中最大的蠢行”。

今天,我们知道,宇宙学常量非常接近于零。如果存在一个既小且负的宇宙学常量,那么引力将是强吸引的,整个宇宙或许只有几英尺大小。(你只要一伸手就应当能抓住你面前的人。他碰巧就是你自己。)如果宇宙学常量既小且正,那么引力将是排斥的。所有的东西都在快速飞离你,以至于你永远看不到它们发出的光。由于没有恶梦似的剧情发生,因此我们相信宇宙学常量极其小或甚至等于零。

但是在20世纪70年代,当对称破缺在标准模型和大统一理论中被加强研究的时候,这个问题又浮现了出来。每当一种对称被打破,大量的能量就倒进真空。实际上,流进真空能量的量比实验所能观察的量大 10^{100} 倍。在所有物理学中,这 10^{100} 的差别毫无疑问是最大的。在物理学任何地方中,我们从来没有看到过在理论(它预言了每当一种对称被破坏时巨大的真空能量)与实验(它测量出这个宇宙中的宇宙学常量是零)之间有如此大的分歧。这就是科尔曼的蛀洞粉墨登场的地方,那些蛀洞用来抵消对宇宙学常量多余的贡献。

根据霍金的理论,有无穷多个可供选择的宇宙跟我们宇宙共存着,所有的这些宇宙都被一张无限的连锁的蛀洞网连接了起来。科尔曼设法把这一无穷级数的总贡献加起来。当

这个总和求出之后,他得到了一个惊人的结果:宇宙波函数正如人们所预期的那样倾向于有零宇宙学常量。假如宇宙学常量是零,宇宙波函数将变得格外大。这意味着发现零宇宙学常量的宇宙的概率非常高。此外,假如宇宙学常量变成非零,那么宇宙波函数会很快消失。这意味着发现多余的宇宙的概率为零。这恰好用来消除宇宙学常量。换句话说,宇宙学常量就等于零,因为那是最有可能的结果。存在万万亿个平行宇宙所带来的唯一效果,就是保持宇宙学常量在我们宇宙中为零。

因为这个结果相当重要,所以物理学家立即就开始投入到这个领域中。斯坦福大学物理学家萨斯坎德(Leonard Susskind)回忆道:“锡德尼完成了这项工作后,每一个人都跳了起来。”¹³科尔曼用他那典型的顽皮带幽默的方式发表了这个潜在重要的结果。“我不知道流沙已经淹到了我的脖子并且很快就要淹没我。这种情境一直都是可能的,”他写道。¹⁴

消除宇宙学常量到 10^{100} 分之一的可能性小得令人难以想象。科尔曼喜欢把这个问题的重要性强加给听众。“试想,在十年时间里,你不吝惜你的薪水,花掉了上百万美元。最后你把所挣的钱跟你的开销作一比较,发现收支平衡,”他写道。¹⁵因此,他的计算,即证明你能够抵消宇宙学常量到 10^{100} 分之一,是一个相当重要的结果。为了添油加醋,科尔曼强调这些蛀洞还解决了另一个难题:它们有助于确定基本的宇宙学常量的值。科尔曼补充道:“它是一个跟以前被考虑过的任何机制都完全不同的机制。它是在他自己的圈中飞旋的蝙蝠侠。”¹⁶

但是批评也开始出现了。最持久的批评是,他假设蛀洞非常小,只有普朗克长度数量级,他没有对大的蛀洞进行求和。根据批评者的意见,大的蛀洞也应当包含在他的求和中。

但是,由于我们看不到大的、可见的蛀洞,因此他的计算似乎有一个致命的漏洞。

科尔曼对这一批评无所畏惧,用他惯用的方式——为他的文章选取一些耸人听闻的题目——予以回击。为了证明大蛀洞在他的计算中可以被忽略,他以“从巨蛀洞的危险中逃出来”为题写了一篇反驳他的批评者的文章。当被问到关于他的题目时,他回答道:“假如诺贝尔奖颁发给这样的题目,我早就把我所有的题目都收集起来了。”¹⁷

如果科尔曼的纯数学讨论是正确的,那么这些讨论将会很难给出证明蛀洞是所有物理过程重要特征的坚实实验证据,而不仅仅是痴心妄想。它意味着,把我们宇宙跟无穷多个死宇宙连接起来的蛀洞,在阻止我们宇宙把自己包进一个紧致的小球或者阻止它以令人不可思议的速率向外暴胀时,发挥了重要作用。它还意味着,蛀洞是使我们宇宙保持相对稳定的重要特征。

但是就像在普朗克长度上所取得的大多数进展那样,只有到我们更好地理解量子引力,才会获得这些蛀洞方程组最终的解。科尔曼的许多方程组需要一种方法,以去除普遍存在于所有量子引力理论中的无穷大,这意味着要使用超弦理论。特别是,我们或许不得不等到我们能够有把握计算其理论的有限量子修正。这些奇特预言中的许多预言,将不得不等到我们的计算工作能够胜任的时候才会得到证实。

正如我们所强调的,问题主要在理论上。我们尚不具备解决这些明确难题的数学能力。那些方程组在黑板上看着我们,但是现在我们没有办法找到它们的严格的有限解。一旦物理学家们对普朗克能量尺度上的物理有了更好的认识,一个全新的概率宇宙就会从此开始。任何能真正掌握在普朗克长度找到能量的人或者文明,将成为所有基本力的主宰者。

那是我们将要进行的下一个主题。我们预计将在什么时候成为超空间的主宰者呢？

第四篇

超空间的主宰者

第十三章

超越未来

对一种文明来说,100 万年时间意味着什么?在过去的几十年里,我们有了射电望远镜和太空飞船;我们的技术文明也已经有数百年之久。……正如我们超越丛猴或者猕猴那样,一种数百万年之久的先进文明也大大超越了我们。

——萨根

一旦我们揭开了把所有力统一到单一超力的神秘面纱后,我们的愿望是什么?物理学家戴维斯(Paul Davies)曾经对此作了一番议论。他写道:

我们可以改变空间和时间的结构,理清我们对空间和时间的认识,创造有秩序的物质。控制这种超力,将使我们能够随意建立和改变粒子,从而生成奇特的物质形态。或许,我们甚至可以操纵空间本身的维度,创造奇异的具有难以想象性质的人造世界。实际上,我们真应当成为宇宙的君主。¹

什么时候我们能够有希望获取超空间的能量?超空间理论(至少是间接的)的实验验证,或许要等到 21 世纪。但是,操纵(而不仅仅是验证)十维时空(成为“宇宙的君主”)所必需的能量尺度,超出今天的技术许多个世纪。如上所述,巨量的质能对于完成接近奇迹的事件(比如创造蛀洞和改变时间方向)是必要的。

要想成为第十维的主宰者,我们要么在已经积聚到了这些天体能量量级的星系中遇到智慧生命,要么在我们获得这种能力之前已经为此而奋斗了数千年。例如,我们目前的原子对撞机或者粒子加速器可以把粒子的能量提高到1万亿电子伏(一个电子被1万亿伏电压加速后所产生的能量)以上。最大的加速器现在坐落于瑞士日内瓦,由14个欧洲国家组成的一个执委会掌管。但是,在探测超空间所必需的 10^{20} 亿电子伏能量(即比SSC可能产生的能量还要大千万亿倍的能量)之前,这台加速器所产生的能量是微不足道的。

千万亿(1后面跟15个0)或许看起来像一个不可企及的大数字。探测这个难以置信的能量所必需的技术,或许需要数十亿千米长的原子对撞机,或者干脆用一种全新的技术。即使我们把世界上所有国家的全部生产力聚集起来建造一台超级能量对撞机,我们也不能够接近这个能量。驾驭这个量级的能量,乍一看就是一项不可能的工程。

但是如果我们理解技术呈指数型发展,那么这个数字看起来就不像上面所说的大到荒谬的地步。为了理解技术的这种指数型发展到底有多快,设想一个细菌每30分钟分裂成两半。如果它的生长不受限制,那么在几个星期之内,这一个细菌将繁殖成一群细菌,其重量将与整个地球一般大小。

尽管人类在地球这颗行星上大约存在了200万年,但是在最近的200年里才迅速到达现代文明,这可能要归因于科学知识呈指数型增长这一事实。那就是,它的膨胀速率正比于人类已知的知识。我们知道得越多,我们就能够以更快的速度认识更多的事物。例如,自从第二次世界大战以来,我们已积累的知识要比我们在这颗行星上200万年的演化过程中所积累的全部知识还要多。实际上,我们科学家所获得的知识总量大约在每10年到20年里翻一番。

因此,分析我们自己在历史上的发展变得很重要。为了弄清楚技术如何能够呈指数型发展,让我们针对一般人可获得的能量来分析我们自己的进化。这将有助于把利用十维理论所必需的能量放在适当的历史背景中。

文明的指数发展

驾驶一辆 200 马力功率的汽车去乡村度周末,在今天看来再正常不过。但是,对普通人来说,我们在这颗行星上进化的大部分时间里能够获得的能量相当少。

在这段时间里,最基本的能源是我们自己双手的力量,大约是八分之一马力。人们成群地在陆地上游荡,像动物似的结队打猎和找粮糊口,他们所能用的只是他们自己肌肉的能量。从能量观点来看,这种情况仅仅在最近 10 万年里才发生变化。随着手用工具的发明,人类拓展了肢体的功能。矛拓展了他们双臂的能力,棍棒拓展了他们拳头的能力,而刀则拓展了他们下颌的能力。在这个阶段中,他们能量输出翻了一番,大约可达四分之一马力。

大约在过去的 1 万年间,能量输出又一次翻了一番。发生这种变化的主要原因,可能是冰川期的结束。冰川期使人类的发展延误了数千年。

冰川融化后不久,人类发明了农业。随着农业的发明,存在了数十万年由一小群一小群狩猎和采集人群所组成的人类社会也发生变化。居无定所的人群再也不必在平原和森林之间迁徙,而是在稳定的村落中安置下来,在那里他们可以年复一年地收获谷物。随着冰川的融化,动物(例如马和牛)的圈养也开始出现。人所能获得的能量上升到大约 1 马力。

劳动分工随着农民生活分层的开始而出现,一直持续到

社会发生重大变化,即向奴隶社会转变。这意味着,一个人(奴隶主)能够操纵数百个奴隶的能量。能量突然增加,这会造成非人道的残暴,也使得第一批真正的城市成为可能。在城市里,君主们命令他们的奴隶用起重机、杠杆和滑轮为他们自己建堡树碑。因为能量的增加,在沙漠和森林中建造了庙宇、楼塔、金字塔和城市。

从能量观点来看,对于这颗行星上所存在的 99.99% 人来说,我们这个物种的技术水平只比动物高出一筹。人类所能获得的能量超过一马力也仅仅在过去数百年里才实现。

具有决定性的变化发生于工业革命。牛顿发现万有引力定律和运动定律,使得把力学约化成一组明确的方程成为可能。因此,牛顿的经典引力理论在某种意义上为现代机械理论开辟了道路。这有助于使蒸汽机的广泛使用在 19 世纪成为可能。有了蒸汽机,一般人能够操纵数十到数百马力。例如,铁路打开了整个大陆使其走上发展之路,蒸汽船则开辟了现代国际贸易。两者都由用煤燃烧产生的蒸汽能驱动。

人类花费了 10000 年时间才创造出了遍及欧洲的现代文明。有了蒸汽机和内燃机,美国在一个世纪内实现了工业化。因此,仅仅掌握一种基本的自然力,就能极大地增加人类所获取的能量以及不可避免地改变社会。

19 世纪后期,麦克斯韦对电磁力的掌握再一次导致能量上的革命。电磁力使得我们的城市和家庭的电器化成为可能,并且呈指数型地增加了我们机器的多功能性和功率。蒸汽机现在被强有力的发电机所取代。

在过去 50 年里,核力的发现使单个人所能获得的能量增加了 100 万倍。因为化学反应的能量以电子伏来计量,而核裂变和聚变的能量则以百万电子伏来计量,所以我们在所能获得的能量上取得了 100 万倍的增长率。

对人类的能量需求作历史性分析,表明了只占 0.01% 的人类如何胜过动物掌握能量。就在这几个世纪内,我们已经能通过电磁力和核力释放巨大的能量。为了弄清楚我们可以掌握超力,现在我们用相同的方法论离开过去,讨论未来。

一类、二类和三类文明

未来学,或曰从合理的科学判断形成的对未来的预测,是风险科学。其中有些甚至根本不能称之为科学,还有一些更像魔法或者巫术。未来学理所当然获得了这种狼藉声名,因为,未来学家所作出的有关下一个 10 年的每一个“科学”预言,都已被证明不切实际。使未来学变成一门如此原始的科学,是因为我们的大脑以线性方式思维,而知识的发展却呈指数型。例如,未来学家的预测表明,他们是用已知的技术并且简单地将其放大 2 倍或 3 倍去预测未来的。20 世纪 20 年代未来学家在他们所作的预测中预言,在几十年内我们将用巨大的飞艇群载着旅客穿越大西洋。

但是,科学也以不可预料的方式发展着。在短期内,在几年内外推时,科学将在业已存在的技术上通过数量上的稳步改进来发展,这样说当属十拿九稳。但是外推数十年时,我们发现质变在新领域成为主要因素。在新领域里,新产业在出乎意料的地方开辟。

未来学发生错误最著名的例子,或许是冯·诺伊曼(John von Neumann)所作的预测。作为现代电子计算机之父以及本世纪伟大数学家之一,他在战后作了两个预测:第一,将来的计算机将变得又大又贵,只有大的政府机构才能买得起;第二,计算机将能够准确预报天气。

实际上,计算机的发展完全走到了相反方向:便宜的、与

我们的手掌一般大小的微型计算机不难得到。计算机芯片的价格变得很低廉、货量又充足,它们成了某些现代设备的一个集成部分。我们已经有了“灵巧”打字机(文字处理机),最终我们将会“灵巧”吸尘器、“灵巧”厨房、“灵巧”电视等诸如此类的设备。但是,计算机无论多么能干,它预报天气尚不够成功。虽然单个分子的经典运动在原则上可以被预言,但是天气太复杂了,即使某个人打个喷嚏也会产生形变。这种形变波及数千千米并且被放大,最终或许会形成一次飓风。

有了所有这些重要预告,让我们来判断一种文明(我们自己的文明或者外层空间中的一种文明)什么时候才可能获得掌握第十维的能力。前苏联天文学家卡尔达谢夫(Nikolai Kardashev)曾经以下面方式对未来文明进行了分类。

一类文明是控制了整个行星上的能源的那种文明。这种文明能够控制气候,阻止地震,在地壳中采矿,以及在海洋中收割。这种文明已经完成了其在太阳系的探险。

二类文明是控制太阳本身能量的文明。这并不意味着被动地获取太阳能。这种文明开采太阳。这种文明的能量需求如此巨大,它直接消耗太阳能来驱动它的机器。这种文明将开始局部恒星系统的殖民化。

三类文明是控制整个星系的能量的文明。就能源而言,它控制数十亿个恒星系统的能量。它可能掌握了爱因斯坦方程组,能够随意操纵时空。

这种分类的基础相当简单:每一级都是根据所能提供给文明能量的能源来分的。一类文明使用整个行星的能量。二类文明使用整个恒星的能量。三类文明使用整个星系的能量。这种分类忽略了与未来文明的详细特征(它必然是错误的)相关的预言,而集中在被诸如能量供给等物理定律能够予以合理解释的方面。

对比之下,我们的文明可以被归为零类文明。它刚开始开发行星能源,但是还没有技术和办法控制它们。像我们的文明那样的零类文明,从石油和煤这样的矿物燃料中以及(在许多第三世界中)从人的原始劳动力中获得能量。我们最大的计算机甚至都不能预报气候,更不用说让它控制气候了。从这种更大的背景来看我们,我们作为一种文明颇似一个新生儿。

尽管有人或许会猜想,从零类文明到三类文明的漫漫跋涉可能需要数百万年的时间,但是有关这种分类方法的一个异常事实,是这种攀爬呈指数型,因此它比我们原先能够预想的任何情况都要快得多。

在所有这些限制条件下,我们仍然可以就我们文明什么时候到达这些里程碑作出有条理的猜想。已知我们文明发展的速率,我们或许预期能在数个世纪内到达一类状态。

例如,我们零类文明所能获得的最大能源是氢弹。我们的技术太原始,我们只能通过引爆炸弹来释放氢聚变的能量,而不能用一种能量发生器来控制它。但是,一次简单的飓风会产生数百颗氢弹的能量。因此,作为一类文明的一个特征,控制气候离今天的技术至少有一个世纪远。

相似地,一类文明已经占领它的太阳系的大部分地方。对比之下,今天的空间旅行的发展中的里程碑,以数十年的尺度被煞费苦心计算,所以像空间殖民地开拓这样的质的飞跃,必定以世纪来计算。例如,美国航空航天局在火星上进行载人着陆,其最早时间是2020年。因此,火星殖民开拓也许在此以后40年到50年进行,而太阳系殖民开拓在一个世纪内进行。

对比之下,从一类文明向二类文明的转变或许仅仅需要1000年时间。假设文明指数地发展,我们可以预计在1000年

里文明对能量的需求将会变得如此巨大,它必须去开发太阳以给它的机器提供能量。

二类文明的一个典型例子,是在《星际旅行》系列影片中被描述的行星联邦。这种文明刚开始控制引力,也就是掌握了通过蛀洞使时空弯曲的方法,因此它第一次具备了到达邻近恒星的能力。它通过掌握爱因斯坦广义相对论,避开了由光速设置的极限。小的殖民地已经在这些星系中的某些上建成。那艘星际飞船“冒险”号被发誓要保护。那个文明的星际飞船由物质和反物质的碰撞来提供能量。制造高密度的适用于空间旅行的反物质的能力,寄托在距离我们几百年到一千年的那种文明上。

发展到三类文明,也许需要数千年甚至更长时间。实际上,这个时间尺度已被阿西莫夫在他的经典小说《基地系列》中预言了。基地系列描述了一个星系文明的兴盛、衰落和复兴。卷入这些转变中的每一个转变的时间尺度,都包含有数千年时间。这种文明所获得的能源存在于星系自身之中。对它来说,翘曲飞行器成为星系中不同区域间进行贸易和商业活动的标准途径,而不是到附近恒星的一种外来的旅行方式。因此,尽管我们这个物种离开森林这个安全家园、建立一种现代文明共花了200万年时间,但是离开我们所在的太阳系这个安全地方,建立一种星系文明或许只需要数千年时间。

开创三类文明的一个选择,就是获取超新星或者黑洞的能量。这种文明的星际飞船也许还能够探测星系核,那或许是最神秘的所有能量的源泉。天体物理学家已经提出理论:由于星系核的尺度巨大,因此我们的星系中心也许包含了数以百万计的黑洞。如果真是那样的话,实际上这将会提供无限制的能源。

据此,控制比当今能量大千万亿倍的能量应当是可能的。

因此,有了从不计其数的恒星系统,或许还有供三类文明之用的星系核中输出的能量,对三类文明来说,掌握第十维度成为一种现实的可能性。

宇 航 鸡

我曾经跟高等研究院的物理学家戴森一起共进午餐。戴森是物理学界的一位资深人物。他抓住人类所面对的一些最具智力挑战性并能引起兴趣的问题,比如空间探索的新方向,地外生命的特征,以及文明的未来。

戴森与过度局限于狭窄的、明确的专业化领域的其他物理学家不同,他的丰富想象力在银河系漫游。“我不像玻尔或费恩曼那样把我的整个思想集中在一个深奥问题上达数年时间。我对很多不同的方向均感兴趣,”他承认。²他身体单薄,显而易见地充满着生气,使用牛津大学学监的严肃表达方式,说话时带有英国口音。他和我进行了一场长时间的、范围广泛的午餐会谈,触及了许多在这些年里使他入迷的思想。

在考虑我们的文明向一类文明状态转变时,戴森发现我们原先的太空计划被引导到了错误的方向上。现在的趋势朝着更重的有效载荷以及各次太空发射之间的时间间隔变得更长的方向发展,这严重地拖延了太空探索。在他的著作中,他提出了一种彻底偏离这种趋势的方案。这种方案建立在他所称的宇航鸡之上。

宇航鸡体积小、重量轻且智能化,是多功能的太空探测器,它比过去庞大又昂贵的宇航器具有明显的优点,后者早已成为太空探索的一个瓶颈。“宇航鸡称起来将是一千克,而不像‘旅行者’号那样以吨计,”他宣称。“宇航鸡将不用建造,它将会生长,”他补充道,“宇航鸡可能像脑子称起来不超过一克

的蜂鸟一样机敏。”³

利用生物工程中最先进的技术,宇航鸡将成为局部机器人和局部动物兼而有之。它将会很小,但是又有充分的能力探索外层行星,比如天王星和海王星。它将不需要大量的火箭燃料;它将是被培育出来的、被制定程序去“吃”在外行星周围的环上所能找到的冰或者碳氢化合物。它那用遗传工程设计制造的胃,接着将会消化这些材料,使它们转变成化学燃料。一旦它的胃口得到满足,随后它将会发射到下一个卫星或者行星上。

宇航鸡依靠在遗传工程、人工智能以及太阳—电力推进器方面的技术突破。假如在这些领域取得了显著进展,戴森预计宇航鸡的各种技术也许不迟于2016年就能够获得。

对文明的发展作了更大的考察后,戴森还认为,以现在的发展速率,我们也许在几个世纪内可以达到一类文明水平。他认为促使各种不同类型文明发生转变将不会非常困难。他估计,划分不同类型文明时所用的尺度及能量的差别大约是100亿倍。尽管这个倍数看起来像一个巨大的数字,但是以每年1%的缓慢速率发展的文明,可以预计在2500年内使不同类型的文明间发生转变。因此,一种文明能够稳步发展到三类文明水平几乎是有保证的。

戴森写道:“碰巧拥有强烈扩张主义者动机的社会,将在几千年内把它的居住地从单个行星(一类)扩张到占据整个恒星的生物圈(二类),以及在几百万年内从单个恒星扩张到整个星系(三类)。已经超越了二类水平的物种,将免于被甚至是能够想象的最坏的天灾人祸所灭绝。”⁴

但是,也还存在一个问题。戴森认为,从二类文明向三类文明转变或许会遇到难以克服的物理难题,这主要归因于被光速所施加的限制。二类文明的扩张,必然在低于光速的情

形下进行。他觉得这种条件为它的发展设置了严重的限制。

通过探索超空间能量,二类文明将会突破光垒和狭义相对论的束缚吗?戴森不能肯定。他提醒我,除了普朗克长度,别的没有什么可以排除的,因为普朗克长度极其短,在这个距离上需要探测的能量简直难以想象。他觉得,或许普朗克长度是面向所有文明的天然屏障。

外层空间中的三类文明

假如说达到三类状态的漫漫长路对我们自己的文明似乎非常遥远,那么或许有朝一日我们将会遇上地外文明,它为了自身的需要已经利用了超空间,并且愿意跟我们一起分享它的技术。然而,我们所面临的困惑是,我们看不出太空中任何高等文明的迹象,至少看不出那些不在我们太阳系乃至不在我们所在那部分银河系内的文明的迹象。我们的太空探测器,尤其是20世纪70年代在火星上着陆的“海盗”号探测器以及80年代发射到木星、土星、天王星和海王星上的“旅行者”号探测器,都发回了令人失望的信息,表明太阳系是荒凉的、无生命的。

两颗最有希望出现生命的行星——金星和火星——已被证明不存在生命的迹象,更不用说高等文明了。金星以爱神命名,曾经被天文学家和浪漫人士想象成一颗茂盛的热带行星。然而,我们的太空探测器发现它是一颗严酷、荒芜的行星。它的大气层由令人窒息的二氧化碳构成;它的温度超过极热的400摄氏度;它下的是有毒的硫酸雨。

1938年,广播电台广播了韦尔斯(Orson Welles)关于火星人人侵地球的科幻小说,这在美国大萧条时期引起了恐慌。火星甚至在此之前一直是人们猜测的焦点,但是它同样令人

失望。我们知道它是一颗荒芜的、沙化的行星,找不到有表层水的迹象。古代河床和长久消失的海洋,在火星表面留下了清晰的痕迹,但是我们看不到任何文明的废墟或者迹象。

超越我们太阳系,科学家们分析了从邻近恒星上发射出来的无线电波,但是同样毫无结果。戴森强调,由于热力学第二定律,任何高等文明都必定会产生大量废热。它的能量消耗应当是巨大的,其中的小部分废热应当很容易被我们的仪器探测到。因此,戴森宣称,通过扫描邻近恒星,我们的仪器应当能够找到由高等文明产生的、泄露内情的废热“指纹”。但是,不管扫描到太空的哪里,我们都没有看到废热或者来自一类、二类或三类文明的无线电通信的迹象。比如,在我们自己的地球上,我们已经在过去半个世纪内掌握了无线电和电视技术。因此,有一个半径大约为 50 光年且不断扩大的无线电波球,围绕着我们这颗行星。任何距地球 50 光年内的恒星,如果有智慧生命的话,都应当能够探测到我们的存在。同样地,任何二类或三类文明在过去数千年里都应当不断在发送大量的电磁辐射,因此与这颗文明行星的距离在数千光年以内的任何智慧生命,都应当能探测到它的存在。

1978 年,天文学家霍罗威茨(Paul Horowitz)检查了距我们太阳系 80 光年以内所有类似于太阳系的恒星系(总共 185 个),没有发现来自智慧生命的无线电发射迹象。天文学家戈德史密斯(Donald Goldsmith)和欧文(Tobius Owen)于 1979 年报告说,他们搜索了 600 余个恒星系统,但获得的也是否定结果。这种被称为“寻找地外生命”的搜索皆失败了。[令人鼓舞的是,美国国会于 1992 年以极为罕见的科学慷慨拨了 1 亿美元。这笔拨款用于为高分辨率微波测量而建立的一个 10 年计划。此种微波测量将检查邻近恒星系统上是否存在智慧生命。这笔资金将使得位于波多黎各岛阿里西博的口径为

305 米的庞大碟形无线电天线有选择地系统性检查距地球 100 光年的恒星系统成为可能。位于加利福尼亚州戈尔德斯通的口径为 34 米的可移动无线电天线,将辅助它检查部分广阔的夜空。在出现否定结果的数年后,加利福尼亚大学圣克鲁斯分校的天文学家德雷克(Frank Drake)对他们将会找到智慧生命的一些肯定信号表示了谨慎的乐观。他评论说:“许多人类社会通过把好奇心与创造美好生活的努力结合起来,都独立地发展了科学。我认为这些相同的动机亦存在于其他生物中。”]

当我们认识到在我们星系中出现智慧生命的概率大得令人吃惊时,那种困惑更深了。德雷克甚至导出了一个简单的方程式,用于计算我们星系中有智慧生命的行星的数目。

比如,我们的银河系包含有 2000 亿颗恒星。为了给存在智慧生命形式的恒星数目一个大致正确的数字,我们可以作出如下非常粗略的估计。我们保守地认为,这些恒星中的 10% 是酷似太阳的黄恒星;而这些黄恒星中的 10% 有围绕着它们运转的行星,这些行星中的 10% 又有类似于地球那样的行星;这些类似于地球行星中的 10% 有适合生命的大气层;这其中的 10% 有像地球那样的大气层,孕育出了生命形式;而这其中的 10% 又有某种形式的智慧生命。这意味着,我们星系中 2000 亿颗恒星中的百万分之一可能存在某种智慧生命形式。那就是说,数目大得惊人的大约 20 万颗恒星将只有包含某种智慧生命的行星。德雷克方程较为乐观的一组解表明,智慧生命距离我们太阳平均地讲或许有 15 光年。

有了最先进的计算机技术,科学家们已经能够使德雷克最初在信封背面所作的计算更加精确。例如,华盛顿的卡内基研究所的韦瑟里尔(George W. Wetherill)对我们太阳系的早期演化进行了计算机模拟。他从一团围绕着太阳旋转的巨大

的气体—尘埃盘开始模拟。他让计算机去演化该盘,直到小块的岩石物质开始从尘埃中凝聚出来。他惊喜交加地发现,跟地球大小相近的行星很容易从这些岩核中演化出来。实际上,绝大多数时候,地球般大小的行星都会自发地由一块块物质合并而成,这些物质到太阳的距离则为地球与太阳之间距离的80%至130%。(令人感兴趣的是,他也发现,大小如木星而远离太阳的行星之形成,对地球大小的行星之演化起着重要作用。木星大小的行星对清除最终会撞击类地行星、从而使得它上面的原始生命形式灭绝的彗星和碎石群至关重要。韦瑟里尔的计算机模拟表明,如果没有类似木星的行星利用它那巨大的引力拉力把这些彗星清除掉,这些彗星将会以比实际撞击地球的频率高出1000倍的频率撞击地球,每10万年左右就会发生一次毁灭生灵的冲撞。)

因此,概率定律支持星系中存在其他智慧生命是一个令人信服的(但肯定是不严格的)结论。我们星系也许已经有100亿岁,这一事实意味着,有充分的时间使得大量智慧生命形式在星系中繁荣起来。二类和三类文明已经掌握无线电技术数百年到数千年,它们应当发射出很容易被探测到的电磁辐射球面波。这些球面波的半径在数百光年到数千光年。但是,我们在太空中还没有看到智慧生命形式的迹象。

为什么?

科学家已经提出好几个推测性理论,来解释为什么我们还不能探测到距我们行星100光年外的地方智慧生命的踪迹。这些理论没有一个特别令人满意,最终的真理或许是所有这些理论的综合。

一个理论认为,德雷克方程可以告诉我们有多少行星包含智慧生命粗略的概率,但是它不能告诉我们什么时候这些行星发展到这个水平。假如引入天文学时间标度,或许德雷

克方程预言的是在我们之前数百万年存在过,或者在我们之后数百万年将会存在的智慧生命形式。

例如,我们太阳系已存在了大约 45 亿年。地球上开始出现生命也大约有 30 亿到 40 亿年了,但是仅仅在最近的百万年里,智慧生命才在这颗行星上发展起来(并且这一文明只是在过去数十年时间里才建造了能够向外层空间发射信号的无线电台)。但是,100 万年放在数十亿年时间尺度上只是一瞬间。因此,我们有理由假设,数以千计的高等文明在我们遥远的祖先还在森林中之前曾经存在,从那时起已经灭亡,或者数以千计更多的文明将在我们死后经过很长时间后发展起来。无论那种方式,我们都不可能用我们的仪器探测到它们。

第二个理论认为,银河系实际上充满了高级形式的文明,但它们高级到足以避开我们的探测器。我们对它们一无所知,因为它们领先我们数百万年。比如,如果我们在田野里行走时偶然碰到一个蚂蚁群,我们的第一冲动肯定不是去跟蚂蚁联系,求见它们的首领,向着它们眼睛前面的饰物挥手告别,以及向它们赠送空前的繁华和我们的先进技术成果。我们的第一欲望更有可能是视而不见(或许还会踩上一脚)。

这些长期存在的问题使我感到困惑。我问戴森,他是否想过我们将在不久跟地外生命形式进行联络。他的回答相当令我吃惊。他说:“我希望不。”我认为某个对外层空间中的智慧文明思考了数十年的人对真的与它们会面持保留意见是不可思议的。他了解英国历史。无论如何,他必定有恰当的理由不鲁莽地闯入和接受其他文明。英国文明可能只比其他许多文明(比如被英国陆军和海军征服的印度文明和非洲文明)先进数百年时间。

虽然大多数科幻作家抱怨太空探索中由光速所设置的限制,但是戴森有着非正统观点,他认为这或许是一件好事。考

虑到贯穿在我们自己世界历史中频发的血腥的殖民主义历史,他陷入沉思:各种各样的二类文明被遥远距离所隔开,以及普朗克能量不可接近,焉知非福。看到光明面,他风趣地说:“至少人们可以避免征税员。”

不幸的是,两个不平等文明交锋,往往对其中的弱者带来灾难性影响。例如,阿兹特克文明在墨西哥中部地区经过数千年发展已变得非常优秀。在某些领域,它对科学、艺术和技术的掌握能与欧洲成就媲美。但是在火药和战船这个领域,阿兹特克人也许要比西班牙人落后数百年。1521年,400名衣衫褴褛的西班牙殖民者与先进的阿兹特克文明之间的一场意外冲突以悲剧告终。在一个很短的时间里,有着数以百万计人口的阿兹特克人被彻底征服,沦为采矿的奴隶。他们的财富遭到掠夺,他们的历史被抹杀,甚至连伟大的阿兹特克文明那一点点最模糊的记忆也被传教士的传教所抹掉。

我们考虑我们对来自外层空间的访问者会作出何种反应时,读一读阿兹特克人对来自西班牙的访问者有着何种反应,是发人深省的:“他们像猴子似地抢夺金子,脸上发光。显而易见,他们对金子的欲望永不满足;他们渴望金子;他们贪求金子,他们像猪似的想用金子把自己填饱。因此,他们拿起流光的金子,挪动金子据为己有,在他们中间喋喋不休地胡言乱语。”*5

因此,我们也许不应该热衷于接触地外智慧生命。科学家们指出,地球上存在两类动物:一类是像猫、狗和老虎那样的捕食者(它们的眼睛位于脸的前方,因此它们能够凭借立体的视觉瞄准它们的日标);另一类是像兔子和鹿那样的被捕食者(它们的眼睛长在脸的两侧,以便能在360度范围发现捕食者)。通常,捕食者要比被捕食者聪明。试验表明,猫比老鼠聪明,狐狸比兔子聪明。眼睛朝前的人,也是捕食者。当我们在太空中搜寻智慧生命时,我们应当记住,我们所遇上的外星人将有可能也是从捕食者进化而来。

在宇宙尺度上,文明之间的突然碰撞可能还会更富戏剧性。因为我们正在谈论的是天文学时间尺度,所以一种比我们超前 100 万年的文明可能会觉得我们一点也没有意思。此外,我们的行星也几乎不可能为外星人提供大量别的恒星系统不同时拥有的自然资源。

但是在《星际旅行》系列影片中,行星联邦遇上了其他敌对文明,它们恰好跟联邦处在相同的技术发展水平上。这就增加了这个系列片的戏剧性和紧张性,但是这种情况发生的概率真正是天文数字。更有可能的是,我们乘坐星际飞船冒险进入星系时,将会遇上处在非常不同的技术发展水平上的文明,有些文明或许比我们领先成百上千万年。

文明的兴衰

由于我们跟其他文明有数百万年的时间差距,所以我们也也许早已错过了他们,或者其他文明也许认为我们根本不屑一顾。除了这两种可能性外,还存在第三种理论,它比前两种更有意思。它认为数以千计的智慧生命形式的确从沼泽地中产生,但是它们没有能够逃过一系列大灾难,受到了自然灾害和自致灾害两方面的惩罚。假如这种理论是对的,那么或许有朝一日我们星际飞船将会找到遥远行星上古老文明的遗迹,或者更有可能我们文明将会遇上这些大灾难。我们不但没有成为“宇宙的君主”,相反我们也许会走上自我毁灭的道路。因此,我们要问的问题是:先进文明的命运是什么?我们(他们)会活到能够掌握第十维物理学的那一天吗?

文明的兴起并不以技术和知识的稳定而必然的发展为标志。历史告诉我们,文明的产生、成熟和消亡有时候是无轨可循的。在未来,人类也许会打开技术恐怖的潘多拉盒子,这些

技术恐怖从原子弹到二氧化碳,会威胁到我们的生存。一些未来学家非但不鼓吹大同时代要来临,相反他们预言我们可能会面对技术和生态的崩溃。对于未来,他们凭空给出一副人类的恐怖图像,它浓缩成狄更斯(Charles Dickens)小说中可怜的、受到惊吓的斯克鲁奇(Scrooge),他跪在自己的墓地上乞求给他第二次机会。

不幸的是,大多数人基本上都忽视或未意识到面向我们的潜在灾难。一些科学家指出,把人类考虑成单个统一体,它或许可以比作一个挣脱控制猛冲的青少年。例如,心理学家告诉我们,青少年表现出好像不会受到伤害的样子。他们认为,青少年开飞车、酗酒以及吸毒的习性,是渗透在他们生活方式和观点中的无忧无虑莽撞的生动证据。在美国,导致青少年死亡的主要原因不再是疾病而是事故。他们认为他们将会永远活下去,这可能会导致事故发生。

如果那是对的,那么我们正在滥用技术和环境,好像我们将会永远活下去,没有注意到存在于未来的巨大灾难。社会作为一个整体也有“彼得·潘情结”,永远不希望长大,不希望面对由于自己缺少责任心而导致的后果。

为了使我们的讨论具体化,用我们所掌握的知识,我们可以确定几个在我们真能成为第十维的主宰之前的漫长时期中必须要跨越的屏障。它们是铀障、生态崩溃、新冰川期、天文上近距离相遇、复仇女神和生物灭绝以及太阳和银河系灭亡。

铀 障

谢尔(Jonathan Schell)在其划时代的小说《地球的命运》中指出,我们已经多么危险地接近共同毁灭。虽然最近苏联的解体使得大规模削减武器成为可能,但是目前世界上仍然存

在着 50 000 枚战术和战略核武器,还配有相当准确的用于发射它们的火箭。人类已经最终掌握了彻底毁灭自己的可能性。

假如在核战争中公开发射导弹,但是我们没有被全部摧毁,那么我们仍有可能在核冬天导致的极度痛苦中死亡。在核冬天中,燃烧着的城市产生的烟和灰慢慢挡住了生命赖以生存的所有阳光。计算机研究表明,当量为 1 亿吨的核爆炸会在城市中造成巨大的火灾,它足以有效地遮蔽大气层。随着温度的急剧下降,农作物欠收,城市封冻,最后残剩的那一点文明将像蜡烛似地熄灭。

核扩散最终加剧了危险。美国情报部门估计,印度在 1974 年爆炸了其第一颗原子弹之后,现在已经贮备了大约 20 颗原子弹。这些资料宣称,他们的主要敌人巴基斯坦已经在其卡哈塔核工厂制造了 4 颗原子弹,其中有一颗的重量还不到 400 磅。在地处内盖夫沙漠的以色列迪莫纳核安装厂工作的一位原子工人宣称,他在那里看到了足以制造 200 颗原子弹的材料。南非已经承认它制造了 7 颗原子弹,显而易见,它在 20 世纪 70 年代末在其海域外试验了 2 颗原子弹。美国间谍卫星“船帆座”号捕捉到了原子弹的“指纹”,那是指南非海城外有以色列潜艇的西北地方出现的右旋占位,准确无误的

铀元素具有维持链式反应和释放贮存在其原子核内巨大能量的奇妙性质。有了主宰铀元素的能力,我们就有了把自己这个物种从贫困、愚昧和饥饿中解放出来的能力,或者用核爆炸把我们这颗行星毁灭的能力。但是,铀元素的能量只有在智慧物种达到作为零类文明的特定发展水平时才能被释放出来。它依赖于其团结社会单位的大小及其工业发展的状况。

例如,火可以被一个由智慧个体组成的孤立群体(例如一个部落)所利用。熔炼和原始冶金技术,对制造武器来说是必需的。它们要求有更大的社会单位,也许要由数以千计的个体(例如一个小村庄)组成。内燃机(例如汽车引擎)的发展,要求有复杂的化学基础和工业基础的发展。后两者仅仅由数以百万计的个体(例如一个国家)组成的团结社会单位就可以完成。

铀元素的发现,打破了团结社会单位的缓慢、稳步的壮大与其技术发展之间的这种平衡。核能的释放,一下子以100万倍的比例使化学爆炸相形见绌,但是能够利用内燃机的同一个国家,也能够提纯铀。因此,当这个假想文明的社会发展仍旧固定在敌对国家的形式下,一种严重的不融洽就此产生。随着铀的发现,用于故意损害和破坏的技术在发展速度上突然超越了社会关系的缓慢发展。

所以,我们可以得出一个很自然的结论:零类文明产生于我们银河系过去50亿年到100亿年历史中的无数偶然机会,但是它们最终无一例外发现了铀。如果一个文明的技术能力超越了它的社会发展,那么随着敌对国家的产生,这个文明在很久以前一场核战争中自毁的可能性是很大的。⁶令人遗憾的是,假如我们活得足够长以至于能够到达银河系中我们所在区域的邻近恒星上,我们或许会看到为数众多的已故文明的灰烬,它们用核弹解决了民族感情、个人嫉妒和种族仇恨。

正如帕格尔斯所言，

对我们的文明的挑战，必然会碰到道德秩序和政治秩序的建立。这种文明产生于我们对供给恒星燃料支持其燃烧的宇宙能量，光和电子通过物质的运动，以及作为生命之生物基础的复杂分子秩序的认识。道德秩序和政治秩序则将协调这些力量，否则我们将被摧毁。这种挑战将考验我们最深处的理智和情感之源。⁷

因此，看来在我们的星系中先进文明曾在许多偶然时候产生，但它们都没有跨越铀障，尤其是如果它们的技术超越了它们的社会发展。

例如，如果我们在一张图上画出无线电技术的产生，那么我们将会看到，在智慧物种发现如何掌握电磁力和核力之前，我们的行星已经演化了50亿年。但是，如果我们在一场核战争中毁灭了我们自己，那么这条线将变成一个尖峰并且回到零。因此，为了能和某个先进文明交流，我们必须在这个文明自我毁灭之前精确地寻找恰当的时代，精度要求达到数十年。存在一个几乎看不见的小“窗口”，透过它，我们可以跟另一个活着的文明在其自毁之前接触。在图13.1中，我们看到了整个星系中外星文明的产生，它们用一系列峰线表示。每一根峰线代表了一种文明迅速兴起，以及由核战争导致的甚至更为迅速的衰落。因此，在太空中搜寻智慧生命可能是一项艰巨的工作。也许在过去数十亿年里已有了成千上万的峰线，数以千计的行星在自毁之前掌握了无线电技术。不幸的是，每一个峰线都发生在不同的宇宙时间。

生态崩溃

假如一种零类文明能够掌握铀，它在核战争中没有毁灭

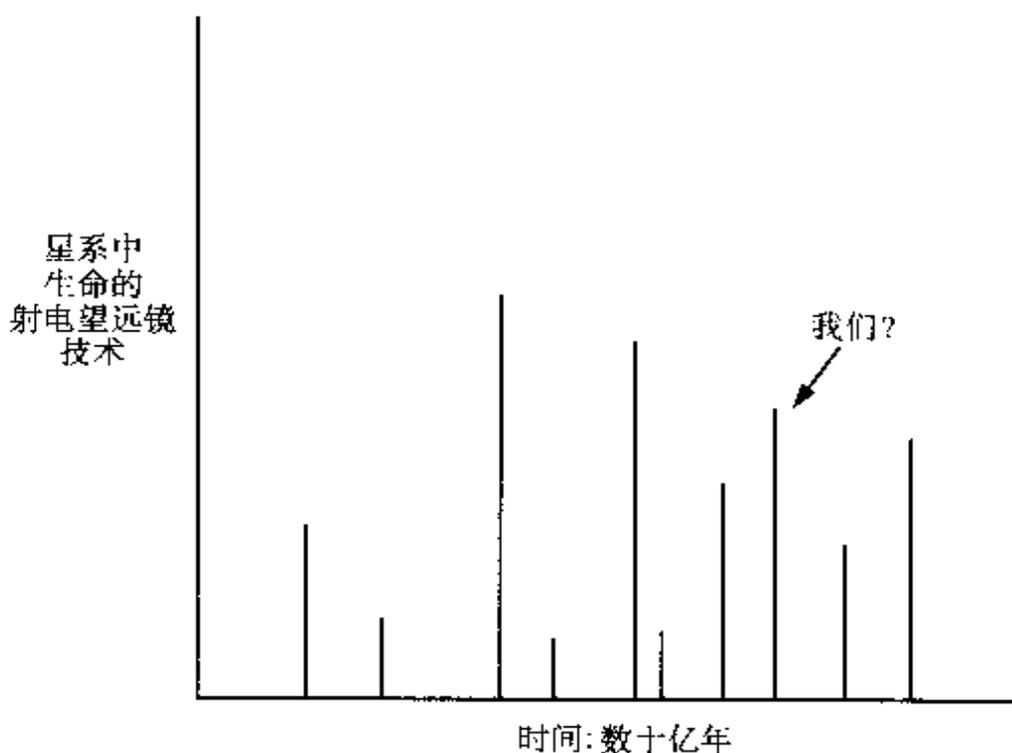


图 13.1 我们为什么没有看到银河系中的其他智慧生命? 能够制造射电望远镜的智慧生命形式或许在过去的数百万年里繁荣昌盛,但是它们在核战争中毁灭了。我们的星系可能曾经出现过大量的智慧生命,但是它们中的绝大多数或许已经死亡。我们的文明将会有不同的命运吗?

自己,那么下一个屏障就是生态崩溃的可能性。

我们回忆那个早先举的单个细菌的例子,它频繁地分裂,最终可能会超过地球这颗行星的重量。但是事实上我们没有在地球上看到巨大的细菌团——实际上细菌群落通常情况下甚至不会长到一枚硬币那样大小。放置在装满营养物质的碟子中的实验室细菌,确实将会指数地生长,但是它们最终会死掉,因为它们产生了太多的废物,耗尽了食物供给。这些细菌群落实质上在它们自己的废物中窒息而死。

像细菌群落一样,我们或许也会耗尽我们的能源,而淹死

在我们不断产生的废物之中。我们的海洋和大气不是无限的,而是地球表面的极薄的一层。零类文明在其达到一类文明水平之前,其人口或许会膨胀到数十亿,这会造成资源紧张,使污染问题恶化。最迫在眉睫的危险之一,是以二氧化碳形式损害大气层,二氧化碳吸收阳光、使世界平均温度上升,可能会引起无法控制的温室效应。

自1958年以来,大气中二氧化碳的含量已经增加了25%,其中绝大多数来自石油和煤的燃烧(45%的二氧化碳来自美国和前苏联)。这转而加速了地球平均温度升高。从1880年开始,世界平均温度上升0.5摄氏度几乎花了一个世纪。但是现在平均温度几乎每10年上升0.3摄氏度。气温的这种加速上升将转化为海水的上涨。到2050年,海水将上涨1~4英尺,它会淹没像孟加拉国这样的国家,使洛杉矶和曼哈顿那样的地方被淹。甚至更为严重的是,将会造成美国中西部粮食欠收,加速沙漠扩张,以及热带雨林破坏。这些反过来又加剧温室效应。饥荒和经济崩溃将会在全球范围内蔓延。

过失在于一种不协调的全球性政策。污染发生在遍布整个行星的数以百万计的个体工厂中,但是控制这种无节制污染的权力又属于一种全球性政策,而制订这样的政策即使不是不可能,那也是很困难的。如果团结社会单位是为数仅以亿计的国家,那么上述权力尚可加强。在短期内,这或许意味着采取紧急政策和急剧削减内燃机及煤和石油的燃烧。生活水平也会下降。它意味着发展中国家增加了困难,即必须找到便宜的能源。但是,从长远来看,我们的社会也许会被迫采取三种可能的解决办法之一,它们都不会放出二氧化碳,基本上用之不竭。它们是太阳能、核聚变发电厂和再生核燃料反应堆。其中,太阳能和核聚变最有希望。核聚变电力(使海水

中找到的氢原子聚变)和太阳能虽然离实际应用还有数十年时间,但是它们应当能为以后的数个世纪提供大量能量,直到社会转变到一类文明。

过失再一次存在于技术超越社会发展的现实之中。只要污染由独立的国家所制造,而纠正这种状况所必需的措施又是全球性的,那么造成灾难的致命的不协调性依然存在。在解决这种不协调性以前,对零类文明来说,铀障和生态崩溃将会作为威胁生命的灾难存在下去。

但是,一旦文明通过了零类水平,就会有相当大的乐观余地。达到一类文明,要求全球范围的社会协作上升到显著的水平。建立在数以千万计到数以亿计个体数量级上的大集团,对利用铀、内燃机和化学能源来说是必需的。但是,建立在数以十亿计的个体数量级上的巨大集团,对利用全球能源来说才可能是真正必需的。因此,一类文明的社会组织非常复杂和相当先进,否则技术不可能得到发展。

按照定义,一类文明需要一个由全行星人口组成的团结社会单位。由于它的这个特点,一类文明必定是一种全球性文明。在一个较小的范围内,它是不能正常运作的。

在某种意义上,这可以比作分娩。对孩子来说,最危险的时期是其生命的最初几个月。那时,向外部有潜在敌意的环境转变,是对孩子生命极为严峻的考验。在生命的第一年过后,死亡率急剧下降。与此相似,文明最为危险的时期,是它具有核能力后的最初几个世纪。结果或许就是,文明一旦建立起一个全球性政治体系,那么最坏的时期也就过去了。

新冰川期

没有人知道是什么导致了持续数以万年到数以十万年计

时间的冰川期。一种理论认为,冰川期由地球自转时的细微变化所致。这种变化太小,甚至在数个世纪的时间里还观察不到它。这些微小的效应,在经过数十万年后显而易见会积累到引起流经两极的急流发生轻微变化。最终,这些急流被改变了方向,把极冷的极地气团送到越来越远的南方,导致全球气温急剧下降,直到冰川期开始。冰川期极大地破坏了地球的生态,毁灭了大量的哺乳动物生命形式,或许还把人类一群一群隔离在不同的大陆上,或许还造成了各种各样的种族。冰川期对生态的破坏相对说来是不远的现象。

遗憾的是,我们的计算机还太原始,甚至连预报明天的天气都做不到,更不用说下一个冰川期袭来的时候了。例如,计算机现在正进入第五代。我们有时会忘记,不管第四代计算机有多么大或多么复杂,在一个时刻它只能将两个数相加。这是刚开始由第五代计算机(拥有可以同时完成数个操作的并行处理器)来解决的一个巨大瓶颈。

我们的文明(如果它成功超越了铀障和生态崩溃)有了控制气候的能力,在数百年内达到一类文明水平是非常可能的。假如在下一个冰川期发生之前人类达到了一类文明或者更高文明水平,就有充分理由相信冰川期将不会摧毁人类。人类或者改变气候阻止冰川期出现,或者干脆离开地球。

天文学上的近距离相遇

在数千年到数百万年的时间尺度上,零类文明和一类文明不得不担心小行星的碰撞和邻近的超新星。

只是在这个世纪内,有了精确的天文测量,地球轨道截过许多小行星轨道才被搞清楚。这种轨道相交使得地球与小行星擦身而过的概率大得令人不安。(对零类文明或一类文明

来说,阻止直接碰撞的一种办法是发射载有氢弹的火箭,去阻止或打偏距离地球还有上亿千米远的小行星。这种方法实际上是国际上大批科学家提出的。)

这种擦身而过的发生频率,要比大多数人认为的大得多。最近的一次发生在1993年1月3日,实际上已由美国航空航天局天文学家借助雷达照了下来。小行星“陶泰蒂斯”(Tou-tatis)的照片显示它有两个岩核组成,每一个的直径都约为3千米。它在距地球这颗行星约350万千米的范围内出现。1989年3月23日,一颗直径约为0.8千米的小行星在离地球更近的地方掠过,此距离大约为110万千米(大约为地球到月球距离的3倍)。

实际上,1992年底,科学家又宣布一颗巨大的彗星也许就在2126年8月14日这一天将撞上地球,也许它会结束这颗行星上的所有生命。哈佛—史密森天体物理中心天文学家马斯顿(Brian Marsden)估计直接碰撞的概率为一万分之一。斯威夫特-塔特尔彗星(以两名美国天文学家的姓氏命名,他们在南北战争期间首先定出其准确的位置)不久就被媒体取了个“末日石”的绰号。旋即被解雇的核武器物理学家(或许以谋私利方式)指出,他们应该获准去建造巨大的氢弹,以便在末日来临之际把它炸成碎片。

斯威夫特-塔特尔彗星的碎块早已撞到了地球上。它每130年绕着太阳转一整圈,脱落了相当数量的碎片,因此在外层空间中制造了一条流星和粒子“河”。当地球穿过这条河时,我们会看到每年都出现的英仙座流星雨,它常常用天体烟火照亮天空。(我们还应当指出,预报彗星与地球的擦身而过是一项冒险工作。因为太阳辐射的热量导致彗星冰冻的表面不规则地蒸发,像数以千计的小爆竹那样劈劈啪啪爆炸,所以它的轨道会发生轻微的但是重要的畸变。令人毫不吃惊的

是,马斯顿在几个星期后收回了他的预言,因为它是不正确的。“我们在下一个千年里是安全的,”马斯顿承认道。)

美国航空航天局的一个研究小组在1991年1月估计,大约有1 000颗到4 000颗直径0.8千米的小行星穿越地球轨道,它们足以对人类文明造成威胁。但是,这些较大的小行星中只有大约150颗被雷达充分地跟踪。此外,估计还有大约300 000颗直径至少100米的小行星穿过地球轨道。不幸的是,科学家们几乎不知道这些较小的小行星中任何一颗的轨道。

1967年冬,当我还是哈佛大学高年级学生时,我个人偶然亲身遇到了一个地外物体。我宿舍中的一位密友在哈佛大学天文台有一项兼职工作,他告诉我一个紧紧保守着的秘密:那里的天文学家探测到一颗直径有好几千米的巨大的小行星,直奔地球这颗行星而来。此外,虽然因为时间太早而不清楚,但是他告诉我,他们的计算机已经作了计算,它可能在1968年6月,即我们毕业的时候撞击地球。一颗那样大的天体将会使全世界地壳爆裂,喷出数以十亿吨计的熔化岩浆,引发巨大的地震和潮汐。几个月过去后,我一再得到那颗末日小行星行程的新版本。在天文台工作的那些天文学家,显而易见在谨慎地避免引起由这条信息所致的过度恐慌。

20年后,我彻底忘记了有关那颗小行星的一切,直到我浏览到有关小行星擦身而过的一篇文章。果然,从这篇文章中可以了解到1968年的小行星。显而易见,这颗小行星大约从离地球160万千米处经过。

比小行星碰撞更加罕见但更加壮观的是超新星在地球附近爆炸。一颗超新星会释放出巨大的能量,比数以千亿计的恒星所放出的能量总和还要大,直到最终它发出的光比整个星系本身还要亮。它产生一场X射线暴,它们将足以在附近

任意恒星系统中导致严重的扰动。就是在最小的情况下,附近的一颗超新星也会产生巨大的电磁脉冲,它与外层空间爆炸的一颗氢弹所释放的电磁脉冲相似。X射线暴最终会撞击我们大气层,把电子从原子中打出来;电子随后会以螺旋形运动方式穿越地球磁场,产生巨大的电场。这些电场足以封锁成百上千千米之内的所有电器和通信设备,造成混乱和恐慌。在大规模核战争中,电磁脉冲将足以毁灭或毁坏在整个有地球人口的广大地区的任何电器。实际上最为糟糕的是,超新星在恒星系统附近爆发也许足以摧毁所有的生命。

天文学家萨根推测,可能就是这样一个事件毁灭了恐龙:

如果距离太阳系 10 光年或 20 光年的地方在 6500 万年前某个时候碰巧有一颗超新星,它向太空放出致密的宇宙射线流。这些射线中的一些进入了包裹地球的大气层,使得大气层中的氮气燃烧,因此产生氧化氮。氧化氮会把大气层中的臭氧保护层清除掉,增大地球表面上太阳紫外辐射的量,使许多未能很好地得到保护以避开致密紫外光的生物倍受煎熬,发生变异。

不幸的是,超新星在其爆炸之前不会发出任何警告。超新星爆发非常迅速,它的辐射以光速传播,因此一类文明不得不快速逃跑到外层空间。文明唯一的预防措施是谨慎地监视那些处在现有超新星边界的邻近恒星。

复仇女神灭绝因素

1980 年,加利福尼亚大学伯克利分校已故阿尔瓦雷斯(Luis Alvarez)、他的儿子沃特(Walter)以及阿萨罗(Frank Asaro)和米歇尔(Helen Michel)提出,一颗彗星或小行星在 6500 万年前撞击了地球,从而引发了大气的巨大扰动,正是

这个扰动导致恐龙的突然灭绝。通过检验被 6500 万年前的河床掩埋的岩石地层,他们能够断定其中存在着含量异常大的铱。铱在地球上很少被找到,但在地外天体(如流星)中经常被发现。这个理论似乎相当有理,因为一颗直径为 9 千米的彗星以大约每秒 32 千米的速度(比飞行的子弹快 10 倍)撞击地球,将会产生 1 亿个百万吨级梯恩梯炸药(或者全世界总核武器库的 10 000 倍)所能产生的威力。它将会造成一个直径约 100 千米、深约 30 千米的撞击坑,放出大量的碎片,足以在一段长久的时间里遮蔽所有的阳光。当温度急剧下降时,这颗行星上大量的物种被消灭或使其严重减员。

实际上,科学家在 1992 年宣布,他们已经确定一个杀死恐龙的强有力的彗星或小行星候选者。在墨西哥的尤卡坦靠近齐克休鲁伯村的地方,有一个直径为 176 千米的巨大撞击坑,这早已众所周知。1981 年,地球物理学家和墨西哥国立石油公司告诉地质学家,他们偶然发现了重力和磁力的奇异点,这一点上它们是环形。然而,只是在阿尔瓦雷茨的理论变得广为人知后,地质学家才主动去分析那引起巨大灾变的冲撞的遗迹。氩 39 确定放射性年代方法已表明,尤卡坦撞击坑的年龄是 (64.98 ± 0.05) 百万年。给人更加深刻印象的是,还发现在墨西哥、海地甚至在佛罗里达,地上铺着一层小的、像玻璃似的碎片。它们被叫做玻璃陨石,可能是一些硅酸盐,由于这颗巨大的小行星或者彗星的冲撞而玻璃化了。这些像玻璃似的玻璃陨石可以在第三纪和白垩纪之间掩埋起来的沉积物中找到。对 5 种不同的玻璃陨石样品所作的分析表明,它们的平均年龄是 (65.07 ± 0.10) 百万年。假如这些独立的测量是精确的,那么地质学家现在为杀死恐龙的小行星或者彗星找到了确凿证据。

但是,地球上生命令人吃惊的特征之一是:恐龙的灭绝只

是几次已被完全证实的大灭绝之一。其他的大灭绝,要比结束了6500万年前白垩纪的那次灭绝糟糕得多。例如,结束了二叠纪的那场大灭绝在2.5亿年前毁灭了足足96%的所有植物物种和动物物种。曾经作为地球上主要生命形式控制着海洋的三叶虫,在这场大灭绝过程中神秘地突然灭亡了。实际上,过去总共发生过5次动物和植物生命大灭绝。假如在一次大灭绝中包含了没有被完全证实的大灭绝,那么模式显而易见:每2600万年左右发生一次大灭绝。古生物学家劳普(David Raup)和塞普科斯基(John Sepkoski)已经证明,如果我们画出任何给定时候地球上已知物种数目,那么这张图上地球生命形式的数目每2600万年呈现为一条陡峭的下降线,就像一副时钟机构。这可以用扩展到10次循环,总共可回溯到2.6亿年前(有2次循环不包括在内)。

在6500万年前白垩纪末的一次灭绝循环中,绝大多数恐龙被消灭。在另一次发生于3500万年前始新世末的灭绝循环中,陆地上的许多哺乳动物物种被毁灭。但是对此所怀的中心困惑是:究竟是什么具有2600万年的循环时间?对生物学、地质学或者甚至于天文学数据的搜寻表明,没有什么具有2600万年的循环时间。

伯克利的马勒(Richard Muller)已从理论上论证,我们的太阳实际上是一个双星系统的组成部分,而我们的姊妹恒星(被称做涅米西斯——复仇女神或者死亡之星)对地球上生命的周期性灭绝负责。他假设我们太阳有一颗大质量的看不见的伴星,它绕太阳每2600万年转动一周。当它经过奥尔特云(据信存在于冥王星轨道之外的彗星云)时,它会随身带来讨厌的彗星崩落物,其中的一些会撞到地球上,从而产生足够多的碎片把抵达地球表面的阳光阻挡住。

这种不寻常理论的实验证据,来源于过去的与每一个灭

绝循环的末期相对应的地质层中包含了极其大量的铱元素。由于铱在地外流星中被天然发现,所以这些铱痕迹就可能是由复仇女神送落下来的彗星残余物。目前,我们在灭绝循环的半途中。这意味着,如果复仇女神存在,那么它处在其轨道的最远点(可能有几光年远)上。在它下次到达之前,我们还有 1000 万年左右的时间。*

值得庆幸的是,等到来自奥尔特云轨道的彗星再一次迅速经过太阳系的时候,我们已经到达三类文明的水平。这意味着,我们不仅征服了邻近恒星,而且征服了穿越时空的旅行。

太阳之死

科学家们有时想知道,在我们死了很久以后,我们躯体上的原子最终将会怎样。最大的可能性是,我们的分子最终回归于太阳。

我们的太阳是一颗正届中年的恒星。它大约有 50 亿岁了,并可能保持为黄色恒星再达 50 亿年之久。然而,当我们的太阳耗尽了它的氢燃料补给后,它将燃烧氦,极大地膨胀成一颗红巨星。它的大气层将会迅速向外膨胀,最终扩展到火星轨道,地球轨道将完全处在太阳大气层中,因此地球将被太阳极高的温度点燃。组成我们躯体的分子——实际上就是组成地球自身的分子,将被太阳大气层所消耗掉。

* 还有一种理论可以解释这种巨大时间尺度上的周期性灭绝。它是我们太阳系环绕银河系运行的轨道。太阳系实质上在其环绕银河系的轨道上时而上升到银河系平面之上,时而又下降到银河系平面之下,非常类似于马戏团中的旋转木马。当它周期性地沉浮并因此而穿越银河系平面时,太阳系可能会碰到大量的尘埃,这些尘埃会干扰奥尔特云,击落彗星苞子。

萨根描绘了下面这幅图画：

从现在开始数十亿年，将是地球上最后的美好日子。……北冰洋和大西洋的冰帽将会融化，使全世界之海滨泛滥。高的洋温将释放更多的水蒸气到空中，增加了多云状态，遮挡住照到地球上的阳光，最后会稍稍推迟美好日子的结束。但太阳演变是不可阻挡的。最终，海洋将会沸腾，大气将会逃逸到太空，最为巨大的灾难将会突然袭击我们这颗行星。⁸

因此，对于那些希望知道地球将在冰中还是在火中被毁灭的人来说，物理学家实际上给出了一个明确的答案。地球将在火中被毁灭。但是，如果我们在那段很长的时间里幸存下来，那么我们人类远远逃离太阳系是非常有可能的。那时会出现大量有关我们太阳死亡的警告信息，这跟超新星不一样。

银河系之死

在数十亿年时间尺度上，我们必须面对我们栖居其中的银河系将会死亡的事实。更准确地讲，我们居住在银河系的“猎户旋臂”上。当我们凝视夜空，觉得点缀在天空中的数目巨大的星灯使我们显得非常渺小的时候，我们实质上只看到了位于猎户旋臂上的极小一部分恒星。激发世世代代情人和诗人的数以百万计的恒星，只占猎户旋臂的很小一部分。银河系中其余的 2000 亿颗恒星位于非常遥远的地方，它们像一根截断夜空的模糊带状物勉强可以被我们看见。

离我们最近的近邻星系是仙女座星系，它比我们自己的星系大 2 到 3 倍，离银河系约 200 万光年。这两个星系以每秒 125 千米的速度相向疾驶，应当在 50 亿年到 100 亿年之间

碰撞。正如加利福尼亚大学圣克鲁兹分校天文学家赫恩奎斯特(Lars Hernquist)所说的,这种碰撞将“和被敌方接管相似。我们的银河系将被消耗和摧毁掉。”⁹

当从外层空间观察仙女座星系时,它看起来将要跟银河系碰撞,然后慢慢地吸收银河系。对碰撞星系的计算机模拟表明,较大星系的引力拉曳将会缓慢压倒较小星系的引力场,在旋转数周之后,较小的星系将被吞噬掉,但是,由于银河系中的恒星被空荡荡的广阔空间所分开,因此恒星之间碰撞次数将相当低,每个世纪只有数次的量级。所以,我们的太阳在一段很长的时间里或许可以避免直接碰撞。

最根本的是,在数十亿年这个时间尺度上,我们有着致命得多的命运,即宇宙自身的死亡。聪明的智慧生命形式会设法制造太空方舟,以逃避大多数天灾,但是当太空自身就是我们最坏的敌人时,我们如何才能躲避宇宙之死呢?

阿兹台克人相信,当太阳有朝一日从天空坠下来时,世界末日就到了。他们预言“当地球变得累了的时候……,当地球的种子用尽了的时候”,这一天就会到来。太空中的恒星将会被摇落。

也许他们接近了真理。

有人可能希望,到太阳开始忽隐忽现的时候,人类早就已经离开太阳系前往其他恒星了。(实际上,在阿西莫夫的《基地》系列中,我们原先的恒星系统的位置已经失却数千年了。)然而无法避免的是,当太空中所有恒星的核燃料都耗尽的时候,它们都将忽隐忽现。在数百亿年至数千亿年的时间尺度上,我们正面临着宇宙自身的死亡。宇宙要么是开放的,在这种情况下,它将永远膨胀下去,直到温度逐渐接近绝对零度;宇宙要么是封闭的,在这种情况下膨胀将会被逆转,宇宙将会死于一个剧烈的大坍聚。甚至对于三类文明来说,这对它的

存在也构成了一种令人胆战心惊的威胁。掌握超空间,能把文明从它的最终灾难(即宇宙之死)中解救出来吗?

第十四章

宇宙的命运

有人说世界将在火中灭亡。

有人说在冰中。

从我体验到的欲望出发。

我赞同偏爱火的那些人。

——弗罗斯特

它到它完结时才完结。

——贝拉(Yogi Berra)

如上所述,地球上的或者外层空间的文明的技术发展能否达到利用超空间的能量,部分依赖于它能否成功越过零类文明的一系列典型的灾难。当文明的技术发展远远超越了它在解决地区冲突上的社会和政治成熟程度时,其危险阶段是核时代开始后的头数百年。

文明达到三类水平的时候,它将会取得一个先进到足以避免自我毁灭的全球性社会结构,以及一种强大到足以避免像冰川期或者太阳坍缩那样的生态灾难或者自然灾害的技术。然而,甚至是三类文明也将难以避免最终的灾难:宇宙自身的灭亡。连三类文明星船中最强大最复杂的那艘也将不能逃脱宇宙的这种最终命运。

宇宙自身必将灭亡,19世纪的科学家就已知道。当达尔文意识到这个深奥而又令人沮丧的事实时,他在《自传》中极度痛苦地写道:“假如像我认为的那样,人在遥远的未来将会

成为比现在更加完美得多的生物,那么人和其他所有有知觉能力的生命在经历了这样持久、缓慢的进步后注定彻底灭绝,是一种难以容忍的思想。”¹

数学家和哲学家罗素写道,人类最终要灭绝是“彻底绝望”的起因。在科学家所写的最令人沮丧的篇章之一中,罗素写道:

人是各种起因的产物,这些起因对它们正在走向末日毫无预见性;他的出生、成长、希望和恐惧、爱以及信仰,都不过是原子偶然聚集的结果,火、英雄主义、强烈的思想或感情都不能永生不死;这个时代所有劳动,所有专心,所有灵感,人类智慧在最辉煌时候的所有光芒,都注定要在太阳系的莫大死亡中灭绝;还有,人类成就的整个殿堂必不可免埋在宇宙瓦砾的废墟之下——所有这些虽然远没有摆脱争论,但还是如此近乎肯定,没有反对它们的哲学能够有望成立。只有在这些事实的框架内,只有在彻底绝望的牢固基础上,才能安全地建造灵魂的家园。²

罗素于1923年(空间旅行到来前数十年)写下这段话。太阳系的死亡赫然耸现在他的思想,即物理学定律的一个严肃结论之中。由于受到他那个时代的有限技术的制约,这一结论看来不可避免。自那个时候开始,我们已经获得了许多有关恒星演化的知识,知道太阳最终将成为一颗红巨星,且将在核火中消灭地球。但是,我们也明白了空间旅行的基础。在罗素时代,就是那种把人送到月球或者行星上去的巨船思想,也被普遍视为疯子的臆想。但是,随着技术指数地发展,对太阳系死亡的展望,正如我们已经看到的那样,不再是一件令人恐惧的事情。到我们的太阳变成红色巨物的时候,人类或者早已化成了核尘埃,或者在恒星中找到了它的合适居所。

把罗素的“彻底绝望”从我们太阳系的死亡推广到整个宇

宙的死亡,还是件简单的事情。在那种结局中,显然没有太空方舟能把人类运出危险的境地。结论看起来是无法拒绝的;物理学预言,所有的智慧生命形式,不管有多么先进,在宇宙自身死亡的时候都终将灭亡。

根据爱因斯坦广义相对论,宇宙不是在一片“宇宙呜咽声”中不断膨胀下去,宇宙温度将接近绝对零度,就是将收缩成一个剧烈的坍缩,即大坍聚。宇宙终将死于“冰”中或将死于“火”中,前者对应于开放宇宙,后者对应于封闭宇宙。无论哪种方式,三类文明注定因为温度将趋于绝对零度或无穷大而灭亡。

为了弄清楚等待我们的是什么样的命运,宇宙学家用爱因斯坦方程组计算了宇宙中的质能总量。因为在爱因斯坦方程中质量决定了时空弯曲程度,所以为了确定有没有足够的质能使引力将原始大爆炸的宇宙膨胀反转过来,我们必须知道宇宙的平均质量密度。

平均质量密度的临界值,决定宇宙及其中所有生命的最终命运。如果宇宙平均密度小于 10^{-26} 千克每立方米,相当于10毫克物质分散在地球体积中,那么宇宙将继续膨胀下去,直到变成一个一片荒凉、没有生命的空间。但是,如果平均密度大于这个临界值,那么就有足够的质量使宇宙的引力反转大爆炸,并且经受大坍聚的剧烈温度。

现在,实验状况是令人困惑的。天文学家有几种测量星系质量从而测量宇宙质量的方法。第一种方法是计算星系中恒星的数目,然后用每个恒星的平均质量去乘那个数目。用这种麻烦的方法完成的计算,显示平均密度小于临界值,宇宙将继续不停地膨胀下去。与这种计算有关的问题,是它忽略了不发光的物质(例如,尘埃云、黑洞和冷矮星)。

还有第二种方法可以用来完成这种计算,那就是利用牛

顿定律。牛顿用月球绕着地球转动所花的时间,估算出了月球和地球的质量。用相同的方法,通过计算恒星绕星系转动所花的时间,天文学家就能用牛顿定律估算出星系的总质量。

问题是,这两种计算方法所给出的结果不一致。实际上,科学家知道星系中超过90%的质量以隐藏的、无法探测到的“丢失质量”或者“暗物质”形式存在,它们虽然不发光但是有重量。即使我们把不发光星际气体的质量的近似值包含进来,牛顿定律所预言的星系质量还是要远远大于用统计恒星数目方法进行计算所得到的值。

只有当天文学家解决了这种丢失质量或暗物质问题后,我们才能解决宇宙是否将会收缩并坍缩成一个火球或者永远膨胀下去的问题。

熵 寂

现在暂时假设宇宙的平均密度小于临界值。由于质能内容决定时空曲率,因此我们发现没有足够的质能使宇宙重新坍缩。这将会无穷无尽地膨胀,直到它的温度几乎接近绝对零度。这个过程使熵(熵衡量宇宙中总的混乱度或者随机度)增加。最终,宇宙死于熵寂。

英国物理学家、天文学家金斯爵士称宇宙最终的死亡为“热寂”,他早在本世纪之交就写道:“热力学第二定律预示宇宙的结局只能有一个——‘热寂’。在‘热寂’中,温度低得足以使生命不可能生存。”³

要理解熵寂如何发生,要紧的是弄明白热力学三定律。这三个定律支配地球上和恒星中一切化学和原子核过程。英国科学家兼作家斯诺(C. P. Snow)用一种雅致方法记忆这三条定律:

1. 你不可能赢(也就是说,你不可能无中生有,因为质能守恒)。
2. 你不可能不盈不亏(你不可能回到相同的能量状态,因为无序度总是在增大;熵也总是在增大)。
3. 你不可能退出比赛(因为绝对零度无法达到)。

对宇宙之死来说,最重要的是第二定律,它认为任何过程都必定在宇宙总的无序度(熵)中创造一个净增加值。第二定律确实是我们日常生活的组成部分。例如,考虑把奶油倒进一杯咖啡。有序(分开的一杯奶油和一杯咖啡)自然地转变为无序(奶油和咖啡的一种随机混合物)。但是,逆转熵(把有序从无序中提取出来)极其困难。“分解”这些液体回到一杯奶油和一杯咖啡的分离状态,在没有一个精心设计的化学实验室的情况下是不可能做到的。一支点燃着的香烟可以使一个空房间充满缕缕烟雾,增加了那个房间中的熵。有序(烟草和纸)又变成了无序(烟雾和炭)。逆转熵,也就是迫使烟雾回到香烟,使炭回到没有燃烧过的烟草,即使在这颗行星上有最精巧的化学实验室,也不可能实现。

类似地,人人都知道破坏要比建设容易。建一幢房子也许要花上一年的时间,但是一把火烧毁它只需一个小时左右。从游动的一帮一帮狩猎者转变到在整个墨西哥和中美洲繁荣并且为其诸神建造了高耸纪念碑的伟大的阿兹特克文明,花了大约 5000 年时间。但是科特斯(Cortez)和征服者只花了几个月就毁灭了那个文明。

跟在我们行星上一样,熵在恒星中无情增长着。这最终意味着恒星将会耗尽它们的核燃料并且死亡,变成核物质的死质量。随着恒星一个接一个停止发光,宇宙将会变黑。

假定我们对星系演化的认识,我们可以画出一张相当忧郁的宇宙怎样死亡的绘景。随着所有恒星的核反应堆关闭,

它们将在 10^{24} 年内变成黑洞、中子星或者冷矮星(取决于它们的质量)。当恒星在结合能曲线上下滑时,熵增加直到聚变它们的核燃料提取不出更多的能量。宇宙中所有质子和中子,在 10^{32} 年里都有可能衰变。根据大统一理论,质子和中子在巨大的时间尺度上是不稳定的。这意味着最终所有的物质,包括我们所知道的地球和太阳系,都将分解为较小的粒子,例如电子和中子。因此,智慧生命将不得不面对令人不快的可能性,即他们身体中质子和中子,将会蜕变。智慧生命不再由熟悉的 100 个化学元素组成,这些元素在极长的时间里不稳定。智慧生命将不得不寻找创造新躯体的方法,这些新躯体由能量、电子和中微子组成。

经过长远得难以置信的 10^{100} (一个古戈尔)年后,宇宙温度将接近绝对零度。在这凄凉的未来,智慧生命将面临着灭绝的前景。不可能栖身于邻近恒星上去,因为它们也将冻死。但甚至在温度接近绝对零度、孤寂寒冷的宇宙中,还残存着最后一点忽隐忽现的能量:黑洞。根据霍金的理论,黑洞不是完全黑的,而是在一段持久的时间里缓慢地向外层空间泄漏能量。

在这遥远的未来,黑洞可能成为“生命维护者”,因为它们慢慢地向外蒸发能量。智慧生命聚居在这些黑洞的附近,提取来自黑洞的能量,以保护他们的机器正常运作。像发抖的无家可归者挤在一堆火势越来越小的火堆旁那样,智慧文明将被迫迁移到紧靠黑洞的可怜、悲惨的边缘地区。⁴

但是,我们可能要问, 10^{100} 年后当蒸发的黑洞耗尽了它们的大部分能量时会怎么样?苏塞克斯大学天文学家巴罗(John D. Barrow)和加利福尼亚大学伯克利分校天文学家西尔克(Joseph Silk)告诫说,这个问题在当今知识下或许根本就没有答案。例如,在那种时间尺度下,量子理论使我们宇宙“隧

穿”到另一个宇宙的可能性是有的。

这类事件的概率极其微小；人们将不得不等待比我们现在宇宙的寿命还要长的时间间隔，才能看到它们发生，因此，我们不必担心在我们一生中实在会突然坍塌，随之产生一套新的物理定律。但是，在 10^{100} 年的时间尺度上，这类稀有宇宙量子事件不再能被排除掉。

巴罗和西尔克补充道：“哪里有量子理论，哪里就有希望。我们永远不能完全肯定这种宇宙热寂将会发生，因为我们也永远不能完全肯定地预言量子力学宇宙的未来；因为在一个无限的量子未来，可能发生的任何事最终都必将发生。”⁵

通过高维逃跑

如果宇宙平均密度太小，那么“宇宙呜咽声”就是等待着我们的凄凉命运。现在假设平均密度比临界值大。这意味着膨胀过程将在数百亿年里收缩，宇宙将在火中而不是冰中终结。

在这种方案中，宇宙中有足够的物质从而也有足够强大的引力拉曳使得膨胀停止，然后宇宙开始缓慢地重新坍塌，把相距遥远的星系又带到了一起。星光将从“红移”变为“蓝移”，表明恒星迅速地相互靠拢。温度将再一次上升到天文学极限。最终，热将会变得充分大，把所有物质都蒸发成气体。

智慧生命将会发现，他们行星上的海洋沸腾了，他们大气层变成了一个火炉。当他们的行星开始崩溃时，他们将被迫乘巨型火箭逃跑到外层空间。

然而，甚至外层空间这个避难所也证明不适于居住。温度将最终超过能使原子稳定的那个温度点，电子将挣脱原子核的束缚被剥离出来形成等离子体（像在我们的太阳中发现

的那样)。在这个温度点上,智慧生命可能不得不在他们的太空船外面制造一个巨大的防护罩,用他们所能输出的全部能量来阻止他们的防护罩在强热中瓦解。

当温度继续升高时,原子核中的质子和中子将被剥离出来。质子和中子它们自身最终将分解成夸克。像在黑洞中那样,大坍塌将毁灭一切。无一物幸免。因此,不用说智慧生命,即使普通物质能在这场剧烈大崩溃中幸存下来似乎也不大可能。

然而,有一种逃跑是可能的。如果所有时空在坍塌进一场剧烈灾变中,那么逃离大坍塌的唯一方法,就是离开空间和时间——通过超空间逃离。这种方法可能不像听起来那样可行。卡鲁查-克莱因完成的计算机计算和超弦理论表明,在宇宙创生后的瞬间,四维宇宙以牺牲六维宇宙为代价膨胀。因此,四维和六维两种宇宙的最终命运是有联系的。

假设这种基本绘景是正确的,那么随着我们自己的四维宇宙坍塌,我们的六维孪生宇宙可能在继续膨胀。在我们的宇宙收缩到无之前的瞬间,智慧生命可能会意识到那个六维宇宙此时正是开放的,可能找到一个办法去利用那个事实。

维际旅行如今是不可能的,因为我们的姊妹宇宙已经收缩到了普朗克尺度。但是,在坍塌的最后阶段,我们的姊妹宇宙可能是开放的,使得维际旅行再一次变得可能。如果这个姊妹宇宙膨胀得足够大,那么质能可能逃进去,使得聪明机智到能够计算出时空动力学的任何智慧生命的逃跑计划可能实现。

已故哥伦比亚大学物理学家范伯格对这种通过额外维度逃离极度压缩的宇宙的长长的连续镜头进行了推测:

现在,这不过是一个科学幻想情节。但是,假如所存在的维度比我们所知道的还要多,或者除了我们居住的

四维时空外还存在其他的四维时空,那么我认为很可能存在提供它们之间连接的物理现象。如果智慧生命在这个宇宙存留下来,那么在比大坍聚前的数十亿年短得多的时间里,它将查明:对这种推测是否有什么可以利用的地方,如果有,那么又如何利用它。这似乎是合乎道理的。⁶

移居宇宙

几乎所有研究宇宙死亡的科学家,从罗素到现在的宇宙学家,都认为智慧生命在面对无法逃避的、痛苦的宇宙之死时几乎毫无希望。甚至于智慧生命可以通过超空间隧穿从而逃避大坍聚的理论也认为,直到坍缩的最终时刻为止,智慧生命一直是被动的牺牲品。

但是,苏塞克斯大学物理学家巴罗和图伦大学物理学家蒂普勒,在他们合著的书《人存宇宙原理》中,抛开了传统知识,得出了截然相反的结论:智慧生命,在经过数十亿年的进化后,将在我们宇宙的最后时刻扮演主动的角色。他们的非正统观点认为,技术在发展了数十亿年后将继续指数地提高,不断与现有技术成比例加速发展。智慧生命移居的恒星系统越多,他们就能移居更多的恒星系统。巴罗和蒂普勒认为,经过数十亿年后,智慧生命将彻底移居绝大部分的可见宇宙。但是他们又是保守的;他们认为智慧生命将不会掌握超空间旅行的技术。他们只是假设,他们的火箭将以接近光速的速度飞行。

他们这个方案应当被严肃对待,有以下几个理由。首先,以近光速飞行的火箭(比如说,由使用了大功率激光束的光子引擎推动)可能要花上数百年才能到达遥远的恒星系统。但

是巴罗和蒂普勒认为,智慧生命将会在数十亿年里繁荣、成长,这段时间足以使他们甚至用亚光速火箭也能移居他们自己的以及邻近的星系。

在没有假设有超空间旅行的情况下,巴罗和蒂普勒指出,智慧生命将以近光速发射数以百万计的小型“冯·诺伊曼探测器”,到星系中去寻找适合移居的恒星系统。冯·诺伊曼这位第二次世界大战期间在普林斯顿大学研制第一台电子计算机的数学天才,严格地证明能自编程、自修复以及甚至能创造自身复制品的机器人或者自动机能够被建造出来。因此,巴罗和蒂普勒提出,冯·诺伊曼探测器将基本上与它们创造者无关地发挥作用。这些小型探测器将与目前的“海盗”号探测器和“先驱者”号探测器那一代探测器截然不同。后者是被动的、被预先设计好程序的机器,它们听从主人即人类的指令。冯·诺伊曼探测器将与戴森的宇航鸡相似,但是要强大得多和聪明得多。它们将进入新的恒星系统,在行星上着陆,从岩石中提取适当的化学物质和金属物质。然后,它们将创建一个小型工厂,它能制造许许多多它们自己的复制品。从这些基地出发,更多的冯·诺伊曼探测器将被发射出去探索更多的恒星系统。

这些探测器是自编程自动机,因此它们不需要来自母行星的指令;它们将完全靠自己去探索数以百万计的恒星系统,仅仅在用无线电波周期性地发回它们的发现时才暂停。数以百万计的这些冯·诺伊曼探测器分散在星系中,当它们“吃”和“消化”每颗行星上的化学物质时创造数以百万计它们自己的复制品。在这种情况下,一种智慧文明将能节省浪费在探索毫无意义的恒星系统上的时间。(巴罗和蒂普勒甚至考虑过来自遥远文明的冯·诺伊曼探测器早已进入我们自己的太阳系的可能性。或许,在《2001:空间奥德赛》中其特征被神秘描

绘的庞然大物就是一个冯·诺伊曼探测器。)

例如,在《星际旅行》系列影片中,恒星联邦对其他恒星系统的探索是相当原始的。探索过程完全依靠为数不多的星际飞船上的人所掌握的技能。尽管这个剧本可能有利于引起人们感兴趣的戏剧性效果,但是假如对可能不适合于生命的行星系统的数目巨大,那么它是一个非常没有效率的星系探索方法。尽管冯·诺伊曼探测器可能没有进行柯克船长或者皮卡德船长和他们的船员们的有趣探险,但是它们更加适合于作星系探索。

巴罗和蒂普勒所作的第二个假设对他们的论证至关重要。那就是:宇宙的膨胀最终将慢下来,并在数百亿年后使自己倒转。在宇宙的收缩期,星系之间的距离将会减小,使得智慧生命继续移居星系变得容易得多。当宇宙的收缩加快时,移居邻近星系的速度也将加快,直到全部宇宙最终都被移居为止。

即使巴罗和蒂普勒假设智慧生命将移居到整个宇宙中,他们还是没有解释智慧生命怎样才能经受住由宇宙的最后坍塌所产生的令人难以置信的高温和高压。他们承认,由收缩期产生的热量将是巨大的,足以使任何现存的生命蒸发,但是它们制造的机器人是充分抗热的,能够经受得住坍塌的最终时刻。

再生大爆炸

沿着这些思路,阿西莫夫已推测出智慧生命对宇宙最终的死亡是怎样反应的。在“最后一个问题”中,阿西莫夫问了那个古老的问题:宇宙是否必然死亡,以及当我们到达世界末日时所有的智慧生命将会怎样。但是阿西莫夫认为,当恒星

停止燃烧氢，温度骤然下降到绝对零度时，宇宙将死于冰中而不是火中。

故事发生在 2061 年。那时，巨型计算机已经通过设计太空中庞大的可以把太阳能发射回地球的太阳卫星，解决了地球的能量问题。模拟计算机非常巨大和先进，以至于它的技术专家对它如何运行只有最模糊的思想。两个喝醉的技术专家用 5 美元打赌，问计算机，太阳最终的死亡是否可以避免，或者就此而言，宇宙是否必然死亡。在静静地仔细思考了这个问题后，模拟计算机回答道：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

进入未来后的数个世纪，模拟计算机解决了超空间旅行这个难题，人类开始移居数以千计的恒星系统。模拟计算机大得在每一颗行星上都占据数百平方英里的面积，它复杂得进行自我维修和服务。一个年轻的家庭正在迅速穿越超空间，它由模拟计算机毫无偏差引导着搜寻新的恒星系统去移居。当父亲因为某种原因意识到这些恒星最终肯定会死亡时，孩子们变得歇斯底里。“不要让这些恒星死，”孩子们恳求道。为了使孩子们平静下来，他问模拟计算机，嫡是否可以被逆转。父亲读着模拟计算机的反应，向孩子们保证道，“看，它能够解决每一件事。他安慰孩子们说，“当那个时刻到来的时候，它会照顾好每一件事，因此用不着担心。”他没有告诉孩子们，模拟计算机实际打印出来的是：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

在未来的数千年后，星系本身已被移居。模拟计算机解决了不朽性难题，利用了星系的能量，但是它必须找到新的星系供移居之用。模拟计算机非常复杂，等到有人弄明白它在这一点上如何工作，那时候这一点早就过去很久了。它不断重新设计和改进它自己的电路。星系理事会的两个会员，每

一个都有数百岁了,他们争论这样一个紧迫问题寻找新的星系能源,搞清楚宇宙本身是否正走向死亡。熵可以被逆转吗?他们问。模拟计算机的回答是:数据不够充分,无法获得有意义上的答案。

在未来的数百万年后,人类已经分散到了宇宙的无数星系中。模拟计算机已经解决了使心智脱离躯体的难题。人的心智自由探索数以百万计星系的广阔空间,而他们的躯体安全存放在一些被长久遗忘的行星上。两个心智在外层空间中偶然相遇,由于某种原因它们想弄清楚在无数的星系中人类发源于何处。模拟计算机现在如此巨大,它的绝大部分不得不安放在超空间中,通过把答案遥远地传输到一个昏暗的星系上的办法回答问题。它们令人失望。这个星系像数以百万计的其他星系一样非常普通,而那颗原始的恒星已死了很久。这两个心智都变得很忧虑,因为太空中数以十亿计的恒星都正在缓慢地遭遇相同的命运。这两个心智问,宇宙本身的死亡可以避免吗?模拟计算机在超空间回答:数据不够充分,无法获得有意义上的答案。

在未来的数十亿年后,人类由万亿亿亿亿个不死的躯体组成,每一个躯体都与一台自动机有关。人类的集体心智凭自己的意愿自由漫游到宇宙任何地方,最终融合成单个心智,而这单个心智反过去又和模拟计算机自己融合在一起。问模拟计算机它由什么组成或者它到底放在超空间中的什么地方,都不再有意义了。“宇宙正奄奄一息,”人类共同认为。当恒星和星系一个接一个停止产生能量时,整个宇宙的温度趋于绝对零度。人类绝望地问,寒冷和黑暗缓慢地吞噬星系是否意味着宇宙最终死亡。模拟计算机在超空间回答:数据不够充分,无法获得有意义上的答案。

当人类请模拟计算机收集必要的的数据时,它作出响应:我

将会去做这件事。我已经做了一千亿年。我的前辈就这个问题已经问了许多次了。我所拥有的全部数据仍旧不充分。

一个无始无终的时间间隔过去了,宇宙最后抵达其终极死亡。在超空间中,模拟计算机永远在收集数据,沉思着这最后的问题。最终,即使不再有人作出回答,模拟计算机还是发现了这个解。它细心编制了一个程序,然后开始了逆转“混沌”的过程。这个过程收集冷的星际气体,使死星聚到一起,直到一个巨大的球产生为止。

当模拟计算机完成了这件事后,随后它在超空间大吼一声:让那里有光!

于是就有了光——

第七天,“他”安息了。

第十五章

结 语

已知是有限的,未知是无限的;我们理智地站在无边无际的未知海洋之中的一个小岛上。我们人每一代的职责是多开拓一点陆地。

——赫胥黎(Thomas H. Huxley)

自然界在其最基本的层次上比任何人所想的都要简单,这一认识或许就是过去一个世纪物理学中意义最为深远的发现。虽然十维理论的数学复杂性猛涨到使人茫然的高度,并且在这个过程中开创了新的数学领域,但是向前推动统一的基础概念(比如高维空间和弦)基本上是简单的几何概念。

尽管现在就说引入高维时空理论,比如超弦和卡鲁查-克莱因型理论,是一个伟大的概念革命,还为时过早,但是将来的科学史家在回顾混乱的 20 世纪时或许会这样认为。正如哥白尼用他的一系列同心圆简化太阳系并且废黜了地球在天体中的中心地位一样,十维理论有希望极大地简化自然规律并且废黜这个熟悉的三维世界。我们已经看到,极其重要的认识在于,世界的三维描述(比如标准模型)“太小”,它不能把所有基本自然力统一到一个无所不包理论中去。人为将四种基本力硬塞进一个三维理论,会形成一种丑陋的、不自然的并且极不正确的自然描述。

因此,过去 10 年里,统治理论物理学的主流已经认识到,物理学基本定律在高维中表现得更为简单,所有物理定律似

乎都可以被统一到十维之中。这些理论允许我们用一种简洁的、精致的方式简化庞大的信息量。这种方式统一了 20 世纪两个最伟大的理论：量子理论和广义相对论。十维理论是物理学和科学的未来，自然中还原论与整体论间的争论，物理学、数学、宗教与哲学之间的美学关系，也许现在正是探讨这些论题含意的时候。

十维与实验

伴随着任何伟大理论的诞生，人们被卷进激动和混乱之中。此时有一种忘记了所有理论最终都必须接受实验这块基石检验的倾向。不管一个理论看起来可能有多么精致或者漂亮，但是假如它跟实际不一致，那它就被判了死刑。

歌德(Goethe)曾经写道：“教条是灰色的，而生命之树常青。”历史反复证明了他那敏锐观察力的正确性。有许多旧的错误理论的例子，它们只是由于愚蠢而出身名门的科学家们的威望的支持，而顽固存留了一些年。有时，反对僵化的、资深的科学家甚至变成了政治冒险。这些理论中有许多仅在一些判定性实验揭露了它们的错误后就被废除了。

例如，由于亥姆霍兹在 19 世纪德国有名望和相当的影响力，因此他的电磁学理论在科学家中比麦克斯韦相对不出名的理论要流行得多。但是，不管亥姆霍兹有多么出名，实验最终却证实了麦克斯韦的理论，把亥姆霍兹的理论降到次要地位。与此相类似，当爱因斯坦提出他的相对论时，纳粹德国许多有政治权力的科学家，如诺贝尔奖得主勒纳(Philip Lenard)之流，都迫害他，直到 1933 年他被逐出柏林。因此，勤垦者的工作在任何学科(特别在物理学)中都由实验家们完成，他们必定使理论家变得诚实。

魏斯科普夫是麻省理工学院的理论物理学家。他观察到有三类物理学家即机器制造者(制造使实验变得可行的原子对撞机)、实验家(设计和进行实验)以及理论家(提出解释实验的理论)时,曾经总结了理论科学和实验科学之间的关系。他接着把这三类人比作哥伦布发现美洲大陆的那次航海。他观察到,

机器制造者对应于船长和造船者,他们实际上在那个时代发展了技术。实验家就是船上的那些船员,他们航行到世界的另一边,然后跳上那些新岛屿,立即把他们所看到的记下来。理论物理学家是那些呆在马德里告诉哥伦布他将在印度登陆的人。¹

但是,如果物理定律在十维中被统一起来仅仅是在能力上远远超越了在我们现在技术下所具有的能力,那么实验物理学的未来就处在危险境地。过去,每新一代原子对撞机都产生了新一代理论。这个阶段将可能结束。

假如超导超级对撞机到2000年左右能运行的话,虽然每个人都预料会有令人吃惊的事情发生,但是有些人正在打赌:它只不过会再次证实我们当今的标准模型是正确的。最有可能的是,将证明或否证十维理论正确性的判定性实验不能在不久的将来的任何时候完成。我们可能正在进入一段长长的干旱期,在那里,十维理论研究将变成一种纯数学练习。所有理论都从实验中导出它们的能力和力量,实验就像肥沃的土壤,一旦开花的植物扎下根,它能够营养和维持开花植物的田地。如果土壤变得贫瘠、干燥,那么这些植物将随之枯萎。

格罗斯是杂优弦理论创造者之一,他把物理学的发展比作两位登山者之间的关系:

过去常常是这样:当我们正在攀登这座自然之山的时候,实验家将领路。我们懒散的理论家拉在后面。他

们偶尔会踢下一块从我们头上弹开的实验石。最终我们将会获得这种思想,我们将沿着被实验家开辟了的那条路。……但是现在,我们理论家可能不得不领路。这是一种非常寂寞的事业。过去,我们总是知道实验家在哪里,因此我们应当瞄准什么。现在,我们对山有多大和顶峰在何处一无所知。

虽然在开创新领域时实验家在传统上一直走在前面,但是物理学的下一个新纪元可能异常困难,它迫使理论家像格罗斯写的那样起领导作用。

超导超级对撞机可能会发现新的粒子。希格斯粒子可能被发现,或者夸克的“超”配偶子可能会被揭示,或者夸克下面的亚层可能会被揭穿。但是,如果这个理论继续有效,那么束缚这些粒子的基本力将是相同的。我们可能会看到超导超级对撞机产生的更加复杂的杨-米尔斯场,但是这些场代表的可能只是越来越大的对称群,而这些对称群代表的是甚至还要大的由弦理论产生的 $E(8) \times E(8)$ 对称性的碎片。

在某种意义上,理论和实验之间这种不安稳关系的来源在于,这个理论如威滕所指出的,“21世纪物理学碰巧掉进了20世纪”。² 因为理论和实验之间的自然辩证关系在1968年被这个理论的偶然发现所破坏,或许我们必须等到21世纪,到那时,我们期待着有希望开创新一代原子对撞机、宇宙射线计数器以及深层空间探测器的新技术出现。或许这是我们为违禁“预映”21世纪物理学所必须付出的代价。或许到那时,通过间接手段,在我们的实验室里我们借助实验可以看到第十维的微弱光芒。

十维与哲学:还原论与整体论

任何伟大的理论都同样会对技术和哲学基础产生深远影

响。广义相对论的诞生开创了天文学研究的新领域,实际上创立了宇宙学这门学科。大爆炸的哲学意义已经在整个哲学界和神学界中发出回响。数年以前,这甚至导致了头面宇宙学家在梵蒂冈与一位特殊听众罗马教皇讨论大爆炸理论对《圣经》和《创世记》的影响。

类似地,量子理论使亚原子粒子的科学诞生,促进了电子学的现行革命。晶体管这个现代技术社会的支柱,是一个纯量子力学器件。海森伯不确定性原理已对自由意志与决定论之争产生了同样深远的影响,影响了教会在罪孽和赎罪上的角色的宗教教义。天主教会和长老会在宿命论的争论结果上有着巨大的意识形态利害关系,但两者都已受到量子力学这场争论的影响。尽管十维理论的含义还不清楚,但是我们最终期望,物理世界正在萌发的这场革命在这个理论变得为大多数人所能理解时,将会产生类似的意义深远的影响。

但是,一般情况下,大多数物理学家对于谈论哲学感到不舒服。他们是最大的实用主义者。他们不是通过计谋和意识形态而是通过尝试和敏锐的猜想偶然发现物理定律的。年轻的物理学家进行着最大限度的研究工作,他们忙于发现新理论而没有浪费时间去进行哲学讨论。如果年长的物理学家花太多的时间在显贵的政策委员会中任职,或者在科学哲学上大放厥词,年轻的物理学家实际上会对他们不以为然。

大多数物理学家觉得,除了“真”和“美”的模糊看法外,哲学没有权利闯入他们的私人领地。通常情况下,他们认为,实在总是证明比任何先人之见的哲学复杂得多和微妙得多。他们使我们想起科学上的一些著名人物。在他们的衰退期,他们持一些走向死胡同,令人为难的异端哲学思想。

当面临棘手的哲学问题(比如“意识”在量子测量过程中的作用)时,大多数的物理学家耸耸肩膀。只要他们能够计算

实验的结果,就不在乎它的哲学意义。事实上,费恩曼几乎把设法揭露某些哲学家的浮夸虚伪当成一种职业。他认为,他们的修辞吹捧得越高,词汇用得越显博学,那么他们的论证的科学基础就越薄弱。(当争论物理学和哲学两者的相对功绩谁大谁小时,我有时会想起分析过两者之间差异的一所不知名大学的校长写的笔记。他写道:“为什么你们物理学家常常需要那么昂贵的设备?数学系除了花钱买纸、铅笔和废纸篓外什么都不需要。而哲学系还要更好,它甚至连废纸篓都不需要。”³⁾

然而,尽管一般科学家不操心哲学问题,但是最伟大的科学家还是会受到哲学问题的困扰。爱因斯坦、海森伯和玻尔长期进行热烈讨论,在他们的工作中思考着测量的意义、意识问题以及概率的意义直至深夜。因此,询问高维理论怎样去考虑这种哲学冲突(特别是考虑“还原论”和“整体论”之间的争论)是合理的。

帕格尔斯曾说:“对于我们的实际经历,我们是激昂的。我们大多数人把我们的希望和恐惧投射到宇宙。”⁴⁾因此,哲学问题(甚至个人问题)不可避免闯入到关于高维理论的讨论中。物理学上高维理论的复兴将不可避免重新点燃在过去10年里时热时冷的“还原论”与“整体论”之间的争论。

《韦氏大学词典》把还原论定义成一种“把复杂的数据或现象简化为简单术语的过程或者理论”。这是亚原子物理学的指导哲学之一。亚原子物理学把原子和原子核还原成它们的基本组成部分。实验现象的成功,比如用于解释许许多多亚原子粒子性质的标准模型在实验上的成功,表明寻找物质的基本构件是有价值的。

《韦氏大学词典》把整体论定义为“决定性因素(特别是现存自然界中的决定性因素)是不可还原的整体的理论”。这种

哲学认为,把事物打碎成它们的组成部分的西方哲学过分简单化,可能失去包含至关重要信息的更大图景。例如,考虑一个蚂蚁群,它包含了众多遵守复杂的、能动的社会行为准则的蚂蚁。问题是:搞清楚蚂蚁群行为的最好方法是什么?还原论者会把蚂蚁打碎成它们的组成要素:有机分子。但是,在不去寻找蚂蚁群怎样行为最简单线索的情况下,一个人光解剖蚂蚁和分析蚂蚁分子的构造,就可能要花掉数以百年计的时间。显而易见的方法是,把蚂蚁群当作一个完整的整体而不打碎它来分析它的行为。

类似地,这种争论激发了脑研究和人工智能领域内的大争论。还原论者方法是把大脑还原为它的最终单元即脑细胞,然后设法用这些脑细胞组装成大脑。人工智能一个学派认为,通过创造元数字电路,我们能够建造越来越复杂的电路,直到我们创造人工智能。虽然这个学派沿着现代数字计算机这条思路,通过模仿“智能”而于20世纪50年代获得了初步的成功。但是它证明是令人失望的,因为它甚至连模仿大脑的最简单功能(比如认出相片中的图样)都不能做到。

第二个学派设法采取一种更加整体的方法对待大脑。它试图确定大脑的功能,建立把大脑视为整体的模型。虽然这已经证明起初非常困难,但是它有很大前途,因为某些我们想当然的脑功能(比如对容忍错误、权衡不确定性以及建立不同对象之间的创造性联系),从一开始就被建造在这个系统内。例如,神经网络理论就利用这种有机方法的某些方面。

这场还原论—整体论之争的每一方,都贬低对方。在他们相互揭穿对方的狂热图谋中,他们有时只会削弱自己。他们经常相互揭老底,却不亮出彼此的主要观点。

这种争论中最近的曲解,是还原论者在过去的几年宣布战胜了整体论者。最近,在大众传媒上由还原论者刮起了一

阵风,即标准模型和大统一理论的成功,证明把自然界还原成更小更基本的组成要素是正确的。通过往下探测基本夸克、轻子以及杨-米尔斯场,物理学家们最终已经分离出所有物质的基本组成要素。例如,弗吉尼亚大学物理学家特雷菲尔(James S. Trefil)在“还原论的胜利”一文中猛烈抨击整体论:

在 20 世纪 60 年代和 70 年代,当粒子世界的复杂性正在用一个接一个的实验弄清楚时,一些物理学家打破了还原论哲学的信念,开始从西方传统之外寻找指引。例如,卡普拉(Fritjof Capra)在《物理学之道》中指出,还原论哲学已经失败,采取一种更加整体和神秘的自然观的时候到了。……[然而,]70 年代可能被认为是这样一个时期,在这个时期中,西方科学思想的伟大传统似乎受到了 20 世纪科学进步的危害,但是它们已经被完全证明是正确的。可以推断,这种认识将很快从小群理论物理学家中渗透出去,逐渐被融合进我们的常识之中。⁵

但是,整体论的信徒们扭转了这场争论。他们宣称,统一的思想可能是所有物理学主题中最伟大的主题,它是整体论思想而不是还原论思想。他们指出,还原论者在爱因斯坦一生的最后岁月中时常怎样在他背后偷偷笑他,说他正变得老态龙钟,妄想统一世界上的所有力。物理学中统一方案的发现,是爱因斯坦而不是还原论者倡导的思想。此外,还原论者不能为薛定谔猫佯谬提供令人信服的解答,表明对于更深层的哲学问题,他们只是选择不予理睬的解决方式。还原论者可能已经在量子场论和标准模型上取得了巨大的成功,但是那些成功最终都建筑在沙滩之上,因为量子理论终究是一个不完备的理论。

当然,双方都有优点。每一方都只不过是谈论一个难题的不同方面而已。但是,这种争论走向极端,有时就退化成一战我称之为好斗科学对无知科学的战争。

好斗科学用严肃、严格的科学观棒打反对者,疏离而不是说服他们。好斗科学试图在争论中赢得分数而不是争取听众。它不是把自己当作开明道理和重要实验的辩护者通过介绍自己去迎合普通听众较为敏锐的直觉,而是把自己当作新西班牙宗教法庭。好斗科学是寻衅的科学。好斗科学家指责整体论者缺乏判断力,使他们的物理学变得令人困惑,以及说一些伪科学胡话来掩盖他们的无知。因此,好斗科学可能会赢得个别战役,但是最终将输掉这场战争。在一场接一场的规模战斗中,好斗科学通过夸耀成堆的数据和博学的博士,可能会击败对手。但是在长期的较量中,傲慢和自负由于疏远了那些难以说服的听众,而产生了事与愿违的恶果。

无知科学走向相反的极端,拒绝实验,信奉任何偶然出现的一时流行的哲学。无知科学视不合意的事实为纯粹的枝节,视所有哲学为一切。如果事实看上去不符合哲学,那么显然是事实出了问题。无知科学带着一个预先制定好的方案出现,它建立在个人行为的结果上而不是客观的观察上,作为一个事后想法试图使自己符合科学。

这两个派别的分裂,最早出现在越南战争期间。那时候,为对付一个农业国而大规模过度使用致命技术,震惊了年轻力壮的一代。但是,这种似乎合理的争论最近燃起的领域,可能是在个人的健康上。例如,在20世纪50年代和60年代,为强大的农业综合企业和食品工业服务的报酬优厚的说客,对国会和医疗机构施加了相当大的影响,阻止了彻底检查胆固醇、烟草、动物脂肪、农药以及某些食品添加剂对心脏病和癌症的有害影响,这些有害影响现在已经被完全证实。

最近的一个例子是一件丑闻,它围绕着苹果中杀虫剂Alar所引起的骚动。当美国环境保护署的环境学家宣布日前苹果中杀虫剂的含量能够杀死5000名以上的儿童时,他们

引起了消费者的关注,引起了把他们斥之为危言耸听者的食品工业界的愤慨。后来披露,这个报告使用了联邦政府的图表和数据后才得到这些结论。这就意味着食品和药品管理局为了“可承受的风险”而在牺牲 5 000 名儿童的生命。

此外,铅(它可能会使孩子产生严重的神经问题)可能会大范围污染我们的饮用水。揭露这件事所起的作用,只是降低科学在大多数美国人头脑中的威信。医疗职业、食品工业和化学工业已经开始受到社会中很大一部分人的不信任。这些和其他一些丑闻,都对美国兴起风行一时的健康饮食活动起了推波助澜的作用。健康饮食活动中绝大多数怀有善意,但是亦有一些在科学上不健全。

高维中的高综合

这两种哲学观显而易见难以调和,必须从更大的视野去审视它们。只是在用它们的极端形式观察它们时,它们才是敌对的。

两种观点的一种更高的综合,可能存在于高维中。几何学差不多就是因为其定义使其不能符合普通还原论者的模式。研究一小缕纤维,我们不太可能弄清楚整个挂毯。同理,通过隔离表面的一个微观区域,我们不能确定表面的整个结构。高维,顾名思义,意味着我们必须采用更大的全局性观点。

类似地,几何也不是纯粹整体性的。高维球面是球形的,这种简单观测没有为计算其中包含夸克的性质提供所需的信息。维度可以用某种精确的方式卷在一个球上,这种方式确定了居留在表面上的夸克和胶子的对称特性。因此,整体论本身没有提供给我们把十维理论转变为物理上的一个相关理

论所需的数据。

高维几何在某种意义上迫使我们认识到整体论方法和还原论方法两者的统一。它们不过是接近同一事物(即几何)的两种方式。它们是同一硬币的两面。从几何观点来看,我们用还原论方法(在卡鲁查-克莱因空间集合夸克和胶子)还是用整体论方法(采用卡鲁查-克莱因表面和发现夸克和胶子的对称性)皆无差别。

我们可能偏爱一种方法胜过另一种方法,但是这只是为了历史目的或者教学目的。出于历史原因,我们可能强调亚原子物理学的还原论根源,强调粒子物理学家在一段长达40年的时期里通过对撞原子拼合三种基本力,或者我们可能选择一种更加整体的方法,以及宣称量子力跟引力的最终统一隐含着对几何的深层理解。这引导我们通过卡鲁查-克莱因理论和弦理论探讨粒子物理学,将标准模型视为把高维空间卷作一团所产生的结果。

这两种方法同样有效。在特雷纳和我合著的书《超越爱因斯坦——宇宙理论的无尽探索》中,我们采取了一种更加还原论的方法,描述了在可见宇宙中现象的发现怎样导致物质的某种几何特征。在本书中,我们采取相反的方法,从不可见宇宙出发,把高维中自然规律如何简化的概念当作我们的主题。但是,两者都给出相同的结果。

根据类比,我们可以讨论“左”脑和“右”脑的争论。那些最早在实验上发现我们大脑左半球和右半球发挥着明显不同的功能的神经学家变得很苦恼,因为他们的数据在大众传媒上被严重误传了。他们在实验上发现,当给某人展示一张相片时,他的左眼(或右脑)把更多的注意力集中在特别的细节上,而他的右眼(或左脑)却更易抓住整张相片。但是当大众普及者开始说左脑是“整体性脑”和右脑是“还原性脑”的时

候,神经学家变得心绪烦乱。这是脱离实际地理解左右脑的差别,它会使人日常生活中应该如何组织他的想法作出许多匪夷所思的解释。

他们发现,理解大脑功能的一种更加正确的方式,是大脑必须同时使用左右两半球,大脑两半球的辩证关系比各自独立的每一半的特殊功能重要得多。真正有意思的动力学发生在大脑的两半球和谐相互作用的时候。

类似地,看到在物理学最新进展中一种哲学战胜了另一种哲学的任何人,可能正在读太多的实验数据。我们能够获得的最保险的结论或许是,科学从这两种哲学的剧烈斗争中获得了最大的好处。

让我们具体看看这到底如何发生,用两个例子(即薛定谔猫和S矩阵理论)分析高维理论如何在两种完全对立的哲学之间给出解答。

薛定谔猫

整体论的信徒们有时通过攻击量子理论的最薄弱环节(即薛定谔猫问题)来攻击还原论。还原论者又不能就这个量子力学佯谬给出一个合理的解释。

我们记得,量子理论最麻烦的特征在于观测者是在进行测量所必需的。因此,在观测进行之前,猫或是死的或是活的,月亮可能在空中亦可能不在空中。通常,这被认为是古怪的,但是量子力学在实验室中已被反复证实了。由于进行观测的过程需要有观测者,又由于观测者需要有意识,因此整体论的信徒们宣称,为了解释任何客观存在,必须存在一个宇宙的意识。

高维理论没有彻底解决这个难题,但它们确实对此有新

的见解。问题存在于观测者和被观测者之间的区别中。但是在量子引力中,我们写下的是整个宇宙的波函数。观测者和被观测者之间没有什么更大的区别;量子引力允许存在的只是任何事物的宇宙波函数。

过去,像这样的看法是毫无意义的,因为在那时量子引力不作为一个理论存在。每当有人想进行物理上的相关计算时,分歧就会突然出现。因此整个宇宙的波函数的概念虽然吸引人,但是毫无意义。然而,随着十维理论的出现,整个宇宙的波函数的含义再次成为一个切题的概念。宇宙波函数的计算可以诉诸于这样的事实,即这理论最终是一个十维理论,从而是一个可重正化理论。

这种部分解决观测问题的方法,又一次充分利用了两种哲学之长。一方面,这个绘景是还原论的,因为它紧紧追随着量子力学对实在所作的标准解释,不求助于意识。另一方面,它又是整体论的,因为它从整个宇宙的波函数出发,而这个波函数可谓是那种极端整体论的表述!这个绘景没有区分观测者和被观测者。在这个绘景中,任何事物(包括所有客体和它们的观测者)都包含在这个波函数中。

这仍然只是一种部分的解决,因为描述整个宇宙的宇宙波函数本身不处在某一确定的状态中,而实际上是所有可能宇宙的某种组合。因此,最早由海森伯发现的不确定性难题,现在被扩展到整个宇宙。

在这些理论中,人们可以处理的最小单元是宇宙本身,人们可以量子化的最小单元是所有可能的宇宙组成的空间。这个空间既包含死猫,也包含活猫。因此,在一个宇宙中,猫确实是死的,但在另一个宇宙中,猫是活的。然而,这两个宇宙又有着同一个家园:宇宙波函数。

S 矩阵之子

具有讽刺意味的是,在 20 世纪 60 年代,还原方法看起来像是败局已定;量子场论绝望地充满了在扰动膨胀中发现的分歧。当量子物理学处于混乱之中时,一个称为 S 矩阵(散射矩阵)理论的物理学分支从主流中诞生并且开始发展。它最初由海森伯所发现,又由加利福尼亚大学伯克利分校的丘(Geoffrey Chew)作了更深入地发展。S 矩阵理论不像还原论,它试图把粒子的散射考虑成一个不可分的、不可还原的整体。

从原则上讲,如果我们知道了 S 矩阵,那么我们就可以知道关于粒子相互作用的一切,以及它们是如何散射的。在这种方法中,粒子相互之间怎样碰撞就是一切;单粒子什么也不是。S 矩阵理论认为,散射矩阵的自治性(单靠自治性)就足以确定 S 矩阵。因此,基本粒子和场被永远排除出了 S 矩阵理论的伊甸园。总之,只有 S 矩阵有一些物理意义。

作为一种类比,比如说给我们一台复杂的、外表奇特的机器,要求我们解释它是干什么用的。还原论者会立刻取来螺丝起子,把机器拆开。通过把机器拆成数以千计小块,还原论者希望搞清楚机器怎么运作。但是,如果机器过于复杂的话,拆开它只会使事情更加糟糕。

然而,整体论者出于几个理由而不想把机器拆开。首先,分析数以千计个齿轮和螺丝钉可能不会就整部机器是干什么用的给我们哪怕最微小的线索。其次,试图解释每一个小齿轮如何工作可能是一种徒劳无益的举动。他们觉得,正确的方法是把机器作为一个整体来考虑。他们启动机器,查询部件如何运作,以及相互之间如何作用。用现代语言来说,这台机器是 S 矩阵,而这种哲学变成 S 矩阵理论。

然而 1971 年,随着霍夫特发现杨-米尔斯场可以提供亚原子力的自治理论,形势朝着支持还原论的方面发生戏剧性变化。每一种粒子相互作用突然都像森林中的巨树那样轰然倒下。杨-米尔斯场给出了它与从原子对撞机中获得的实验数据之间不可思议的一致性,导致了标准模型的建立,而 S 矩阵变得陷入于越来越模糊的数学之中。到 70 年代末,它看起来像是还原论击败整体论和 S 矩阵理论后获得的全面、彻底的胜利。还原论者开始向臣服的整体论者和 S 矩阵宣布他们的胜利。

但是,形势在 80 年代再一次发生了逆转。随着大统一理论的失败,不能得出对引力的任何认识,或者实验上可证实的任何结果,物理学家开始寻找新的研究方法。这种对大统一理论的背离开始于一个新理论,它应把它的存在归功于 S 矩阵理论。

1968 年,S 矩阵理论的全盛期,韦内齐亚诺和铃木真彦深深地为在整体上确定 S 矩阵的哲学所影响。因为他们正在寻找整个 S 矩阵的数学表示,所以偶然碰上了欧拉 β 函数。如果他们已经找过还原论者的费恩曼图,那么他们将永远不会撞上过去几十年中最伟大的发现之一。

20 年后,我们发现 S 矩阵理论栽下的种子正在开花。韦内齐亚诺-铃木理论产生了弦理论,弦理论作为宇宙的一个十维理论又通过卡鲁查-克莱因得到重新解释。

因此,我们发现十维理论对两种传统抱骑墙态度。它作为整体性 S 矩阵理论之子出生,但它又包含了还原性杨-米尔斯理论和夸克理论。实质上它已经相当成熟,因而可以吸收这两种哲学。

十维与数学

超弦理论引人注目的特征之一,是数学已经扶摇直上到很高的地位。科学上没有其他理论在这样的基础地位上使用这样强有力的数学。事后认识到必需如此,因为任何统一场论首先必须吸收爱因斯坦理论的黎曼几何和产生于量子场论的李群,然后必须结合一种还要更加高级的数学使它们可和谐共存。负责合并这两种理论的新数学就是拓扑学;它负责完成那项看起来不可能完成的任务,即废除量子引力理论的无限性。

高等数学通过弦理论突然引入到物理学中,在物理学家没有准备的情况下一下子吸引住了他们。不止一个物理学家悄悄到图书馆去查阅大量数学文献,为的是搞明白十维理论。欧洲核研究中心的物理学家埃利斯承认:“我发现自己徜徉在书店里,想找一本数学百科全书,为的是能拼命攻读像同调、同伦这样一些数学概念,攻读以前我从来不想费心去学的所有这类东西!”⁶对于那些对本世纪数学和物理学之间日益扩大的分裂甚为忧虑的人来说,这本身是一件令人满意的历史性事件。

从传统上讲,数学和物理学从古希腊时代开始就难分难解。牛顿和他的同时代人从来没有在数学和物理学之间作出明显的区分;他们称自己为自然哲学家,在数学、物理学和哲学这些根本不同的世界里他们感觉安适。

高斯、黎曼和庞加莱都认为物理学作为新数学源泉之一极其重要。在整个18世纪和19世纪,数学和物理学之间有着广泛的交流。但是自爱因斯坦和庞加莱之后,数学和物理学的发展发生了剧烈的变化。过去70年里,数学家和物理学

家之间的实际交流(如果说有的话)也极小。数学家们探索了 N 维空间拓扑学,建立了新的学科,如代数拓扑学。数学家们在过去一个世纪里推进了高斯、黎曼和庞加莱的工作,发展了一批抽象的定理和推论,这些定理和推论跟弱力或强力没有任何联系。但是,物理学用19世纪著名的三维数学开始探测核力王国。

这一切随着第十维的引入而变化。过去一个世纪的这批数学,相当突然地并入了物理世界。这些在数学上有着巨大影响力的定理长期以来只为数学家们所珍爱,现在终于呈现出物理意义。最后,数学和物理学之间渐分的裂隙看起来好像要合拢。实际上,甚至数学家也为大批新数学被引入到物理学中而大吃一惊。一些著名数学家,比如麻省理工学院的辛格(Isadore A. Singer),认为超弦理论或许应当被看作一个数学分支,与它是否有物理相关性无关。

没有人有哪怕最微弱的模糊想法:数学和物理学为什么相互之间会这样交缠。量子理论的创立者之一、物理学家狄拉克认为:“假如我们仅仅用物理思想去深究其本身,那么数学可以在我们没有抓住的方向上引导我们。”⁷

过去一个世纪中最伟大的数学家之一怀特海(Alfred North Whitehead)曾经说,数学在深层次上跟深层次上的物理学不可分离。然而,对于这种不可思议的趋同现象的准确理由,看起来全然模糊不清。没有人还会用合理的理论去解释这两个学科为什么应当共享概念。

人们常说,“数学是物理学的语言”。例如,伽利略曾说,“没有人将会有能力去阅读宇宙这部巨著,除非他理解宇宙的语言,即数学语言。”⁸但这是在讨教为什么这个问题。此外,数学家无礼地认为他们的整个学科正在还原为纯粹的语义学。

爱因斯坦注意到了这种关系。他在谈论纯数学可能是解决物理学奥秘的一条途径时说：“我坚信，纯数学结构使我们能够发现连接它们的概念和定律，而这些概念和定律是我们认识自然的关键。……因此，在某种意义上，我认为纯思想可以抓住实在，就像古代人梦想的那样。”⁹海森伯对这个信念作出了回应：“如果自然把我们引导到极其简单和优美……在此之前还没有人碰到过的数学形式上去，那么我们会情不自禁地相信数学形式是‘正确’的，它们揭示了自然的真正本质。”

诺贝尔奖得主维格纳曾经写过一篇文章，题目直截了当：“自然科学中不合理的数学有效性。”

物理原理与逻辑结构

在这些年中，我发现数学和物理学都遵循某种辩证关系。物理学不光是一连串无目标的、随机的费恩曼图和对称性，数学也不光是一组凌乱的方程，而是物理学和数学遵循着一种确定的共生关系。

我认为，物理学最终建立在一小组物理原理之上。这些原理通常可以用简单的英语来表达，不需要援引数学。从哥白尼理论到牛顿运动定律，乃至爱因斯坦相对论，这些基本物理原理都可以只用寥寥数语来表达，基本上与任何数学无关。值得注意的是，仅仅少数几个基本的物理原理就足以概括大多数现代物理学。

相反，数学包含了全部可能的自洽结构。逻辑结构的数目很庞大，比物理原理多得多。任何数学体系（例如算术、代数或者几何）的特征，都是它的公理和定理相互一致。数学家主要关注这些体系永不产生矛盾，对讨论某个体系比另一个

体系相对优越不感兴趣。许许多多自洽结构中的任何一个都值得研究。因此,数学家要比物理学家分散得多;总在某一领域工作的数学家孤立于其他领域中的数学家。

物理学(建立在物理原理上)和数学(建立在自洽结构上)之间的关系,现在显而易见:为了解决物理原理,物理学家可能需要许多自洽结构。因此,物理学自动统一了许许多多各种各样的数学分支。用这种眼光来观察,我们就能理解理论物理学中的伟大思想是如何发展的。例如,数学家和物理学家都宣称牛顿是他们各自同行中的巨人之一。然而,牛顿不从数学出发研究引力。对落体运动的分析,使他相信月球正在不断落向地球,但是月球永远不会与地球相撞,因为地球在它下面是弯曲的;地球的弯曲补偿了月球的降落。因此,这促使他假设了一个物理原理:万有引力定律。

但是,牛顿无法解这些引力方程,因此他开始了为期 30 年的探索,为的是从头开始创立一种数学,它的作用大到足以计算这些方程。在这个过程中,他发现了许多自洽结构,它们统称为微积分。在这种观点看来,物理原理首先诞生(万有引力定律),接着解决这个定律所必需的各种自洽结构被建立起来(如解析几何、微分方程、微分和积分)。在这一过程中,物理原理把这些自洽结构统一为一个一致的数学体(微积分)。

同样的关系亦适用于爱因斯坦相对论。爱因斯坦从物理原理(如光速不变和引力等效原理)出发,然后通过搜寻数学文献找到了允许他计算这些原理的自洽结构(李群、黎曼张量微积分和微分几何)。在这个过程中,爱因斯坦发现了如何把这些数学分支跟一个一致的绘景联系起来。

弦理论也证实了这种模式,但是所用的方式惊人地不同。由于它的数学复杂性,弦理论用一种令数学家吃惊的方式把有天壤之别的数学分支(如黎曼表面,卡茨-穆迪代数,超李代

数,有限群,模函数和代数拓扑学)联系在一起。跟其他物理理论一样,它自动揭示了许多不同自治结构间的关系。然而,弦理论背后的基本物理原理尚属未知。物理学家希望一旦这个原理被揭示出来,数学的新分支在这个过程中将会被发现。换句话说,弦理论其所以不能被解决,原因是21世纪数学还没有被发现。

这种表述的一个结果是,统一许多小物理理论的物理原理,必须自动统一许多貌似不相干的数学分支。这正是弦理论所完成的。事实上,在所有物理理论中,弦理论统一了迄今最多的数学分支于一个一致绘景。或许物理学家寻求统一的副产品之一,将为数学的统一。

当然,这组逻辑上一致的数学结构比这组物理原理要大许多倍。因此,某些数学结构,比如数论(一些数学家称其为最纯粹的数学分支),就从来没有被合并到任何物理学理论中。有人认为这种情形可能永远存在;或许人的心智将永远能想象出逻辑上一致的结构,它们不能通过任何物理原理被表达出来。然而,有迹象表明弦理论可能不久也会把数论合并到它的结构之中。

科学与宗教

因为超空间理论揭示了物理学与抽象数学之间全新的、意义深远的联系,所以一些人谴责科学家们创立了建立在数学上的一种新神学;也就是说,我们拒斥宗教神话,只信奉一种建立在弯曲时空、粒子对称性和宇宙膨胀上的甚至更加怪异的宗教。当神父可能用拉丁语念简直没有什么人能理解的咒语时,物理学家则在念几乎更没人能理解的神秘的超弦方程组。对万能上帝的“信仰”,现在被对量子理论和广义相对

论的“信仰”所取代。当科学家断言我们的数学咒语可以在实验室中得到检验时,所获得的回应是“创世”不能够在实验室中被测量,因而这些像超弦那样的抽象理论可能永远不可能得到检验。

这种争论并不新鲜。在历史上,科学家经常被迫跟神学家争论自然法则。例如,英国大生物学家赫胥黎是19世纪末针对教会对达尔文自然选择理论的批评而为其辩护的杰出辩护者。与此相类似,量子物理学家与天主教教会的代表之间关于无线电的争论也已经出现。后者关注海森伯不确定性原理是不是否定自由意志,一个可以决定我们的灵魂将上天堂还是下地狱的问题。

但是科学家们往往不愿介入关于上帝和创世的神学争论之中。我发现,一个问题在于,“上帝”对许多人来说有着许多意思;使用含蓄的充满了不可言说的、神秘象征的语言,只会把争论弄得模糊不清。为了澄清一下这个问题,我发现对上帝这个词,在两类含义之间进行认真辨别是有用的。有时候区分“奇迹上帝”与“秩序上帝”是有益的。

科学家使用上帝这个词时,他们通常指的是秩序上帝。例如,爱因斯坦幼年时最重要的一次天启,发生在他读他的第一批关于科学的书之时。他立刻意识到,他所受到的关于宗教的教育不大可能是真的。然而,他一生都坚持着那个信仰——一种神秘的、神圣的秩序存在于宇宙中。他说,他一生的使命是想方设法确定在创造宇宙时他是否有选择的机会。爱因斯坦在他的著作中再三谈到这个上帝,并亲昵地称之为“老人”。当被难以对付的数学问题难住时,他经常说:“上帝难以捉摸,但无恶意。”保险地说,大多数科学家相信宇宙中有某种形式的宇宙秩序。但是,对非科学家来说,上帝这个词几乎普遍指奇迹上帝,这是科学家与非科学家之间误会的根源。

奇迹上帝干涉我们的事务,创造奇迹,破坏罪恶的城市,袭击敌军,淹死暴君的军队,以及为纯洁和崇高而复仇。

如果科学家和非科学家不能就宗教问题进行交流,那是因为他们相互揭短,谈论着完全不同的上帝。科学的基础建立在观测可重复事件上,但是奇迹顾名思义是不可重复的。如果奇迹发生的话,那奇迹一辈子只会发生一次。因此,奇迹上帝在某种意义上超出了我们称之为科学的东西。这不是说奇迹不能发生,仅仅是说它处在通常所称的科学之外。

哈佛大学生物学家威尔逊(Edward O. Wilson)对这个问题感到困惑,他问有没有科学理由去解释人为什么如此狂热坚持他们的宗教信仰。他发现,甚至连那些训练有素的科学家,在他们的科学专业里通常是完全理性的,但在替他们的宗教信仰辩护时就陷入了非理性的争论中。而且,他注意到宗教在历史上被用作一种借口,针对无宗教信仰者和异教徒发动骇人听闻的战争和施行令人齿冷的暴行。宗教战争或圣战的残酷性实际上比最厉害的犯罪还有过之,任何人都不断把这种犯罪活动施加到任何其他人士身上。

威尔逊指出,宗教普遍存在于地球上每一种被研究过的人类文化中。人类学家发现,所有的原始部落都有一种“起源”神话,它解释他们从哪里来。而且,这种神话明显把“我们”从“他们”中分离出来,产生了一种内聚的(以及常常是非理性的)力,这种力维持部落、压制造成分裂的针对首领的批评。

这不是异常,而是人类社会的常规。威尔逊认为,宗教所以如此盛行,是因为对那些采纳它的早期人类来说,它给出了一种确定的进化优势。威尔逊指出,在群体中参与狩猎的动物服从头领,因为一种建立在力量和优势上的权力等级已被建立起来。但是大约100万年前,当我们的类人猿祖先逐渐

变得愈加聪明时,个体可以理智地开始挑战头领的权势。智慧个体因其本性出于某种原因质疑权威,因而对部落来讲这是一种危险的和瓦解人心的力量。除非有一种力量能够阻止这种蔓延的混乱,否则智慧个体会离开部落,部落会分崩离析,所有个体最终都会死亡。因此,根据威尔逊的观点,选择压力强加在智慧类人猿上,使他们中止理性思维,盲目服从头领及其神话,因为不这样做就会挑战部落的凝聚力。幸存者不仅赞同那种可以理智地讨论工具和食物采集的智慧类人猿,而且赞同那种当这个讨论威胁到部落的完整性时能够阻止它的智慧类人猿。神话对限定和维护部落是必需的。

类人猿逐渐变得越来越聪明,形成了一种把他们合在一起的“胶”。对威尔逊来说,宗教对于这些类人猿是一种非常强大的、维护生命的力量。如果这是对的,那么这个理论解释了为什么有那么多的宗教依赖于常识之上的“信念”,为什么群体被要求中止理性思维。它还有助于解释宗教战争的野蛮暴行,为什么奇迹上帝总是看起来偏袒血腥战争中的胜者。奇迹上帝较秩序上帝有一个强有力的优势。奇迹上帝解释了我们在宇宙中的目的这个神话;在这个问题上,秩序上帝沉默不言。

我们在自然界中的角色

尽管秩序上帝不能给人类一个共享的命运或者目标,但是我个人发现,关于这场讨论的最令人吃惊的是,我们人类刚开始攀登技术高度,应当能作出涉及宇宙的起源和命运的大胆断言。

在技术上,我们刚开始脱离地球引力拉曳,我们仅仅已经开始发射粗糙的探测器到外层行星。虽然我们尚受限于我们

这颗小行星,但是只凭藉我们的思维和少量的工具,我就已经能够揭示控制着数十亿光年远的物质的规律。凭藉无限小的能源,甚至没有离开太阳系,我们就已经能够确定在恒星的核炉内部深层或者在原子核本身内部有什么发生。

根据进化论,我们是智慧类人猿,只在最近才离开树林,居住在离一颗较小的恒星从近至远的第三颗行星上。这颗恒星处在室女座巨簇附近的一个较小星系群的一个较小星系的较小旋臂上。这个星系又处在如果膨胀理论是对的,那么我们的整个可见宇宙只是极其巨大的宇宙中的一个无穷小的泡泡。甚至还有,假如我们在这个巨大宇宙中所扮演的角色几乎微不足道,那么我们应当能够断言发现了万物至理似乎不可思议。

诺贝尔奖得主拉比曾经被问及,在他的一生中是什么事件首先促使他迈上揭露自然奥秘的漫漫旅程。他回答说,那发生在他从图书馆查阅一些关于行星的图书时。强烈吸引他的,是人的心智能够认识那样的宇宙真理。行星和恒星比地球大得多,比人类以往任何时候所能到达的所有地方都要遥远得多,但是人的心智能够认识它们。

物理学家帕格尔斯陈述过当他还是一个孩子时在纽约参观海顿天文馆的重要经历。他回忆道:

动态宇宙的戏剧性和力量将我彻底制服。我认识到单单星系就包含比有史以来生活过的所有人还要多的恒星。……宇宙的广阔无垠引起了一种“存在主义冲击”,动摇了我的存在基础。我所经历或所知的一切,放在那存在的广阔海洋之中,看起来是微不足道的。¹⁰

我认为,科学家可能有的几乎接近宗教觉悟的最深刻的经历之一不是被宇宙所折服,而是认识到我们是恒星之子,我们的心智能够认识它们所遵循的普遍规律。我们躯体内的原

子在太阳系诞生前恒星激增的极长时间里,曾经被放在核聚变的“铁砧上锻造”。我们的原子比山脉要年长得多。毫不夸张地说,我们由恒星尘埃所造就。现在,这些原子又凝聚成能够认识主宰那种事件的普遍规律的智慧生命。

我所发现的激动人心的是,在我们这颗极小的、微不足道的行星上已经发现的物理规律跟在宇宙其他任何地方发现的规律一模一样,而这些规律还是在我们从未离开过地球的情况下被发现的。不依靠强大的星际飞船或者维度窗口,我们已能确定恒星的化学特性,揭示发生在它们核内深处的核过程。

最后,如果十维超弦理论是正确的,那么在最遥远的恒星上繁荣起来的文明将会精确发现关于我们宇宙的相同真理。它也将知道大理石与树木之间的联系,将会得出传统三维世界“太小”而不能容纳它的世界中那些已经知道的力。

我们的好奇心是自然秩序的一部分。或许,作为人类的我们想认识宇宙,在某种程度上跟鸟想歌唱一样。正如17世纪大天文学家开普勒(Johannes Kepler)曾经说的,“我们不问鸟儿歌唱为了什么有用的目的,因为歌唱是它们的乐趣,它们是为歌唱而被创造的。同样,我们也应当不问人的心智为什么定要费神去探索太空中的奥秘。”或者,正如生物学家赫胥黎在1863年所言,“对于人类来说,所有问题之中的问题,即在所有其他问题背后又比它们中的任何一个更有意义的问题,就是那个决定人类在大自然中的地位及其跟宇宙的关系的问题。”

宇宙学家霍金谈到过在本世纪内解决统一问题。就必需向最广泛可能的听众解释构成物理学基础的基本物理绘景,他雄辩地写道:

如果我们的确发现了一个完备理论,那么它在主要

原则上最终应当被所有人而不仅仅被少数几个科学家所理解。接着,我们所有哲学家、科学家还有普通人都将参加我们和宇宙为什么存在这个问题的讨论。如果我们找到了这个问题的答案,那么它将是人类理性的最终胜利——因为从此以后我们将了解上帝的心智。¹¹

在宇宙尺度上,我们还在继续认识我们周围越来越大的世界。但是甚至连我们有限的才智那一点力量,也能使我们窃取隐藏得最深的自然奥秘。

这赋予生命意义或者目的了吗?

有些人通过个人所得、个人关系或者个人经历寻求生命的意义。然而,在我看来,有幸得到能领悟自然之最终奥秘的智慧,才赋予生命充分的意义。

注 释

序 言

1. 这个论题太新颖,所以理论物理学家谈论高维理论时还没有公认的术语。尽管人们谈论高维时,广泛地使用超空间这一术语,而且对高维几何对象来说超(hyper-)也是个正确的科学前缀,但是从专业上讲,当物理学家谈及高维理论时,他们就会更具体地指明是何种理论,比如卡鲁查-克莱因理论、超引力或者超弦。我坚持约定俗成,用超空间(hyperspace)来谈论高维。

第一章 时空之外的世界

1. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 324.
2. Peter Freund, 跟作者的面谈, 1990年.
3. 引自 Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982), 235.
4. 这段短得难以置信的距离,将反复出现于本书。它是一个刻画任何量子引力理论典型特征的基本长度尺度。道理相当简单。在任何引力理论中,引力强度皆由牛顿常量来计量。但是,物理学家使用了一套简化了的单位。在这套单位中,光速 c 被令等于 1。这意味着,1 秒钟等价于 186 000 英里。同样,普朗克常量除以 2π 后也被令等于 1。这样就在秒和能量单位尔格之间建立了一种数值关系。在这些奇怪但又方便的单位中,包括牛顿常量在内的一切都可以简化到厘米。当我们计算这个跟牛顿常量相联系的长度时,它恰好是普朗克长度,即 10^{-33} 厘米,或者 10^{27} 电子伏。因此,所有的量子引力效应都用这段微小距离来计量。特别是,这些看不见的高维的大小就是普朗克长度。

5. Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), xix.

第二章 数学家与神秘主义者

1. E. T. Bell, *Men of Mathematics* (New York: Simon and Schuster, 1937), 484.
2. 同上, 487 页。这件事情极有可能激发黎曼对数论的早期兴趣。多年之后, 他作了一个关于某个公式的著名推测, 这个公式与数论中的 ζ 函数有关。世界上最伟大的数学家与“黎曼假设”搏斗了 100 年, 也没有提供任何证明。我们最先进的计算机也不能给我们提供任何线索。黎曼假设现已作为数论中(或许所有的数学中)最著名的未被证明的定理载入史册。贝尔指出:“无论谁证明它成立或者不成立, 都将获得莫大的荣誉。”(同上, 第 488 页)。
3. John Wallis, *Der Barycentrische Calcul* (Leipzig, 1827), 184.
4. 尽管黎曼被认为是这种最终打破欧几里得几何限制的起推动作用的创造性力量, 但是按理说, 发现高维几何的那个人应当是黎曼年长的导师高斯自己。

1817 年, 几乎比黎曼出生早 10 年, 高斯私下表露了他在欧几里得几何上的挫折。他在给他的朋友天文学家奥伯斯(Heinrich Olbers)的一封信中, 清楚表述了欧几里得几何在数学上是不完备的。

1869 年, 数学家西尔维斯特(James J. Sylvester)记录了高斯严肃考虑过高维空间的可能性。高斯设想了被他称作“书虫”的人的性质, 书虫能完全居住在二维纸片上。他接着把这个概念推广到包含“能够认识四维或者更高维空间的人”。(引自 Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* [Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983], 19)。

但是, 如果高斯比其他任何人领先 40 年表述高维理论, 那么他怎么会错过这次具有历史意义的机会, 去打破三维欧几里得几何的束缚呢? 历史学家注意到, 高斯在他的工作、政治态度和个人生活中都倾向于保守。实际上, 他从未离开过德国, 他的整个一生几乎

在一个城市中度过,这也影响了他的职业生涯。

高斯于 1829 年给他的朋友贝塞尔(Friedrich Bessel)写了一封信。这封信披露,高斯向贝塞尔坦白地承认,他将永远不会发表他的关于非欧几里得几何的工作,因为他担心它会在“皮奥夏人”中间引发争论。数学家克莱因(Morris Kline)写道,“在 1829 年 1 月 27 日给贝塞尔的一封信中,[高斯]说他可能永远不发表他在这个论题上的发现,因为他害怕受到嘲笑,假如他把它发表出来,他害怕皮奥夏人(一个愚钝的希腊部落)的叫嚣”(*Mathematics and the Physical World* [New York: Crowell, 1959], 449)。高斯受到了保守派的恫吓。他们是些信神圣的三维性质的偏执的“皮奥夏人”。这使得高斯没有公开他的某些最为漂亮的工作。

1869 年,西尔维斯特在与高斯的传记作者瓦尔特斯豪森(Sartorius von Waltershausen)的访谈中写道,“这个伟人过去常常说他把几个已解析地论述过的问题搁置起来,希望等到他的空间概念被扩展时把它们应用到将来出现的几何方法中;因为,正如我们可以设想出只拥有二维空间概念的生命(像一张无限薄的纸片上变得无限纤细的书虫),那么我们也可能想象得出能认识四维或者更高维空间的生命”(引自 Henderson, *Fourth Dimension and non-Euclidean Geometry in Modern Art*, 19)。

高斯在写给奥伯斯的信中说:“我越来越相信我们的(欧几里得)几何(在物理上)的必要性不能被证明,至少既不能被人类理性所证明也不能因为人类理性而被证明。也许在另一辈子里,我们将能够获得现在无法获得对空间本质的洞见。到那个时候,我们必须把几何置于跟纯粹先验的算术不同但跟力学相同的地位上。”(引自 Morris Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times* [New York: Oxford University Press, 1972], 872)。

实际上,高斯对欧几里得几何是相当怀疑的,他甚至做了一个巧妙的实验来检验它。他和助手攀上三座山峰:罗肯、霍赫哈根和因舍伯格。从每一座山峰,都能清楚看到其他两座山峰。通过在三座山峰之间画一个三角形,高斯可以在实验上测量这个三角形的内角。如果欧几里得几何是正确的,那么三个角之和应该是 180 度。

令他失望的是,他发现三角之和正好是 180 度(加减 15 分)。他的测量仪器的简陋不足以使他最后证明欧几里得错了。(今天,我们认识到要探测与欧几里得结果相当大的偏离,这个实验必须在三个不同的恒星系统之间进行。)

我们还应当指出,数学家罗巴切夫斯基(Nikolaus I. Lobachevski)和波尔约(János Bolyai)独立地发现了定义在曲面上的非欧几里得数学。但是,他们的结构局限于通常的低维上。

5. 引自 Bell, *Men of Mathematics*, 497.
6. 1873 年为《自然》杂志翻译黎曼著名演讲的英国数学家克利福德(William Clifford)。推广了黎曼的许多创新思想。他可能第一个发展了黎曼思想即空间弯曲产生电磁力,从而把黎曼的工作具体化了。克利福德推测,数学(高维空间)和物理学(电磁学)上的两个难以理解的发现,实际上是一回事,即电磁力由高维空间弯曲所致。

这是第一次有人推测“力”只不过是空间弯曲本身,比爱因斯坦早 50 年。克利福德的思想——电磁由第四维中的振动所引起——也领先于亦试图用高维解释电磁现象的卡鲁查的工作。因此,克利福德和黎曼率先作出了 20 世纪先驱者的发现:高维空间的意义在于它能够为力提供一种简单而又漂亮的描述。这是第一次有人正确地分离出了高维的真正物理意义,即关于空间的理论实际上给了我们一个统一的力的绘景。

数学家西尔维斯特在 1869 年记录下了这些预言性观点。他写道:“克利福德先生已沉迷于一些奇怪的推测之中。这些推测是关于我们能否从某些无法解释的光和磁现象推断出我们所在的三维空间正在四维空间中被扭曲,……就跟纸被揉皱相似”(引自 Hender-son, *Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, 19)。

1870 年,克利福德写了一篇非常吸引人的文章,题目是“论物质的空间理论”,他明白地写道:“空间弯曲这种变化在我们称之为物质运动的那种现象中发生。这种物质运动不是可衡量的就是难以捉摸的(William Clifford, “On the Space-Theory of Matter,” *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 2[1876]:157-158)。

7. 更精确地讲, N 维中的黎曼度规张量 $g_{\mu\nu}$ 是一个 $N \times N$ 矩阵,它确定

了两个点间的距离,比如两个点间的无限小距离由 $ds^2 = \sum dx^\mu g_{\mu\nu} dx^\nu$ 给出。在平展空间的极限下,黎曼度规张量变成对角的,也就是 $g_{\mu\nu} = \delta_{\mu\nu}$,因此该表述还原到 N 维中的毕达哥拉斯定理。度规张量相对于 $\delta_{\mu\nu}$ 的偏离,粗略地讲表征了空间相对于平展空间的偏离。由度规张量,我们可以导出用 $R^\beta_{\mu\alpha\nu}$ 表示的黎曼曲率张量。

在任意给定的一点,空间曲率可以通过在该点画一个圆并且测量圆内面积而得到。在平展二维空间,圆内面积是 πr^2 。但是,如果曲率是正的,比如在一个球里,则面积小于 πr^2 。如果曲率是负的,比如在一个马鞍或者喇叭中,则面积大于 πr^2 。

严格地讲,由于这种惯例,一张皱巴巴纸片的曲率为零。这是因为,画在这张皱巴巴纸片上的圆其面积仍旧等于 πr^2 。在黎曼的例子即一张纸片变皱所产生了力中,我们暗中假设这张纸被变形、铺开和折叠,因此其曲率不为零。

8. 引自 Bell, *Men of Mathematics*, 501.

9. 同上,14.

10. 同上.

11. 1917年,爱因斯坦的朋友、物理学家罗森菲尔德(Paul Ehrenfest)写了一篇论文,题为“空间有三维的物理学基本定律以何种方式变得明了?”罗森菲尔德问自己,恒星和行星在高维中是否可能存在。例如,我们离蜡烛越远,蜡烛的光就越暗。同理,我们离恒星越远,它的引力拉曳就变得越弱。按照牛顿定律,引力以平方反比律变弱。如果我们离蜡烛或者恒星的距离翻倍,烛光或者引力拉曳就变弱为原来的 $1/4$ 。如果我们使距离变远3倍,则烛光或者引力拉曳就会变弱为原来的 $1/9$ 。

如果空间是四维的,那么烛光或者引力将会以反立方律变弱得快得多。离蜡烛或者恒星的距离翻倍,将使烛光或者引力变弱8倍。

太阳系可以存在于这样一个四维世界中吗?原则上是可以的,但是太阳系中行星轨道会不稳定。最微弱的振动将会使行星轨道坍缩。所有行星都将随时间推移摇摇晃晃地离开它们通常的轨道冲向太阳。

同理,太阳在高维中也不能存在。引力倾向于把太阳压碎。它抵消了倾向于把太阳炸开的聚变力。因此,太阳是使它爆炸的核力与使它凝聚到一点的引力两者之间某种细致平衡的产物。在高维宇宙中,这种细致平衡将会受到破坏,恒星可能自发坍塌。

12. Henderson, *Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, 22.
13. 1875年,策耳纳在访问克鲁克斯的实验室时皈依了唯灵论。克鲁克斯是铯元素的发现者,阴极射线管的发明者,以及《科学季刊》的编辑。克鲁克斯的阴极射线管使科学发生了革命;任何看电视、使用计算机监视器、玩视频游戏或者作X光检查的人,都应该把这一切归功于克鲁克斯著名的发明。

克鲁克斯却不是怪人。实际上,他是英国科学界的名流,享有至高的专业声誉。他于1897年被封为骑士,1910年获得功绩勋章。他哥哥菲利普(Philip)在1867年惨死于黄热病,这激发了克鲁克斯对唯灵论的极度兴趣。他成了心灵研究会的著名会员(并且后来成了会长)。19世纪末,心灵研究会中包含的重要科学家的数目令人吃惊。

14. 引自 Rudy Rudy, *The Fourth Dimension* (Boston: Houghton Mifflin, 1984), 54.
15. 为了想象在维数超过三的高维中结怎么能够被解开,试设想两个缠结在一起的环。现在取这种构形中的一个二维截面,即一个环置于这个平面上而另一个环变成一个点(因为它垂直于这平面放置)。我们现在有圆内点。在高维中,我们有办法把这个点完全移出该环而不用截断环的任何地方。这意味着,两个环现在正如所期望的那样是完全分开的。即意味着,在高于三维的维数中,结总能够被解开,因为有“足够的地盘”。但是也要注意,如果我们处在三维空间中,我们就不能把点从环中移走。这也是结为什么只有在第三维中才处于成结状态的理由。

第三章 “看见”第四维的人

1. 斯科菲尔德(A. T. Schofield)写道,“所以,我们推断出:首先,一个维数

比我们所在世界大的高维世界不仅可以相信是可能的,而且是很有希望的;第二,这样一个世界可以被认为是一个四维世界;第三,这一精神世界在其神秘的规律中跟用类推法得到的什么是某个第四维的规律、语言和权利等高度一致”(引自 Rudy Rucker, *The Fourth Dimension* [Boston: Houghton Mifflin, 1984], 56)。

2. 威林克写道:“我们认识到存在着四维空间之后,在认识五维空间、六维空间、……直至无穷维空间的存在时,就不再像原先那么费劲了”(引自同上,200)。
3. H. G. Wells, *The Time Machine: An Invention* (London: Heinemann, 1895), 3.
4. Linda Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1983), xxi.
5. 同上。根据亨德森的说法,“第四维吸引了一些文艺界知名人物的注意,如威尔斯、王尔德,康拉德,福特(Ford Madox Ford),普鲁斯特,以及斯坦。音乐家中,斯克里亚宾、沃里斯和安太尔积极关注着第四维,并以高级实在的名义受鼓励去进行大胆创新”(同上, xix-xx)。
6. 列宁的《唯物主义和经验批判主义》如今依然是重要著作,因为它深刻影响了现代苏联和东欧的科学。例如,列宁的名言“电子不可穷尽性”表明了一种辩证观:每当我们深入探测物质内部时,我们会发现新的亚层和矛盾。例如,星系由较小的恒星系统组成,而恒星系统又包含行星,行星由分子组成,分子由原子组成,原子包含有电子,依次下去,“不可穷尽”。这是“世界之中有世界”理论的不同形式。
7. Vladimir Lenin, *Materialism and Empiro-Criticism*, in Karl Marx, Friedrich Engels, and Vladimir Lenin, *On Dialectical Materialism* (Moscow: Progress, 1977), 305-306.
8. 同上。
9. 引自 Rucker, *Fourth Dimension*, 64.
10. 设想一个平面国人建造了先后6个相邻的正方形,形状呈十字形。对于平面国人来说,这些正方形是刚性的。它们不能沿着连接正方形的任意一边被扭曲或者旋转。但是,现在设想,我们抓住正方形,

决定把它们折起来形成一个立方体。连接正方形的接合处在二维中是刚性的,但是在三维中很容易被折叠。事实上,折叠操作可以顺利完成,平面国人甚至注意不到折叠正在发生。

现在,如果有一个平面国人在立方体里面,他会注意到一件令人吃惊的事。每一个正方形都通向另一个正方形。立方体没有“外面”。平面国人每次从一个正方形移动到下一个正方形,他顺利地(浑然不知地)在第三维中转了90度弯,进入了下一个正方形。从外面看,这房子不过是一个普通的正方形。但是,对某个进入这个正方形的人来说,他会发现一组奇怪的正方形,每一个正方形不能通向下一个正方形。对它来说,单独一个正方形内部可以容纳6个正方形看起来是不可能的。

第四章 光的奥秘:第五维中的振动

1. Jacob Bronowski, *The Ascent of Man* (Boston: Little, Brown, 1974), 247.
2. 引自 Abraham Pais, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein* (Oxford: Oxford University Press, 1982), 131.
3. 正常情况下,认为两个人中的每一个都可以比另一个高是荒谬的。但是,在这种境况下,我们有两个人,每一个都正确地认为另一个已经被压缩了。这不是一个真的矛盾,因为完成测量要花时间,时空已被扭曲。特别是,在一个参照系中同时发生的事件在另一个参照系中观察时却不是同时发生的。

例如,站台上的人们取出一把直尺。当火车经过时,使尺子落到站台上。当火车过去时,他们让尺子的两端下落,为的是让两端同时击中站台。用这种方式,他们可以证明火车被压缩了,它从前面到后面的整个长度只有1英尺长。

现在从火车上乘客的观点来考虑相同的测量过程。他们认为,他们是静止的,看到被压缩了的地铁车站向他们扑面而来,还有被压缩了的人,是他们让被压缩的直尺落到站台上。乍一看,像这样短小的直尺,能够测量火车的整个长度似乎是不可能的。然而,当这把直尺掉下来时,它的两端不同时击中地板。直尺的一端击中地板刚好在火车前部离开车站之时。只有在车站完全移动了整个火车的

长度时,直尺的第二端才最后击中地板。用这种方法,同一把直尺在两个参照系中测量了火车的整个长度。

这个“佯谬”以及出现在相对论中的其他“佯谬”的实质,是测量过程需要时间,以及空间和时间在不同参照系以不同方式变了形。

4. 麦克斯韦方程组可以写成下列形式(我们令 $c=1$):

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho \\ \nabla \times \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} &= \mathbf{j} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= 0.\end{aligned}$$

第二行和最后一行实际上都是矢量方程,各代表了3个方程。因此,麦克斯韦方程组中总共有8个方程。

我们可以用相对论改写这些方程。如果我们引入麦克斯韦张量 $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$,那么这些方程简化成一个方程:

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = j^\nu.$$

它是麦克斯韦方程组的相对论形式。

5. 引自 Pais, *Subtle Is the Lord*, 239.
6. 同上, 179.
7. 爱因斯坦方程组可以写成如下形式:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi}{c^2} GT_{\mu\nu}.$$

其中, $T_{\mu\nu}$ 是表征质能内容的能量—动量张量,而 $R_{\mu\nu}$ 是收缩黎曼曲率张量。这个方程表明,能量—动量张量决定了存在于超空间中总的弯曲程度。

8. 引自 Pais, *Subtle Is the Lord*, 212.
9. 引自 K.C.Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (New York: Bantam, 1985), 29.
10. 用与定义圆或球非常相似的方法,可以定义超球。圆被定义成在 $x-y$ 平面上满足方程 $x^2 + y^2 = r^2$ 的点集。球被定义成在 $x-y-z$ 空间中满足方程 $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ 的点集。四维超球被定义成在

$x - y - z - u$ 空间中满足方程 $x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = r^2$ 的点集。这个步骤可以很容易推广到 N 维空间。

11. 引自 Abdus Salam, "Overview of Particle Physics," in *The New Physics*, ed. Paul Davies (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 487.
12. Theodor Kaluza, "Zum Unitätsproblem der Physik," *Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* 96(1921):69.
13. 1914年,还在爱因斯坦提出他的广义相对论之前,物理学家诺尔斯特伦试图通过引入一个五维麦克斯韦理论来统一电磁力和引力。如果有人去检验他的理论,那么此人会发现这个理论在四维中正确地包含了麦克斯韦的光理论,但是它是一个已被认识到不正确的标量引力理论。结果是,诺尔斯特伦的思想基本上被遗忘了。在某种意义上,他把它发表得太早了。他这篇论文是在爱因斯坦引力理论发表前一年写就的,因而他不可能建立一个五维爱因斯坦引力理论。

卡鲁查理论跟诺尔斯特伦的理论相反,它从定义在五维空间的一个度规张量 $g_{\mu\nu}$ 出发。接着,卡鲁查使 $g_{\mu 5}$ 等同于麦克斯韦张量 $A_{\mu\nu}$ 。只有当 μ 和 ν 不等于 5 时,旧的四维爱因斯坦度规等同于卡鲁查的新度规。用这个简单又漂亮的方法,爱因斯坦场和麦克斯韦场都被置于卡鲁查的五维度规张量之中。

另外,曼德尔(Heinrich Mandel)和米(Gustav Mie)也提出了五维理论。因此,高维就是大众文化的这样一个主要方面,这个事实可能有助于物理界的交流。在这种意义上,黎曼的工作兜了个圈子又回到了起点。

14. Peter Freund, 跟作者的面谈, 1990.
15. 同上.

第五章 量子邪说

1. 引自 K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (New York: Bantam, 1985), 204.
2. 引自 Nigel Calder, *The Key to the Universe* (New York: Penguin, 1977), 69.
3. 引自 R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation* (New York: Macmil-

lan, 1986), 326.

4. 同上, 293.
5. William Blake, "Tyger! Tyger! burning bright," from "Songs of Experience," in *The Poems of William Blake*, ed. W. B. Yeats (London: Routledge, 1905).
6. 引自 Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 177.
7. 引自 Cole, *Sympathetic Vibrations*, 229.
8. 引自 John Gribbin, *In Search of Schrödinger's Cat* (New York: Bantam, 1984), 79.

第六章 爱因斯坦雪耻

1. 引自 R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation* (New York: Macmillan, 1986), 411.
2. 引自 Nigel Calder, *The Key to the Universe* (New York: Penguin, 1977), 15.
3. 引自 Crease and Mann, *Second Creation*, 418.
4. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 327.
5. 引自 Crease and Mann, *Second Creation*, 417.
6. Peter van Nieuwenhuizen, "Supergravity", in *Super symmetry and Supergravity*, ed. M. Jacob (Amsterdam: North Holland, 1986), 794.
7. 引自 Crease and Mann, *Second Creation*, 419.

第七章 超弦

1. 引自 K. C. Cole, "A Theory of Everything," *New York Times Magazine*, 18 October 1987, 20.
2. John Horgan, "The Pied Piper of Superstrings," *Scientific American*, November 1991, 42, 44.
3. 引自 Cole, "Theory of Everything," 25.
4. Edward Witten, Interview, in *Superstrings: A Theory of Everything?* ed. Paul Davies and J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 90 - 91.

5. David Gross, Interview, in *Superstrings*, ed. Davies and Brown, 150.

6. Witten, Interview, in *Superstrings*, ed. Davie and Brown, 95.

威滕指出,爱因斯坦假定广义相对论必须从一个物理原理等效原理(物体的引力质量和惯性质量相等,因此所有的物体,不管有多大,都以相同速率落向地球)出发。但是,对于弦理论,与等效原理相对应的物理原理还没有被发现。

正如威滕所指出的,“显然,弦理论实际上确实给出了一个逻辑上一致的结构,它同时包含了引力和量子力学。与此同时,概念结构还没有出现。在这样的概念结构中,逻辑结构应当被恰当地理解,类似于爱因斯坦在其引力理论中发现的等效原理”(同上,97)。

这就是为什么威滕现在正表述所谓的拓扑场论,它与我们测量距离所用的方法完全无关。希望这些拓扑场论可能对应于一些“弦理论的未破缺相”——即超越普朗克长度的弦理论。

7. Gross, Interview, in *Superstrings*, ed. Davies and Brown, 150.

8. Horgan, “Pied Piper of Super strings,” 42.

9. 让我们利用这根完全杂优弦来检验一下紧致性。这根弦有两类振动:一类是在完备的 26 维时空中振动,另一类是在通常的 10 维时空中振动。由于 $26 - 10 = 16$, 因此我们现在假定 26 维中的 16 维已经卷起来——也就是说已经“紧致”成某种流形——留给我们的是一个 10 维理论。任何沿着这 16 个方向中的任意一个走的人将正好在同一个点上卷拢。

正是弗罗因德提出,这个 16 维紧致空间的对称群是群 $E(8) \times E(8)$ 。经很快核算,结果表明这个对称性非常巨大,包含了由 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ 所给出的标准模型的对称群。

总之,重要的关系是 $26 - 10 = 16$ 。它意味着,如果我们紧致杂优弦原初 26 维中的 16 维,那么我们被迫放弃一个 16 维的紧致空间,剩下一个被称为 $E(8) \times E(8)$ 的对称性。但是,在卡鲁查-克莱因理论中,当一个粒子被迫处在某个紧致空间中时,它必然具有那个空间的对称性。这意味着,弦的振动必须根据对称群 $E(8) \times E(8)$ 重新调整自身。

因此,我们可以断定,群论向我们揭示这个群比出现在标准模

型中的对称群大得多,因而它可以把标准模型作为 10 维理论的一个小子集包含进来。

10. 尽管超引力理论被定义在 11 维上,但是这个理论还是太小而不能容纳所有的粒子相互作用。最大的超引力对称群是 $O(8)$,它太小而不能包容标准模型的对称性。

11 维超引力乍一看比 10 维超弦有更多的维数,因而也有更多的对称性。这是一种错觉,因为杂优弦由紧致 26 维空间到 10 维空间,剩下 16 个紧致掉的维,得到群 $E(8) \times E(8)$ 而出发。这足以容纳标准模型。

11. Witten, Interview, in *Superstrings*, ed. Davies and Brown, 102.
12. 注意,其他可选择的非微扰弦理论方法已被提出,但是它们没有弦场论先进。最富雄心的是“万有模量空间”,它试图分析有无数个小孔的弦表面的性质。(不幸的是没有人知道如何计算这类表面。)另一种是重正化群方法。它迄今能复制的只是没有任何洞(树形图)的表面。还有矩阵模型,它目前也只能定义在二维或低于二维上。
13. 为了理解这个神秘的因子 2,考虑一束光,它有两个物理振动模。偏振光可以在水平方向或者垂直方向上振动。但是,一个相对论型麦克斯韦场 A_μ 有 4 个分量,这里 $\mu = 1, 2, 3, 4$ 。我们利用麦克斯韦方程组的规范对称性,可以减掉 4 个分量中 2 个。由于 $4 - 2 = 2$,因此最初的 4 个麦克斯韦场已经被减掉了 2 个。相似地,一个相对论型弦在 26 维中振动。但是,当我们打破弦的对称性,留下 24 个出现在拉马努金函数中的振动模时,这些振动模中的 2 个可以被去除。
14. 引自 Godfrey H. Hardy, *Ramanujan* (Cambridge: Cambridge University Press, 1940), 3.
15. 引自 James Newman, *The World of Mathematics* (Redmond, Wash.: Tempus Books, 1988), 1:363.
16. Hardy, *Ramanujan*, 9.
17. 同上, 10.
18. 同上, 11.
19. 同上, 12.

20. Jonathan Borwein and Peter Borwein, "Ramanujan and Pi," *Scientific American*, February 1988, 112.

第八章 来自第十维的信号

1. David Gross, Interview, in *Superstrings: A Theory of Everything?* ed. Paul Davies and J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 147.
2. Sheldon Glashow, *Interactions* (New York: Warner, 1988), 335.
3. 同上, 333.
4. 同上, 330.
5. Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory* (New York: Pantheon, 1992), 218 - 219.
6. 引自 John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 327.
7. 引自 F. Wilczek and B. Devine, *Longing for the Harmonies* (New York: Norton, 1988), 65.
8. John Updike, "Cosmic Gall," in *Telephone Poles and Other Poems* (New York: Knopf, 1960).
9. 引自 K. C. Cole, "A Theory of Everything," *New York Times Magazine*, 18 October 1987, 28.
10. 引自 Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 11.
11. 引自 K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (New York: Bantam, 1985), 225.

第九章 创世之前

1. 引自 E. Harrison, *Masks of the Universe* (New York: Macmillan, 1985), 211.
2. 引自 Corey S. Powell, "The Golden Age of Cosmology," *Scientific American*, July 1992, 17.
3. 轨形理论实际上是几个人的产物,他们是普林斯顿的狄克逊(L. Dixon)、哈维和威滕。
4. 多年以前,数学家们问自己一个简单问题:已知在 N 维空间中有一

个曲面,在它上面能有多少类振动存在?例如,考虑在一面鼓上倾倒一些沙子。当鼓以某个频率振动时,沙粒在鼓面上跳舞,形成美丽的对称图案。不同的沙粒图案,对应于鼓面上所允许的不同频率。与此相类似,数学家们已经计算了在一个 N 维曲面的表面上所允许的共振的数目和种类。他们甚至计算了电子在这样的假想表面上所能拥有的振动数目和种类。对数学家们来说,这是一个聪明的智力练习。没有人相信它可能会有一些物理结果。毕竟,他们认为电子在 N 维表面不会振动。

这一大堆数学定理现在都能对准大统一理论家族问题。如果弦理论是正确的,每个大统一理论家族必定反映了某个轨形上的一些振动。由于数学家已经把各式各样的振动作了分类,因此所有的物理学家不得不去查看数学书,以弄明白到底有多少确定的家族!因此,家族问题的起源是拓扑学。如果弦理论是正确的,那么大统一理论粒子三重家族的起源就不能被理解,除非我们把我们的意识拓展至十维。

一旦我们把多余的维卷进一个微小的球,我们就可以把这个理论跟实验数据进行比较。例如,弦的最低激发态对应于一个半径非常小的封闭弦。在一个封闭小弦的振动中产生的粒子,正好是那些在超引力中发现的粒子。因此,我们重新找到了超引力的所有好结果,排除了坏结果。这个新超引力的对称群是 $E(8) \times E(8)$,比标准模型的对称性大得多,甚至比大统一理论的对称性大得多。所以,超弦既包含了大统一理论,又包含了超引力理论(却没有这两个理论的众多坏特征)。超弦不是消灭它的对手,而是把它们吞并掉了。

但是,与这些轨形有关的问题是,我们可以建立成千上万的轨形。我们陷入了富裕的困境中!它们中的每一个原则上都描述了一个一致的宇宙。我们如何弄清楚哪个宇宙是正确的?在这些数以千计的解中,我们找到了许多解,它们能准确地预测三代或三族夸克和轻子。我们也能预言数以千计的解,它们中有许多超过了三代。因此,大统一理论认为三代太多,弦理论的许多解却认为三代太少!

5. David Gross, Interview, in *Superstrings: A Theory of Everything?* ed. Paul

Davies and J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 142-143.

6. 同上.

第十章 黑洞与平行宇宙

1. 更确切地说,泡利不相容原理认为,在量子数相同的相同量子态上不能同时有两个电子占据。这意味着,白矮星可以近似为一个费米海,或者近似于遵守泡利原理的电子气。

由于两个或两个以上的电子不能同时占据同一个量子态,因此一个净斥力阻止它们被压缩到一个点上。在白矮星中,最终抵抗引力的就是这种斥力。

同样的逻辑适用于中子星内的中子,因为中子也遵守泡利不相容原理,尽管由于其他的核效应和广义相对论效应而使计算变得非常复杂。

2. John Michell, in *Philosophical Transactions of the Royal Society* 74 (1784): 35.
3. 引自 Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 57.

第十一章 制造时间机器

1. 引自 Anthony Zee, *Fearful Symmetry* (New York: Macmillan, 1986), 68.
2. K. Gödel, "An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equation of Gravitation," *Review of Modern Physics* 21(1949):447.
3. F. Tipler, "Causality Violation in Asymptotically Flat Space-Times," *Physical Review Letters* 37 (1976):979.
4. M. S. Morris, K. S. Thorne, and U. Yurtsever, "Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition," *Physical Review Letters* 61 (1988):1446.
5. M. S. Morris and K. S. Thorne, "Wormholes in Spacetime and Their Use for Interstellar Travel: A Tool for Teaching General Relativity," *American Journal of Physics* 56 (1988):411.

6. Fernando Echeverria, Gunnar Klinkhammer, and Kip S. Thorne, "Billiard Ball in Wormhole Spacetimes with Closed Timelike Curves: Classical Theory," *Physical Review D* 44 (1991):1079.
7. Morris, Thorne, and Yurtsever, "Wormholes," 1447.

第十二章 碰撞着的宇宙

1. Steven Weinberg, "The Cosmological Constant Problem," *Reviews of Modern Physics* 61 (1989):6.
2. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), 377.
3. 同上, 378.
4. 引自 Alan Lightman and Roberta Brawer, *Origins: The lives and Worlds of Modern Cosmologists* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990), 479.
5. Richard Feymann, Interview, in *Superstrings: A Theory of Everything?* ed. Paul Davies and J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 196.
6. Weinberg, "Cosmological Constant Problem," 7.
7. 引自 K. C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life* (New York: Bantam, 1985), 204.
8. 引自 John Gribbin, *In Search of Schrödinger's Cat* (New York: Bantam, 1984), vi.
9. 引自 Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (New York: Bantam, 1982), 113.
10. 引自 E. Harrison, *Masks of the Universe* (New York: Macmillan, 1985), 246.
11. F. Wilczek and B. Devine, *Longing for the Harmonies* (New York: Norton, 1988), 129.
12. Pagels, *Cosmic Code*, 155.
13. 引自 David Freedman, "Parallel Universes: The New Reality - From Harvard's Wildest Physicist," *Discover Magazine*, July 1990, 52.
14. 同上, 48.

15. 同上,49.

16. 同上,51.

17. 同上,48.

第十三章 超越未来

1. Paul Davies, *Superforce: The Search for a Grand Unified Theory of Nature* (New York: Simon and Schuster, 1984),168.

2. Freeman Dyson, *Disturbing the Universe* (New York: Harper & Row, 1979),76.

3. Freeman Dyson, *Infinite in All Directions* (New York: Harper & Row, 1988),196 - 197.

4. Dyson, *Disturbing the Universe*, 212.

5. Carl Sagan, *Cosmos* (New York: Random House, 1980),306 - 307.

6. 实际上,远古之前自毁灭还是非常容易的。为了制造原子弹,任何物种所面临的基本难题是把铀 235 从铀 238 中分离出来。铀 235 跟铀 238 像是一对孪生兄弟,后者的含量比前者丰富得多但不能维持链式反应。只有铀 235 可以维持链式反应。但是铀 235 仅占天然形成的铀中的 0.3%。为了维持失控的链式反应,你需要的铀 235 浓缩程度至少是 20%。实际上,武器等级的铀达到 90% 或者更高的浓缩比。(这是铀矿为什么没有发生自发核爆炸的原因。因为在铀矿中天然形成的铀只有 0.3% 被浓缩,所以它含有的铀 235 的浓度低得太多而不能维持失控的核链式反应。)

因为铀 235 比它的更加丰富的孪生兄弟铀 238 的寿命相对要短,所以在远古以前,在我们宇宙中天然形成的浓缩比远比 0.3% 大。

换句话说,那时任何文明制造原子弹要容易得多,因为天然形成的浓缩比远比今天的大。

7. Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (New York: Bantam, 1982),309.

8. Sagan, *Cosmos*,231.

9. 引自 Melinda Beck and Daniel Glick, "And If the Comet Misses," *Newsweek*, 23 November 1992,61.

第十四章 宇宙的命运

1. 引自 John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 167.
2. 引自 Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning for Time* (New York: Bantam, 1985), 382.
3. 同上, 234.
4. 英国苏塞克斯大学的天文学家巴罗和加利福尼亚大学伯克利分校的天文学家西尔克从这种沉闷的方案中看到了一些希望。他们写道:“如果具有某种形状或者形态的生命在这种极端的环境危机中幸存下来,那么宇宙必定满足某些基本的要求。这个能使生命幸存下来的基本先决条件是能源。
“宇宙膨胀中的各向异性、黑洞蒸发以及残留的裸奇点,都是所有生命的同一类保护者。……无限的信息量在开放宇宙中潜在可以获得,它的同化作用将是某种幸存下来的、非物质的智能的首要目标”(*The Left Hand of Creation* [New York: Basic Book, 1983], 226).
5. 同上.
6. Gerald Feinberg, *Solid Clues* (New York: Simon and Schuster, 1985), 95.

第十五章 结语

1. 引自 Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (New York: Bantam Books, 1982), 173 - 174.
2. Edward Witten, Interview, in *Superstrings: A Theory of Everything?* ed. Paul Davies and J. Brown (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), 102.
3. 引自 John D. Barrow and Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (Oxford: Oxford University Press, 1986), 185.
4. Pagels, *Cosmic Code*, 382.
5. James Trefil, *The Moment of Creation* (New York: Macmillan, 1983), 220.
6. John Ellis, Interview, in *Superstrings*, ed. Davies and Brown, 161.
7. 引自 R. P. Crease and C. C. Mann, *The Second Creation* (New York:

Macmillan, 1986), 77.

8. 引自 Anthony Zee, *Fearful Symmetry* (New York: Macmillan, 1986), 122.

9. 同上, 274.

10. Heinz Pagels, *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time* (New York: Bantam, 1985), xiii.

11. Stephen Hawking, *A Brief History of Time* (New York: Bantam, 1988), 175.

参考文献和推荐读物

- Abbot, E. A. *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. New York: New American Library, 1984.
- Barrow, J. D., and F. J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- Bell, E. T. *Men of Mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1937.
- Calder, N. *The Key to the Universe*. New York: Penguin, 1977.
- Chester, M. *Particles*. New York: Macmillan, 1978.
- Crease, R., and C. Mann. *The Second Creation*. New York: Macmillan, 1986.
- Davies, P. *The Forces of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- Davies, P. *Superforce: The Search for a Grand Unified Theory of Nature*. New York: Simon and Schuster, 1984.
- Davies, P., and J. Brown, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- Dyson, F. *Disturbing the Universe*. New York: Harper & Row, 1979.
- Dyson F. *Infinite in All Directions*. New York: Harper & Row, 1988.
- Feinberg, G. *Solid Clues*. New York: Simon and Schuster, 1985.
- Feinberg, G. *What Is the World Made Of?* New York: Doubleday, 1977.
- French, A. P. *Einstein: A Centenary Volume*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1979.
- Gamow, G. *The Birth and Death of Our Sun*. New York: Viking, 1952.
- Glashow, S. L. *Interactions*. New York: Warner, 1988.
- Gribbin, J. *In Search of Schrödinger's Cat*. New York: Bantam, 1984.
- Hawking, S. W. *A Brief History of Time*. New York: Bantam, 1988.
- Heisenberg, W. *Physics and Beyond*. New York: Harper Torchbooks, 1971.

- Henderson, L. D. *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1983.
- Kaku, M. *Introduction to Superstrings*. New York: Springer-Verlag, 1988.
- Kaku, M., and J. Trainer. *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*. New York: Bantam, 1987.
- Kaufmann, W. J. *Black Holes and Warped Space-Time*. San Francisco: Freeman, 1979.
- Lenin, V. *Materialism and Empiro-Criticism*. In K. Marx, F. Engels, and V. Lenin, *On Dialectical Materialism*. Moscow: Progress, 1977.
- Pagels, H. *The Cosmic Code*. New York: Bantam, 1982.
- Pagels, H. *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time*. New York: Bantam, 1985.
- Pais, A. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- Penrose, R. *The Emperor's New Mind*. Oxford: Oxford University Press, 1989.
- Polkinghorne, J. C. *The Quantum World*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1984.
- Rucker, R. *Geometry, Relativity, and the Fourth Dimension*. New York: Dover, 1977.
- Rucker, R. *The Fourth Dimension*. Boston: Houghton Mifflin, 1984.
- Sagan, C. *Cosmos*. New York: Random House, 1980.
- Silk, J. *The Big Bang: The Creation and Evolution of the Universe*. 2nd ed. San Francisco: Freeman, 1988.
- Trefil, J. S. *From Atoms to Quarks*, New York: Scribner, 1980.
- Trefil, J. S. *The Moment of Creation*. New York: Macmillan, 1983.
- Weinberg, S. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books, 1988.
- Wilczek, F., and B. Devinc. *Longing for the Harmonies*. New York: Norton, 1988.
- Zee, A. *Fearful Symmetry*. New York: Macmillan, 1986.

