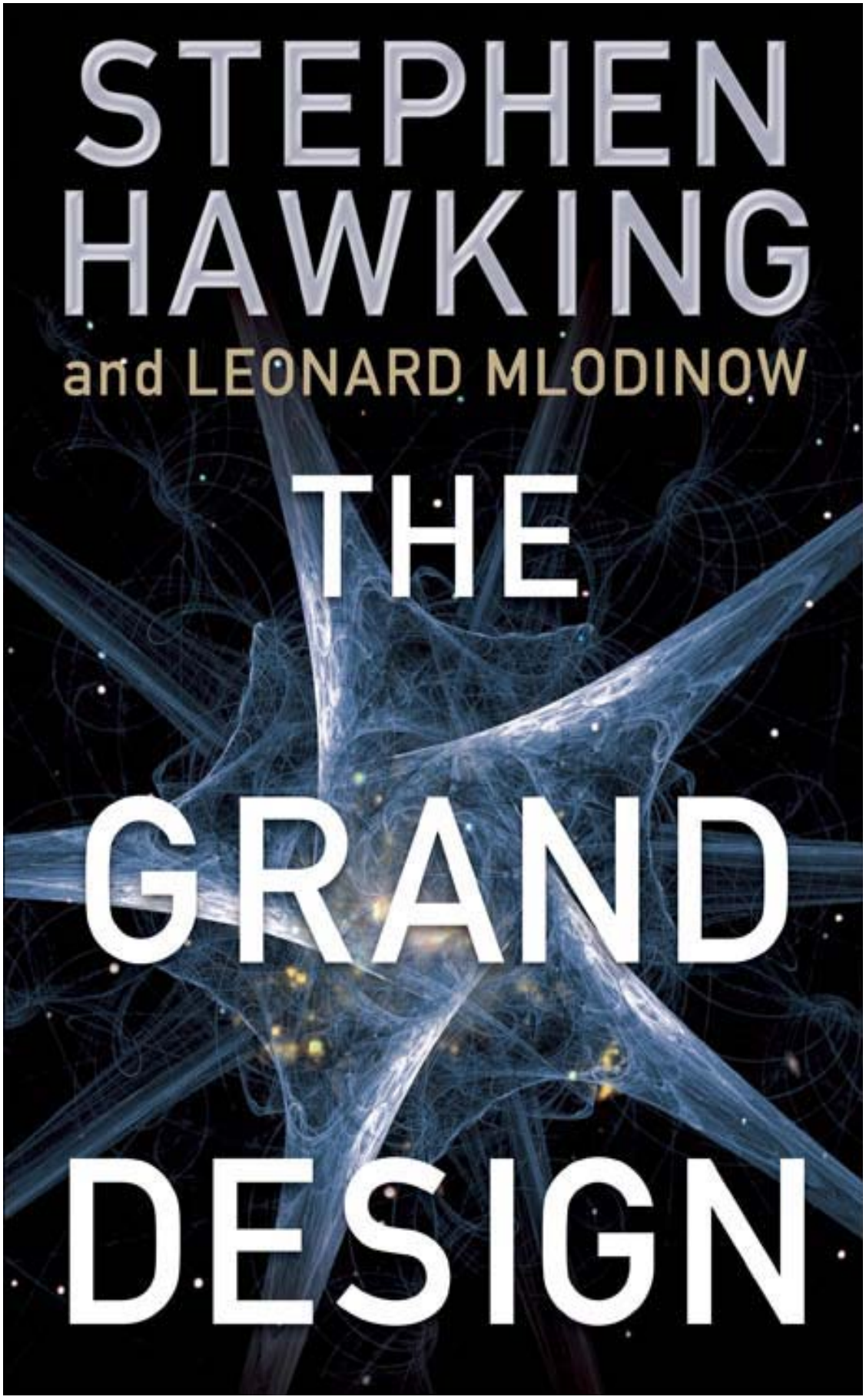
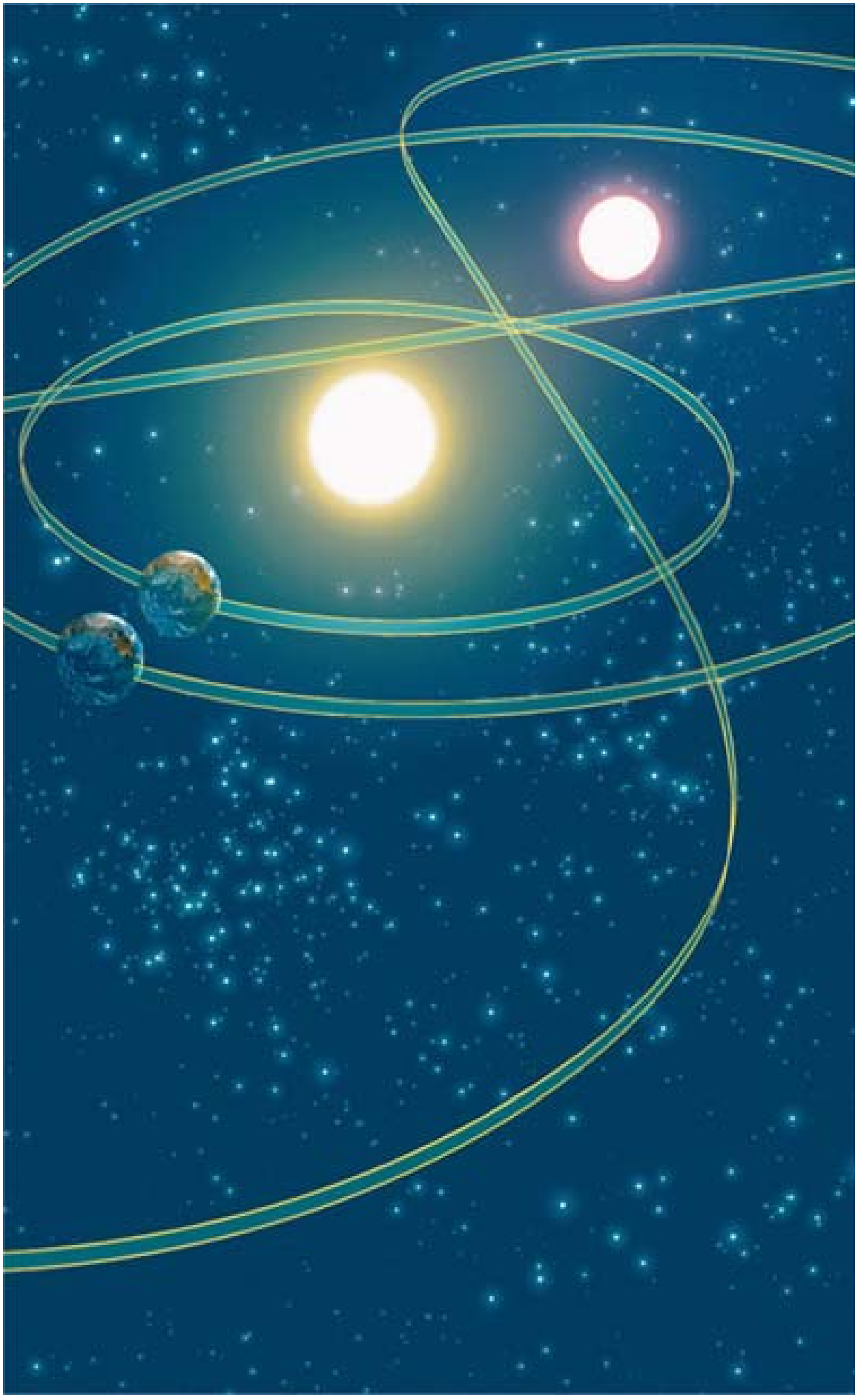

STEPHEN
HAWKING
and LEONARD MLODINOW
THE
GRAND
DESIGN

# 伟 大 设 计

【著】史蒂芬·霍金 列纳德·蒙洛迪诺

【译】 如是我闻 mengdie1982@126.com



# 目　录


第一章　存在之谜　2

第二章　定律之治　8

第三章　何为实在　27

第四章　可择历史　47

第五章　万物之理　66

第六章　选择宇宙　95

第七章　表观定律　115

第八章　伟大设计　131

术语表　141



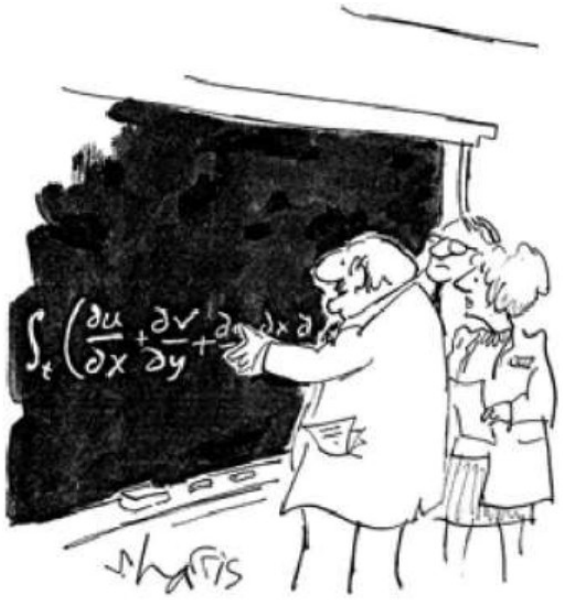
# 第一章　存在之谜

我们每个人都只能存在很短的时间，在这短暂的时间里我们只能探索整个宇宙的一隅。然而，人类是好奇的物种。我们想要知道，我们追寻答案。生活在这时而仁慈又时而残酷的广袤世界，凝望着头顶上的浩渺苍穹，人们一直以来就在寻问大堆的问题：我们怎么理解我们身居其中的世界？宇宙怎么行为？实在的本质是什么？所有一切从何而来？宇宙需要一个创造者吗？我们中的大多数人都不会花太多的时间去操心这些问题，但几乎我们所有人都会在某些时候为它们发愁。

在传统上，这些问题是哲学问题，然而哲学死了。哲学已经跟不上科学尤其是物理学的现代发展。在我们探索知识的进程中，科学家已成为发现的火炬手。本书的目的就在于给出由新近的探索发现和理论进展提供的解答。它们带领我们走进一个描绘宇宙和人类在宇宙中所处位置的新图景，那个图景非常不同于传统图景，甚至也不同于我们在一二十年前所描绘的那个。不过，这个新概念的最初轮廓是可以追溯到几乎一个世纪以前的。

按照传统的宇宙观念，物体沿着定义明确的路径运动，并且拥有确定的历史。我们能够指明它们在每一个时刻的精确位置。

尽管这种描述对于日常目的已经足够成功了，但是，在 20 世纪 20 年代，人们发现这种“经典”图景不能解释观测到的实存于原子和亚原子尺度的看似奇异的行为样态。作为替代，这就有必要采纳一个称为量子物理的不同框架。量子论已被证明对于预测那些尺度中发生的事件是非常精确的，同时它也能再现旧有经典理论运用到日常生活宏观世界所给出的预言。然而，量子物理和经典物理是建立在迥异的物理实在观念的基础之上的。



“……那就是我的哲学。”

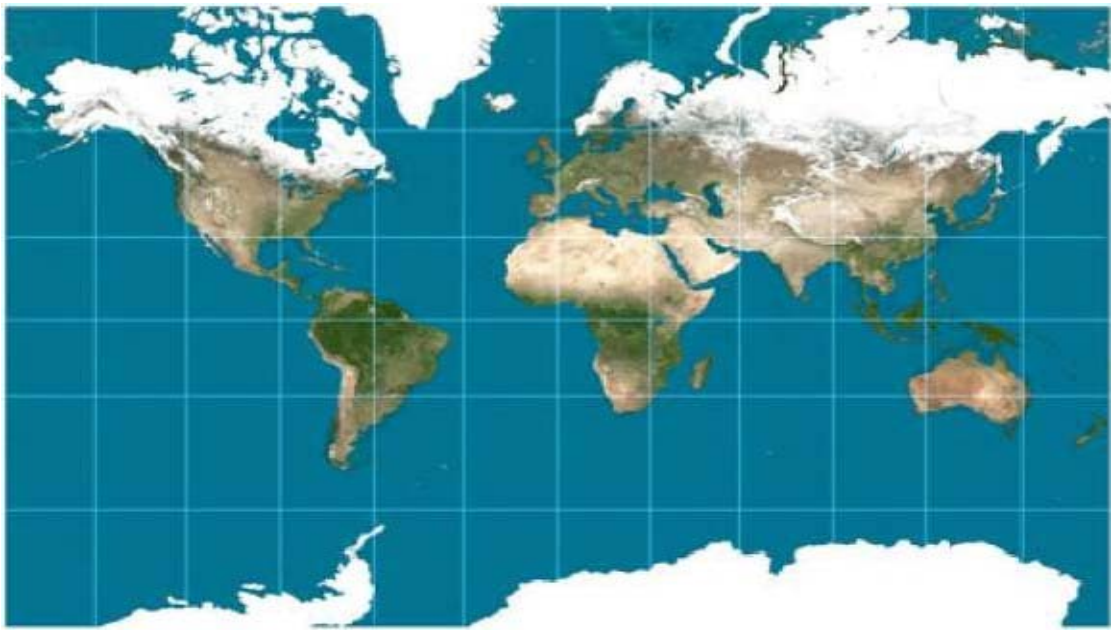
量子论可以用许多不同的方式来表述，但理查德（迪克）·费恩曼给出的表述可能是最为直观的，他是一个生活丰富多彩的人，工作于加州理工学院，经常在路边的脱衣舞夜总会敲奏邦戈鼓。按照费恩曼的说法，一个系统并非只有一个历史而是有每一种可能的历史。在追寻答案的进程中，我们将详细解释费恩曼的方法，并运用这种方法来探究这样一个观念，即宇宙本身并没有单一的历史，甚至也不是独立的存在。这个观念即使在许多物理学家看

来都显得太过激进了。的确，正如今天科学当中的许多观点一样，它似乎违背了常识。然而，常识基于日常经验，而不是基于需要通过技术奇迹才能显现的宇宙，这些技术奇迹允许我们深入观察原子或是追溯早期宇宙。

在现代物理学到来以前，人们普遍认为，关于世界的所有知识都能通过直接的观测获得，事物就是它们表现出来的样子，通过我们的知觉被我们感知。然而，基于费恩曼观点这类与日常经验冲突的观念的现代物理学，它取得的惊人成就已经表明事实并非如此。关于实在的那种幼稚观点因而是与现代物理学格格不入的。为了解决这些悖论，我们将采纳一种称为依赖模型的实在论的方法。它基于这样的观念，即我们的大脑通过建立一个关于世界的模型来解译我们的感官输入。当这样的模型能够成功地解释事件，我们就倾向于给它以及组成它的元素和概念赋予实在性或者绝对真理性。然而，可能存在不同的方法，在每一种方法中人们可以利用不同的基本元素和概念来为相同的物理状况建模。假如有两种这样的物理理论或者模型都能准确地预测同一个事件，我们就不能认为一个比另一个更真实；相反，我们可以自由地运用任何最为简便的模型。

科学史上，从柏拉图到牛顿经典理论再到现代量子论，我们已经发现了一连串越来越好的理论或模型。人们自然会问，这种发现的序列最后是否会终结于一个宇宙终极理论，它将包含所有的力并预言我们所能做的一切观测，又或者我们将持续不断地找到越来越好的理论而没有任何一个理论不能再作改进？对于这个问题，我们尚无确切答案，不过，如果确实存在一个万物终极理论，那么我们现在已经有了其候选者，这就是所谓的 M 理论。M 理论是具备在我们看来最终理论所应具备的所有性质的惟一模型，我们后面的讨论有许多都基于 M 理论。

M 理论不是通常意义上的那种理论，而是许多各不相同的理论的全族，其中每一个理论仅仅在物理状况的某个范围内才能算是好的描述。这有点像地图。众所周知，我们不能只用一幅地图就展现地表全貌。常用于世界地图的墨卡托投影法会使得更北和更南的区域显得越来越大，并且没有覆盖北极和南极。为了忠实地绘制整个地球，我们必须使用一系列地图，每张地图都只能覆盖一个有限的地区。这些地图彼此叠合，在叠合之处，它们就显示同样的地表景观。M 理论与此类似，M 理论中的各种理论看上去都非常不同，但都可以看作是同一个基础理论的某些方面。它们作为理论版本，只能运用于有限的领域——例如在能量之类的某些量相当小的场合。就像墨卡托投影中叠合的地图一样，在不同理论版本叠合的领域，它们就预测同样的现象。但是，正如没有任何一幅平面地图能很好地展现地球整个表面，也没有哪个单一理论能很好地表述所有情况下的观测。



**世界地图** 正如需要叠合的地图来表现地球一样，我们也需要一系列叠合的理论来表现宇宙。

我们将描述 M 理论是如何为创世问题提供解答的。根据 M 理论，我们的宇宙不是唯一的宇宙。相反，M 理论预测了许许多多的宇宙都无中生有地创造出来。它们的创生不需要某位超自然存在或者神的介入。这些多重宇宙是物理定律自然地导致的。它们是科学的预测。在晚期，也就是在当今这样的宇宙创生已久的时期，每个宇宙都有了许多可能的历史以及许多可能的状态。大多数的状态将会非常不同于我们观测着的这个宇宙，也将会相当不适宜任何形式的生命存在。只有非常少数的宇宙允许像我们这样的生物存活。因而，我们的存在就从大堆宇宙中将那些适宜我们生存的宇宙选择出来。尽管我们在宇宙的尺度中是微不足道、无关紧要的，但在某种意义上这使我们成为了万物之灵。

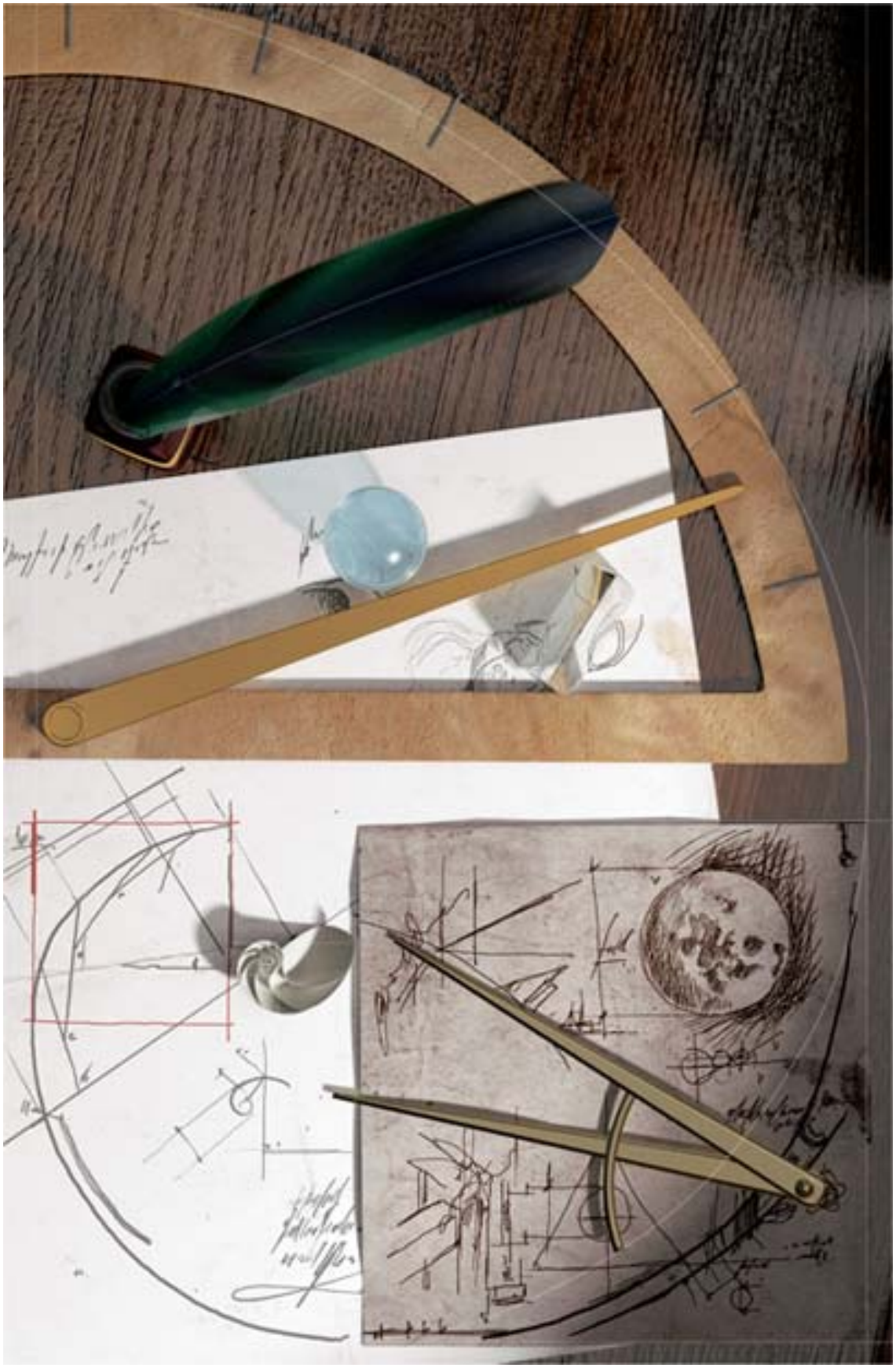
为了最深层次地理解宇宙，我们不仅需要知道宇宙**如何**行为，而且还需要知道宇宙**为何**如此行为。

*为何有物存在而非虚无？*

*为何我们会存在？*

*为何是这一组特殊的定律而非其他？*

这是生命、宇宙和万物的终极问题。本书中我们将尝试解答它。与《银河系漫游指南》给出的答案不同，我们的答案不会简单地是“ 42 ”。



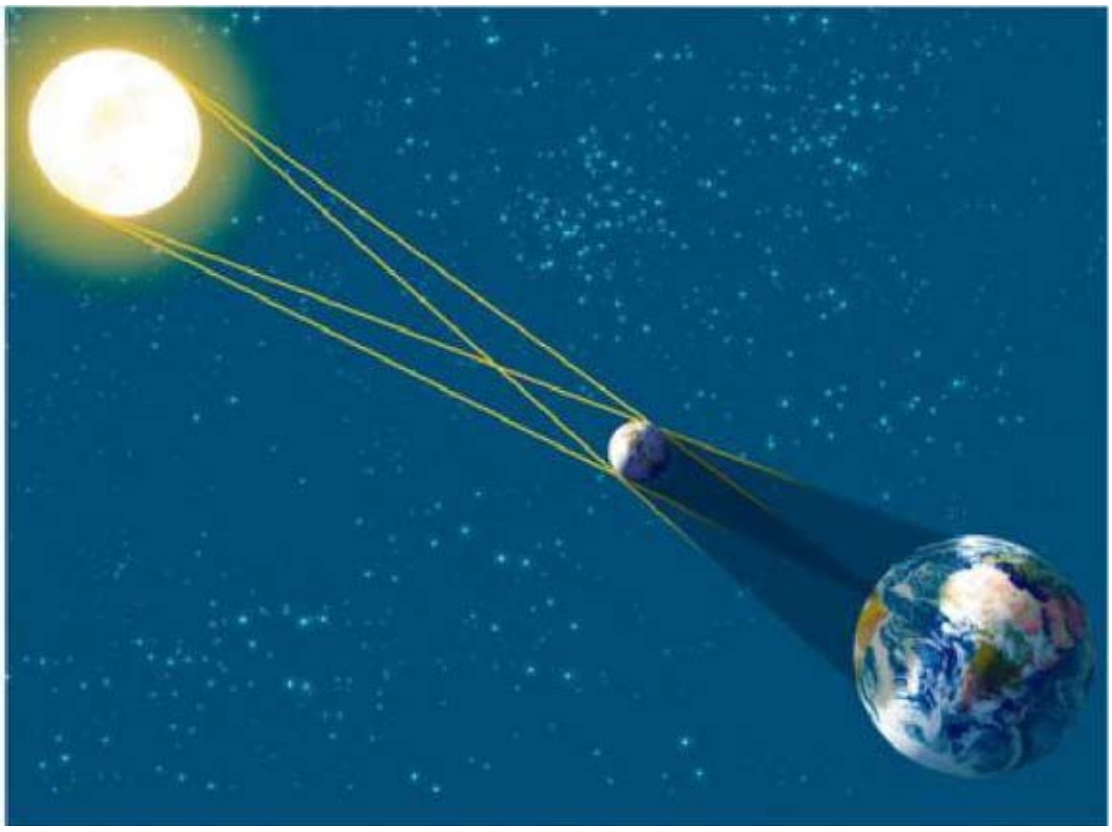
# 第二章　定律之治

斯考尔狼把月亮惊吓得四处逃亡，
直到月亮飞进悲伤之林那个地方。
哈蒂狼是赫瑞德威特尼尔的亲戚，
他穷凶极恶地追赶着可怜的太阳。

**——格里姆尼尔之歌，《老埃达》**

在维京人的神话中，斯考尔和哈蒂追逐着太阳和月亮。当这两头恶狼抓住太阳和月亮中任何一个时，日食或者月食就发生了。发生之时，大地上的人们会急忙行动起来去拯救太阳或月亮，人们尽其所能地制造噪音希望能吓跑恶狼。在其他的文化中也存在着相似的神话。然而，一段时间以后，人们一定注意到，无论他们是否来回奔跑，是否敲打东西、尖叫咆哮，太阳和月亮不久就会从日食和月食中重现。一段时间以后，人们也一定注意到，日食和月食并不是随机的：它们按照循环往复的规律模式发生。月食的模式非常明显，这使得古巴比伦人能够相当准确地预测月食，尽管他们并不知道月食的起因是地球挡住了太阳光。日食更

难预测一些，因为日食在地球上只有大约 30 英里宽的一条可见地带。不过，人们一旦领悟，日食和月食的模式就会清楚地表明，它们的发生并不依赖于超自然存在的恣意狂想，而是受定律制约的。



**日食** 古代人并不了解是什么导致了日食，但他们的确注意到了日食发生的模式。

尽管对天体运行的预测在人类早期就取得了一些成功，但是大多数的自然事件在我们的祖先看来仍是不可预测的。火山、地震、风暴、瘟疫和趾甲内生症，这所有一切的发生都似乎毫无明显起因和模式。在古代，将自然的暴行归因于淘气的众神或者恶毒的神明，这是很自然的事情。灾难常常被视为我们莫名其妙冒

犯了神明的信号。举例来说，大约是在公元前 5600 年，俄勒冈州的马扎马火山喷发，岩石下坠、灰烬燃烧，持续了好几年，也导致了长年累月的降雨，雨水最终填满了火山口形成了今天所谓的火口湖。俄勒冈的克拉马斯族印第安人有一个传说，传说忠实地符合这个事件的每一个地理细节，只不过还将人描绘成这场灾难的起因，这为传说增添了些许的戏剧性。人类内疚的能力如此之强，以至于总是能找到办法自责。传说是这样的，劳是下界的首领，他爱上了一位克拉马斯酋长的美丽女儿。酋长女儿冷落了劳，作为报复劳企图用一场大火毁灭克拉马斯人。所幸的是，根据传说，史凯尔，这位上界的首领，他怜悯人类，与他的下界对手展开了一场大战。最终，劳负伤了，他退避钻进了马扎马山，留下了一个巨大的山口，火山口最后积满了水。

对天道的无知使得古代人创造出众神来主宰人类生活的方方面面。有爱神和战神，日神、地神和天神，海神与河神，雨神和雷神，甚至还有地震之神和火山之神。当众神愉悦时，人类就被赐以好的天气与和平，并免于自然灾害和疾病。当他们不高兴时，干旱、战争、瘟疫、流行病就接踵而至。由于自然界的因果联系是无法眼见的，众神也似乎不可思议，人类任由它们摆布。然而，大约 2600 年前，随着米利都的泰勒斯（约前 624 年~约前 546 年）的到来，事情开始有了变化。自然遵循可解的一致性原理的观念出现了。定律统治自然的观念取代神明统治自然的观念的漫长进程也开始了。这种新的观念告诉我们，宇宙是受自然界的定律制约的，并且是根据一个我们有朝一日必能读懂的设计蓝图创造出来的。

纵观人类历史的时间轴，科学探索是非常新近的努力。我们智人这个物种，在大约公元前 20 万年的时候起源于撒哈拉以南的

非洲。书面语言只能追溯到公元前 7000 年左右，它是农耕社会的产物。(在最古老的书面碑文中有些涉及到了将啤酒划拨给每一个公民的日常定额。)伟大的古希腊文明的最早文字记载可以追溯到公元前 9 世纪，但作为文明巅峰的“ 古典时期 ”要在几百年之后才能到来，始于比公元前 500 年更早些的时候。根据亚里士多德（前 384 年~前 322 年）的说法，就在那个时期，泰勒斯首次表露出这样一种观点，世界能被理解，我们周围的复杂事件可以还原成更为简单的原则并能够不诉诸于神话或者神学就得以解释。

泰勒斯被认为预言了发生于公元前 585 年的那场日食，他是预测日食的第一人，尽管他的精确预言可能只是一个幸运的猜测。他是个生平模糊的人物，没有留下自己的任何著作。他的家乡是爱奥尼亚地区的一个文化中心，爱奥尼亚曾是古希腊人的殖民地，其发挥的影响最终越过土耳其，向西延伸至意大利。爱奥尼亚的科学是一种努力尝试，其特征就是对揭示基本定律、解释自然现象抱有浓厚兴趣，这是人类思想史上一个极其重要的里程碑。爱奥尼亚人的方法是理性的，甚至在许多方面，这种方法达成的结论，与今天更高级的方法引导我们去相信的那些结论都惊人地相似。它代表着一个伟大开端。然而，若干个世纪以后，爱奥尼亚的许多科学成就将被遗忘——只是被后人不止一次地重新发现或者重新发明。

相传，第一个在今天可称为自然定律的数学公式要追溯到一个名叫毕达哥拉斯（约前 580 年~约前 490 年）的爱奥尼亚人，他凭借那个以他名字命名的定理闻名于世：直角三角形斜边（最长的边）的平方等于另外两条边平方之和。据说，毕达哥拉斯已经发现了乐器中琴弦的长度与和声之间的数量关系。在今天的语言中，我们会使用固定张力下琴弦振动频率——每秒振动的次数—

—与琴弦长度成反比的说法来表述这一关系。从实用的观点看来，这解释了为什么低音吉他一定比普通吉他有更长的琴弦。也许，毕达哥拉斯并没有真的发现这个关系——他也没有发现冠以他名字的那个定理——但是，有证据表明琴弦和音高之间的某种关系在他所处那个时代已经获知了。果真如此的话，那么我们可以把这个简单的数学公式视作今天所谓的理论物理学的第一个例子。




**爱奥尼亚** 爱奥尼亚是古希腊学派中第一个通过自然定律而非神话或神学来解释宇宙的学派。

除了毕达哥拉斯的琴弦定律之外，古代人准确知道的物理定律仅有三个，它们是由阿基米德（约前 287 年~约前 212 年）表达的，他无疑是最杰出的古代物理学家。用今天的术语来说，杠杆定律解释了小的力能托举起大的重量，因为杠杆按照力离开支点

距离的比例将力放大。浮力定律陈述了浸入液体中的任何物体将受到一个方向向上的、大小与它排开液体的重量相等的力。而反射定律则断言光束与镜面的夹角等于它的反射光束与镜面的夹角。然而，阿基米德没有把它们称作定律，也没有引用观测和度量来解释它们。相反，他把它们当作是一个公理化系统里的纯粹数学定理，这个公理化系统与欧几里得为几何学所建立的那个非常相似。

随着爱奥尼亚影响的传播，出现了另外一些人，他们看到宇宙具有一个可以通过观测和推理来加以理解的内部秩序。阿那克西曼德（约前 610 年~约前 546 年），他是泰勒斯的朋友，也可能是他的学生，他认为人类的婴儿在出生时是无助的，假如第一个人以婴儿的形态不知何故地出现在了地球上，他就不会存活下来。阿那克西曼德推论道，人类因而一定是由幼崽更能吃苦耐劳的其他动物进化而来的，这可能是人类最早的关于进化的模糊认识。在西西里岛，恩培多克勒（约前 490 年~约前 430 年）观察了一种称为漏壶的器具的用法。有些时候，它被当作勺子使用，由一个颈部开口、底有小孔的球体组成。把漏壶浸入水中，它会被水填满，如果再把颈部的开口封上，漏壶可以托举出水面，壶中的水并不会从小孔流出来。恩培多克勒还注意到，如果在壶浸入水中之前就封住颈口，漏壶就装不进水。他推论说，一定有种看不见的东西在阻碍着水从小孔流入漏壶球中——他已经发现了我们称为空气的物质。

大约同时，来自希腊北部一个爱奥尼亚殖民地的德谟克利特(约前 460~约前 370)，也在沉思一个问题，当你把一个物体分裂或者切割成碎片时，会出现什么呢？他认为，你应该不能将这个过程无限地继续下去。相反，他假定包括所有生物在内的一切都是

由一些不可再分的基本粒子组成的，他把这种终极的粒子命名为原子，这个词源于希腊语中的形容词，意思是“ 不可分割的 ”。德谟克里特相信，每一种物质现象都是原子碰撞的结果。从他的称为原子论的观点看来，所有原子都在空间中四处移动，并且除非受到干扰，否则就会无限地运动下去。今天，这一观念叫做惯性定律。

一个革命性的观点是，我们只不过是宇宙中的普通居民，而不是居于宇宙中心的特殊生物。它是由爱奥尼亚较晚时期的一个科学家阿里斯塔克（约前 310 年~约前 230 年）首次提出的。他唯一保存下来的计算是一个对仔细观测到的结果所作的复杂几何分析，在一次月食期间，他测算出了地球在月球上的投影大小。他从计算数据中推出了太阳一定比地球更大的结论。也许正是受到小天体应该围绕大天体运转而非相反这一观念的启发，他主张说地球不是我们所在的行星系的中心，而是和其他的行星一样围绕着更大的太阳运转，他是持有这种思想的第一人。从认识到地球只是另外一颗行星到认为我们的太阳也并非特殊之物，这仅仅是人类认识的一小步。阿里斯塔克猜测这可能就是事实，他相信我们在夜空中看到的满天繁星实际上只不过是一个个遥远的太阳。

爱奥尼亚学派仅是古希腊哲学众多学派中的一个，古希腊哲学的每一个学派都持有不同的并且常常是相互矛盾的观念传统。遗憾的是，爱奥尼亚人关于自然的观念——即自然可以通过一般的定律得到解释并可以被还原为一组简洁的原则——发挥的强劲影响仅仅持续了几个世纪。其中的一个原因就是，爱奥尼亚人的理论似乎没有为自由意志或目的的概念留出空间，也没有为神干预世界运转的观念留出地盘。对于许多古希腊哲人而言，他们和今天很多人的看法一样，认为这些都是令人吃惊、使人不安的疏

忽大意。比如，哲学家伊壁鸠鲁（前 341 年~前 270 年），他就反对原子论，反对的理由是他觉得“ 与其成为自然科学家所谓命运的‘ 奴隶 ’还不如遵循神话 ”。亚历士多德也拒斥原子的概念，因为他不能接受人类是由无灵魂、无生命的物体构成的。宇宙并不是以人类为中心的，爱奥尼亚人的这种思想是我们认识宇宙历程中的一个里程碑，这个思想终究会被人们遗弃，在漫长的时间里，它没有被再次提起，也没有获得普遍接受，直到大约 2000 年后伽利略的出现。

尽管古希腊人大多数观念与它们关于自然的某些假说一样都极富洞察力，但是它们却不能像现代的有效科学那样通过检验。一个原因就是古希腊人没有发明科学的方法，他们发展理论并不以实验检定为目标。因此，如果一位学者声称原子保持直线运动直到它撞到第二个原子，而另一位则声称原子保持直线运动直到碰上一个剑水蚤，那就没有解决这种争议的客观方法。另外，古希腊人也没有对人定之法和物理定律作出明确区分。例如，在公元前 5 世纪，阿那克西曼德写道，万物由初始物质产生并复归于它，以免它们“ 由于非正义而遭受惩罚 ”。同时，根据爱奥尼亚哲学家赫拉克利特（约前 535 年~约前 475 年）的说法，太阳必须如其所是地运行，否则就会遭到正义女神的追杀。几百年以后，斯多噶学派，大约于公元前 3 世纪出现的一个古希腊哲学学派，他们对人定之法和自然定律作了区分，但是却把一些他们普遍尊崇的人类行为准则——诸如敬神和顺从父母——纳入自然定律的范畴。反之，他们又常常用法律术语描述物理过程并且相信它们需要强制实施，即使需要“ 遵守 ”定律的物体是无生命的。如果你觉得让人们遵守交通规则是件困难的事，那么请想象一下，说服一颗小行星沿椭圆运行该有多难。

在那以后的许多世纪里，这个传统持续影响着那些追随古希腊人的思想家们。13 世纪，早期基督教哲学家托马斯·阿奎那（约 1225 年~1274 年）采纳了如下观点并用以证明上帝存在，他写道，“很清楚，（无生命物体）实现它们的目的不是偶然为之的而是有意为之的……，因而必然有一个智能的人格化存在，自然界中的一切都在他的安排下趋向目的。”甚至晚到 16 世纪，伟大的德国天文学家约翰内斯·开普勒（1571 年~1630 年）仍然相信行星是有感觉的，它们自觉地服从它们通过“思想”领悟到的运动定律。

自然定律必须被有意识地服从，这个观念反映了古代人的精力是集中于研究自然为何如此行为而不是自然如何行为。拒斥科学主要基于观测的思想，亚里士多德是走这条路的首要支持者。但无论如何，精确测量和数学计算在古代确是非常困难的。我们发现如此便于算术的十个基本数码只能回溯到公元 700 年左右，印度人在当时为这个学科创造了一种强大工具，迈出了伟大的第一步。加减法的简略记号迟至 15 世纪才出现。并且在 16 世纪之前，无论是等号还是精确到秒的时钟都还并不存在。

然而，亚里士多德并没有看到测量和计算的问题阻碍了可作定量预测的物理学的发展。相反，他认为建立这种物理学毫无必要。亚里士多德把他的物理学建筑在对他的理智有吸引力的那些原理的基础上。他压制那些他不感兴趣的事实，转而致力研究事物发生的原因，同时将相对少的精力投入到对事物发生情况的精确描述之中。当他的结论和观测结果之间的明显矛盾无法忽略时，亚里士多德就修正他的结论。但是，这种修正通常是一些特别解释，只不过是在矛盾之上裱裱糊糊。按照这种方式，无论他的理论背离事实何其严重，他总能修正理论以使之刚好足以排除矛盾。比如，他的运动理论指明重物以恒定速度下落，速度与它的重量

成比例。为了解释物体下落明显加速这一事实，他又发明了一个新原理——当物体离它静止的自然位置越来越近，它就行进得越来越兴高采烈，因而加速了，在今天看来，这个原理用来描述某些人比用来描述无生命的物体会更加贴切。尽管亚里士多德的理论通常没有什么预测价值，但是他研究科学的方法还是主宰了西方思想界将近两千年。

希腊人的基督徒继承者拒斥宇宙受中立的自然定律制约的思想。他们也同样抵制人类在宇宙中并没有占据特许位置的观念。尽管中世纪没有独立而又连贯的哲学体系，但是中世纪哲学有一



“如果说我在长期统治中了解了一件事，那就是被放在火上烤。”

个共同主题，那就是认为宇宙是上帝的“玩具屋”，宗教比自然现象更具研究价值。的确，在 1277 年，巴黎主教丹皮尔就执行教皇约翰二十一世的指令，公布了一份列有 219 条将被定罪的错误或异端邪说的名单。因为与上帝全能论冲突，自然服从定律的观念就被打入异端。十分有意思的是，教皇约翰恰恰是被万有引力定律的效应杀死的，几个月之后，他的宫殿屋顶坍塌砸在了他的身上。

自然定律的现代概念出现于 17 世纪。开普勒似乎是从现代科学的意义上理解这个术语的第一位科学家，尽管我们曾提到他仍然保留了万物有灵的观念。伽利略（1564 年~1642 年）在他的大多数科学著作中并没有使用过“定律”这一术语（即使它出现在这些著作的一些译本里）。不论他是否使用过这个词语，伽利略的确发现了大量定律，并且拥护这样一个重要原则，即观测是科学的基础，科学的目的就是研究存在于物理现象之间的数量关系。但是，第一个用公式明晰而又严格地表达如我们所理解的那种自然定律概念的人是勒内·笛卡尔（1596 年~1650 年）。

笛卡尔相信，所有的物理现象都必须依据运动物体的碰撞来解释，它们受三条定律制约——这是著名的牛顿运动定律的先导。他断言那些自然定律在任何地点任何时间都是有效的，并且明确地陈述说服从这些定律并不意味着运动的物体就具有思想。笛卡尔同样认识到了我们今天所谓的“初始条件”的重要性。初始条件描述了一个系统在我们力图为之做出预测的任何时间间隙内的最初状态。给定一组初始条件，自然定律就决定了一个系统随着时间发展将如何演变，但是如果缺乏一组详明的初始条件，我们就不能详细地说明演变的进程。例如，假设一只鸽子于时间零点

在正上方抛落某个东西，落体的路径由牛顿定律决定。但是结果可能会非常不同，这取决于在时间零点鸽子是安静地呆在电话线上还是在以每小时 20 英里的速度飞翔。为了运用物理定律，人们必须知道系统如何起始，或者至少要知道系统在某确定时刻的状态。（人们也可以运用这些定律在时间上向后追溯系统的先前状态。）

随着自然定律存在这一的信念的复兴，调和自然定律和上帝概念的新尝试出现了。按照笛卡尔的说法，上帝可以随意更改伦理命题和数学定理的真假，但却不能改变自然定律。他相信上帝颁布了自然定律，然而上帝却对此别无选择；相反，因为我们经验到的这些定律是仅有的可能定律，所以上帝才选择了它们。这似乎冒犯了上帝的权威，但笛卡尔回避了这个问题，他主张说定律是不可改变的，因为它们是上帝自身固有本性的反映。如果那是真的，那么我们就可以认为上帝仍然可以选择去创造各种各样不同的世界，每一个世界都对应着一组不同的初始条件，但是笛卡儿同样否认了这一点。他争辩道，无论在宇宙起始时物质如何安排，随着时间的推移，所有世界都将会演化为与我们的世界同一。此外，笛卡尔还觉得，上帝一旦起动世界，他就放任世界自己运行。

类似的立场（带着一些例外）也被艾萨克·牛顿（1643 年~1727 年）所采纳。牛顿凭借他的三条运动定律和万有引力定律赢得了人们对科学定律现代概念的广泛接受，这些定律说明了地球、月球和行星的运行轨道，解释了潮汐这类自然现象的成因。他创造的为数不多的方程，以及由之衍生出来的精巧的数学框架，今天仍然在被讲授。每当建筑师要设计一幢楼房，工程师要设计一辆汽车，物理学家要计算如何使一枚火箭在火星着陆时，都会运用

到它们。正如诗人亚历山大·蒲柏所言：

自然和自然的定律隐藏在黑夜之中；
上帝说，让牛顿出现吧！于是，万物生明。

今天，大多数科学家会说，自然定律是建立在观测到的规律性基础上能够为它所基于的直接情形之外的情况提供预测的规则。例如，我们大概注意到了，在我们生活中的每个早晨，太阳都从东方升起，于是我们就假定一条定律“太阳总是从东方升起”。这是个一般性的概括，超出了我们对日出的有限观测并能对未来做出可被验证的预测。另一方面，诸如“这个办公室的电脑是黑色的”这类陈述就不是自然定律，因为它仅只涉及这个办公室里的电脑而不能做出“如果我的办公室购置了一台新电脑，那么它也将是黑色”这样的预测。

我们对“自然定律”这个术语的现代理解是一个被哲学家充分讨论过的问题，它比我们初起想来还要难以捉摸。举个例子，哲学家约翰·W·卡洛尔将“所有金球的直径都小于 1 英里”这个陈述与“所有铀-235 球的直径都小于 1 英里”这样的陈述作了比较。我们对世界的观测告诉我们，不存在直径超过 1 英里的金球，同时我们也相当确信这永远不会有。然而，我们还是没有理由认为一定不可能有，因此，这个表述不能认为是定律。另一方面，“所有铀-235 球的直径都小于 1 英里”可以看作是一条自然定律，因为根据我们的核物理学知识，只要一个铀-235 球的直径超过了大约 6 英寸，它就会在一场核爆炸中自毁。因此，我们能够确知这样的球是不存在的。(试着制造一个这样的球也不是好主意！)这种区分关系重大，因为它表明并非我们观测的所有推广都可视为自然定律，而且大多数的自然定律是作为一个更大的互相

联系的定律体系之一部而存在的。

在现代科学中，自然定律常常是用数学表达的。它们可以精确也可以近似，但都必须在观测中毫无例外地成立——如果不是普适定律，也至少要在限定的那组条件下成立。例如，我们现在知道，如果物体运动接近光速，牛顿定律就必须加以修正。然而，我们仍旧把牛顿运动定律视为定律，至少也是一个很好的近似，这是因为就日常世界的条件而言，我们在其中所能遇到的速度都远远低于光速。

如果自然受定律制约，就会产生三个问题：

1. 定律的起源是什么？
2. 定律有例外吗？亦即是否存在奇迹？
3. 是否只有一组可能的定律？

这些重要问题已经被科学家、哲学家和神学家们分别以不同的方式处理过了。第一个问题的传统答案——开普勒、伽利略、笛卡尔、牛顿的回答——定律是上帝的杰作。然而，这只不过是把上帝定义为自然定律的化身。如果人们并不赋予上帝某些其他的属性，比如作为旧约中上帝，那么用上帝来作为第一个问题的回答就只不过是用一个谜替代了另外一个谜。因此，如果我们第一个问题的解答中涉及了上帝，真正的困扰就会与第二个问题相伴而来：存在作为定律之例外的奇迹吗？

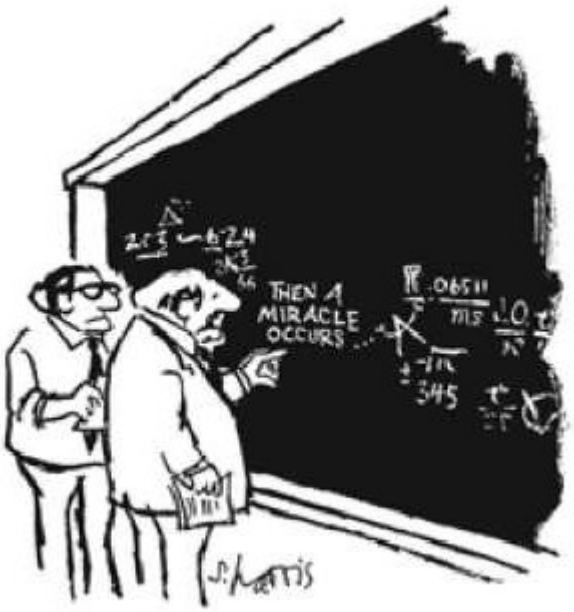
第二个问题的解答已经出现了明显的观点分裂。柏拉图、亚里士多德这样最有影响力的古希腊作家，坚持认为定律不存在例外。但是，如果人们采信了圣经的观点，上帝就不仅创造了定律，同时也能应祷告者的祈求制造例外——治愈绝症，提前结束干旱，或者重新恢复奥林匹克运动会中的槌球项目。与笛卡尔的观点截

然相反，几乎所有的基督教思想家都坚持，上帝一定能够悬置定律完成奇迹。甚至牛顿也相信某种类型的奇迹，他认为行星运行的轨道是不稳定的，因为行星之间的万有引力会干扰行星的运行轨道，这种干扰随着时间推移而累积，结果是行星要么会落向太阳，要么被甩出太阳系。牛顿相信，上帝必须持续不停地重置轨道，或者说是“上紧天空时钟的发条，以免其停顿下来”。然而，皮埃尔·西蒙·拉普拉斯侯爵（1749 年~1827 年），一般称作拉普拉斯，他主张说，扰动可能是周期性的，也就是说，是以循环往复为标志的，而不是累积递增的。因此，太阳系可以自我重置，不需要引入神的干涉就足以解释太阳系为何存在至今。

通常认为，正是拉普拉斯第一次明确地提出了科学决定论：给定宇宙在某一时刻的状态，一组完备的定律就完全决定了宇宙的未来和过去。这排除了奇迹或者神的积极作用的可能性。拉普拉斯明确表述的科学决定论是现代科学家对第二个问题的回答，事实上，它也是所有现代科学的基础，也是贯穿本书的一个重要原则。科学定律如果仅当某种超自然存在决定不去干预时才能成立，那么，它就不是科学定律。由于认识到了这一点，据说在拿破仑询问拉普拉斯如何把上帝融入这幅宇宙图景时，拉普拉斯回答道：“陛下，我已经不需要那个假设了。”

由于人类生活于宇宙中并与宇宙间的其他物体相互作用，所以科学决定论对人类来说也必须同样成立。然而，许多人尽管承认科学决定论制约着物理过程，却又认为人类行为是一个例外，因为他们认为我们拥有自由意志。比如说，笛卡尔为了保留自由意志的观念，就断言人类的思想是不同于物理世界的东西，它不服从物理定律。在他看来，人由身体和灵魂两种材料构成。身体仅仅是普通的机器，但灵魂却不受制于科学定律。笛卡尔对解剖

学和生理学很感兴趣，他把位于大脑中心的小型器官松果体作为灵魂的主要栖居地。他相信这个腺体就是形成我们所有思想的地方，是我们自由意志的源泉。




“我想你应该在第二步这里更清楚明了一些。”

人拥有自由意志吗？如果我们有自由意志，那么它是在进化树上的哪个地方发展起来的呢？蓝绿藻或细菌有自由意志吗，抑或它们的行为毫无意识而受自然定律的支配？是否只有多细胞生物才有自由意志，或者仅只哺乳动物才有呢？我们也许认为，当黑猩猩啃咬香蕉、猫撕扯你的沙发时，它们是在运用自由意志，但是对于一种称为**秀丽隐杆线虫**的蛔虫——由 959 个细胞构成的简单生物，它是否也有自由意志呢？也许，它永远不会想到，“ 我正要品尝的那个该死的美味细菌在后面 ”，然而，它对于食物仍然具有明显的偏好，依赖于最近的经验，它可能要么满足于毫无吸引力的饭菜，要么去搜寻更好的食物。那是自由意志的运用吗？

尽管我们觉得自己能够选择做什么，但是我们对生物分子基础的认识又表明生物过程同样受制于物理和化学的定律，因此它们也像行星运行轨道一样被决定。最近的神经科学实验支持了这样的观点，即决定我们行动的是服从已知科学定律的物质性大脑，而不是存在于那些定律之外的某个中介。例如，一项对接受醒脑外科手术病人的研究发现，用电流刺激大脑的适当区域，可以使病人产生动手、动臂或者动脚乃至动嘴说话的欲望。如果我们的行为被物理定律决定，就很难想象自由意志如何运作了，因此我们似乎只不过是一台生物机器，而自由意志也仅仅是一个幻觉而已。

当我们承认人类行为的确取决于自然定律时，做出如下结论好像也就合理了，即人类行为的结果由如此复杂的方式和如此之多的变量确定，以至于我们不可能在实践中加以预测。为了进行预测，我们需要知道人体内一千亿亿亿个分子每一个的初始状态，还需要求解同等数量的方程式，那将耗费亿万年的光阴，这对于躲避对手迎面而来的打击就有点晚了。

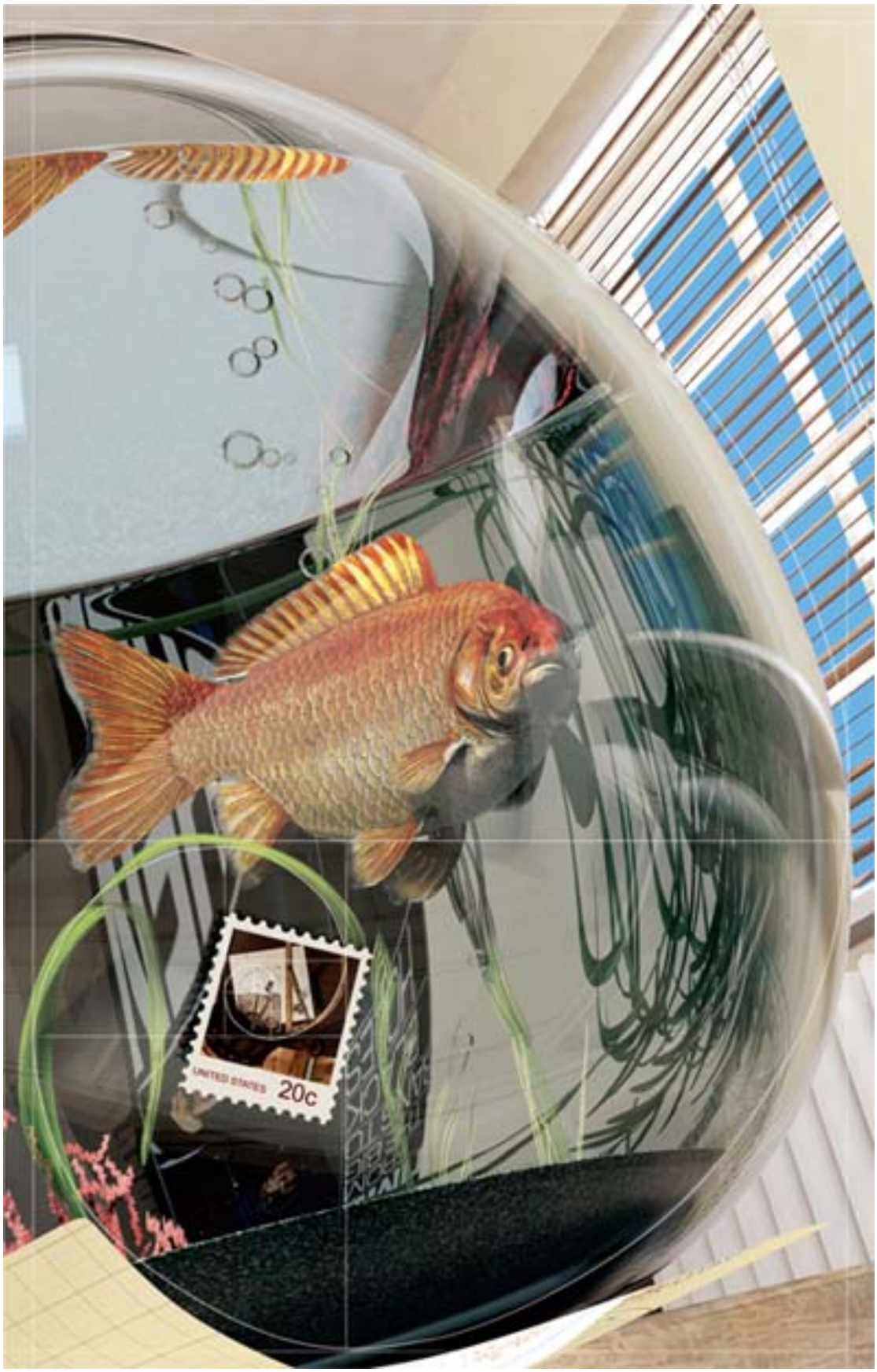
由于运用基本物理定律来预测人类行为是这样的不切实际，我们就采纳了一种称为有效理论的方法。在物理学中，有效理论就是构建出来将某种观测现象模型化的框架，它无需详细描述现象背后的全部过程。例如，我们不能精确求解制约人体内每个原子引力相互作用的方程组，但在实际运用中，人体和地球之间的引力可以根据仅有的几个数字来加以描述，例如人体总质量。类似地，我们也不能求解制约复杂原子群和分子群行为的方程组，但是，我们已经发展起一种叫做化学的有效理论，它能够为原子群和分子群在化学反应中的行为提供充分解释，而无需阐明相互作用的每个细节。至于人类，由于我们不能求解决定我们行为的

方程组，所以我们便采纳了人拥有自由意志的有效理论，研究我们的意志以及源于意志的行为的科学就是心理学。经济学也是一种有效理论，它建立在自由意志观念的基础上，同时假设了人们能够评估他们可能的备选行为过程并择其最佳者。但这种有效理论在预测人类行为方面仅仅取得了有限的成功，因为我们知道，决定通常是非理性的，或者是基于对选择后果的不完全分析。这就是世界为何一团乱麻的原因。

第三个问题处理的是这样一个疑问，决定宇宙和人类行为的定律是否独一无二？如果你对第一个问题的回答是上帝创造了定律，那么这个问题就是追问上帝选择定律有无限制。不管是亚里士多德还是柏拉图都像笛卡尔和后来的爱因斯坦那样认为自然原理寓于“必然性”之中，那就是说，因为它们是能进行逻辑理解的唯一规则。出于自然定律源于逻辑这种信念，亚里士多德和他的追随者们觉得，无需花费太多精力去了解自然的实际行为就可以推导出那些定律。他还致力于研究物体为何服从规则而不是去研究这些规则的具体详情，这些都导致了他得到的定性定律常常出错，并且在任何情况下都不能被证明为有用，尽管它们主宰科学思想长达数世纪之久。仅仅在许多年之后，伽利略等人才胆敢挑战亚里士多德的权威，他们开始观测自然实际如何行为，而不再去关注纯粹“理性”认为的应当如何。

本书根植于科学决定论的观点，这意味着本书对问题二的回答是，没有奇迹存在，或者说自然定律毫无例外。不过，我们将转过头来深入地处理问题一和问题三，即定律如何起源以及是否只有唯一可能的定律。但是首先在下一章中，我们将处理自然定律的描述为何这个问题。大多数科学家会说，它们是独立于观察者的外部实在的数学反映。但是当我们沉思我们对周围环境进行

观察并形成概念的这种方式时，就会碰到这样的问题，我们真的有理由相信存在一个客观的实在吗？


UNITED STATES
20c

# 第三章　何为实在

几年前，意大利蒙扎市议会禁止宠物主人把金鱼饲养在曲面形的鱼缸里。这项措施的倡议者解释了其中的部分原因，他认为用曲面形鱼缸饲养金鱼非常残忍，因为当金鱼从鱼缸内向外凝望时，它看到的将是实在的一个失真景象。然而，我们又如何知道我们拥有的是关于实在的本真图景呢？我们难道就不会也存在于某个大型鱼缸当中，被一个巨大的透镜扭曲了视觉？金鱼的实在图景的确与我们的不同，但是我们就能确知它不够真实吗？

金鱼眼中的景象与我们的是不同的，然而金鱼也仍然能够建立制约它们观察到的缸外物体运动的科学定律。举例来说，由于存在景象失真，一个在我们看来本是沿直线行进的自由运动物体，在金鱼看来却是沿弧形路径移动的。不过，金鱼也能够从它们失真的参照系中建立起科学定律，这些定律总能适用，也能够使它们得以预测缸外物体的未来运动。它们的定律与我们在自己的参

照系下建立的定律相比会显得更加复杂，然而简洁不过是一种主观感受罢了。如果金鱼建立起这样的理论，我们就不得不将金鱼眼中的景象也作为实在的一个有效图景而予以承认。

关于实在的不同图景，有一个著名的例子，这就是在公元 150 年左右由托勒密（约 85 年~约 165 年）引入的一个描述天体运行的模型。托勒密出版了他的 13 卷本专著，这部作品以它的阿拉伯文标题闻名于世，《天文学大成》。书的开篇就解释了认为大地是位于宇宙中心静止不动的球体，以及地球大小与它到天空的距离相比可以忽略不计的理由。尽管已有阿里斯塔克的日心模型，地心的信念至少还是被亚里士多德时代起大多数受过教育的希腊人保留了下来，他们出于神秘的理由相信地球应当居于宇宙的中心。在托勒密的模型中，地球静止地居于中心，行星和恒星沿着复杂的轨道围绕地球运行，这种运行轨道包含了所谓的本轮，就像是一个轮子套着另一个轮子。

这个模型似乎是自然的，因为我们感觉不到脚下大地的运动（除非地震使得地动山摇，除非心情激动觉得天旋地转）。后续的欧洲学说基于流传下来的希腊资源，因此，亚里士多德和托勒密的观念成为了大多数西方思想的基础。托勒密的宇宙模型被天主教会采纳并被奉为官方学说长达 1400 多年。直到 1543 年，哥白尼才在他的《天体运行论》中提出了另一个可供选择的模型，《天体运行论》只是在哥白尼逝世当年才得以出版（尽管他已经对这个理论研究了几十年）。

正如 1700 多年前的阿里斯塔克一样，哥白尼描绘了这样一个世界，太阳静止不动，行星围绕着它沿圆周轨道运转。尽管这个观念并非新说，但它的复兴仍然遭到了强烈抵制。哥白尼模型被认为与圣经相悖，圣经内容被人们作了行星围绕地球运行这样的

解读，即使圣经根本没有明确地如此陈述过。事实上，在圣经创作的年代，人们还相信大地是平的。哥白尼模型引发了关于地球是否静止的激烈争论，这场争论在伽利略于 1633 年因异端受审时达到高潮，因为伽利略拥护哥白尼的模型，也因为他认为“即使一种学说被宣告规定为与圣经相悖，人们仍然可以把它当作一种可能的见解保留并为之辩护。”伽利略被判有罪，罚在软禁中度过余生并被迫放弃主张。据说，他最后还在低声地喃喃说道，“但是地球仍然在转动”。直到 1992 年，罗马天主教会才最终承认罪罚伽利略的错误。



**托勒密宇宙** 在托勒密的观点看来，我们居于宇宙的中心。

那么，哪一个才是真实的，是托勒密体系还是哥白尼的体系呢？尽管人们通常认为哥白尼证实了托勒密的错误，但这不是事实。就像在我们的正常图景与金鱼的图景相比的情况下，我们可以使用任何一个图景作为宇宙模型一样，对于天空的观测，我们也可以通过假定地球或太阳中任何一个静止来解释。不管哥白尼体系在关于宇宙本性的哲学论争中扮演了何种角色，它的真正优势仅仅在于它比较简单，亦即在太阳静止的参照系中所建立的运动方程将更为简洁。

另一种不同的可择实在出现于科幻电影《黑客帝国》，片中人类不知不觉地走进了一个被智能计算机创造的伪仿虚拟世界，智能计算机使人们保持安定满足，以便吮吸他们的生物电能量（不管是什么）。这也许并不牵强，因为有许多人更喜欢把时间耗费在伪仿的网络世界中，把它当作第二人生。我们怎么知道我们不会是计算机创作的肥皂剧里的角色呢？如果我们生活于合成的虚拟世界，事件就不必有任何的逻辑、任何的一致性，也不必遵循任何的定律。比方说，假如满月分成了两半，或者这个世界中正在节食的所有人对一种香蕉奶油派产生了无法控制的强烈欲望，控制我们的外星人将会发现观察我们的反应是多么地有趣好玩。但是，如果外星人强加进了一致定律，我们就无法辨出隐藏在虚拟世界背后的另一个实在。把外星人居住的世界称为“真实”世界，把合成的世界称作“虚假”，这是很容易的，然而，如果——像我们这样的——虚拟世界中的生物，并不能从外界凝视它们的宇宙，那么于它们而言就没有理由怀疑它们自身关于实在的图景。这只不过是另外一个观念的现代版本，那个观念认为我们都是其他人梦境中的虚幻之物。这些事例使我们得出了在本书中非常重要的一个结论：**不存在独立于图景或者理论之外的实在概念**。相反，

我们将采纳一种所谓依赖模型的实在论的观点：一个物理理论或者世界图景就是一个模型（通常具有数学性质）和一组将模型元素与观测联系起来的规则。这为我们提供了一个用来解释现代科学的框架。




柏拉图以来的哲学家们已经就实在的本性争论过若干年月了。经典科学基于这样的信念，即存在着一个真实的外部世界，其性质是明确的，不依赖于感知它们的观测者。根据经典科学，某些物体存在着并且具备诸如速度和质量这类数值明确的物理性质。在这种观点之下，我们的理论就是试图去描述那些物体及其性质，我们的测量和观察要符合它们。无论是观测者还是被观测对象都是客观存在着的世界的一部分，两者之间的任何区别都毫无意义。换句话说，如果你看见一群斑马在停车场争夺地盘，那就是因为真的有一群斑马在停车场争夺地盘。其他所有观测者都会测得同样的性质，并且无论是否有人观测它们，这群斑马都具

有那样的性质。在哲学上，那样的信念称为实在论。

尽管实在论可能是一种诱人的观点，但是我们随后将看到，我们拥有的现代物理知识使实在论变成了一个很难辩护的观念。比如说，量子物理是自然界的一个精确描述，按照它的原理，一个粒子既没有明确的位置也没有明确的速度，除非那些量被一名观测者测得。如此说来，一项测量给出一定结果的说法就是错误的，因为测得的这些量只不过是测量当时的数值。事实上，在某些情况下，单一对象甚至不是独立的存在，而仅仅作为众多对象组成之整体的一部分存在着。如果一种称为全息原理的理论被证实的话，我们和我们的四维世界就会是一个更大的五维时空的边界投影。在那种情况下，我们在宇宙中的处境就会与金鱼的处境非常相像。

严格实在论者常常主张说，科学理论代表实在的证据就是它们所取得的成功。但是，不同的理论也能够凭借根本不同的概念框架成功地描述同样的现象。事实上，许多已被证明为成功的科学理论随后也要被另一个基于实在全新概念的同样成功的理论所取代。传统上，那些不接受实在论的人被称为反实在论者。反实在论者假定了经验知识和理论知识之间的区别。典型地，他们主张观测和实验是有意义的，但理论却只是一种有用工具，它并不能包含隐藏在观测现象背后的更深层次的真理。一些反实在论者甚至已经想要把科学限制在可观测事物之内。所以，在 19 世纪还有许多人拒绝原子的观念，理由就是我们从未见过原子，哪怕一个。乔治·贝克莱（1685 年~1753 年）甚至声称在思想和观念之外无物存在。英国作家、词典编撰人塞缪尔·约翰逊博士（1709 年~1784 年）的一位朋友曾向他谈及贝克莱的主张不可能驳倒，据说约翰逊博士对此作了这样的回应，他走向一个大石头，踢了

它一脚，然后宣布，“ 我这样来驳倒它 ”。约翰逊博士的脚痛当然也只是他头脑中的一个观念而已，所以他也并没有真正驳倒贝克莱的观点。但是，他的举动例证了哲学家大卫 ·休谟（1711 年~1776 年）的想法，休谟写道，尽管我们没有任何理性根据去相信一个客观的实在，但我们仍然别无选择，只能相信那似乎就是真的。

依赖模型的实在论回避了实在论者和反实在者之间所有的学说之争。



“你们两位有一个共同之处。戴维斯博士发现了一种从未有人见过的粒子，而希格比教授则发现了一个从未有人见过的星系。”

按照依赖模型的实在论，追问模型是否真实毫无意义，只能追问模型是否符合我们的观测。如果存在两种模型都能符合观测，就像金鱼的图景和我们的图景那样，我们就不能说一个比另一个更为真实。我们可以使用在所考虑情形中更为简便的那个。例如，如果我们在鱼缸当中，金鱼的图景就会很有用，但是对鱼缸外的人来说，以地球上的鱼缸作参照系来描述发生于遥远星系的事件

则会变得非常笨拙，尤其是因为鱼缸也随地球一道围绕太阳公转并围绕地轴自转。

在科学中我们创造模型，在日常生活中我们也同样创造模型。依赖模型的实在论不仅应用于科学模型中，还应用于我们为了解释和认识日常世界所创造的有意识和潜意识的心智模型里。没有办法将观测者——我们——从我们关于世界的知觉中移除，这些知觉是经过我们感观加工并通过思考和推理的方法建立起来的。我们的知觉——因而也就是我们的理论所基于的观测——都不是直接的，而更像是在某种透镜下形成的，这种透镜就是我们人脑中的解释结构。

依赖模型的实在论符合我们感知物体的方式。在视觉过程中，人脑通过视神经接收一系列的信号。那些信号并不能组成你在电视上收看到的那种图像。在视神经连接视网膜的地方有一个盲点，而且你视野中具有较好分辨率的部分只是以视网膜为中心、视角大约 1 度的一个狭窄区域，这个区域的宽度相当于你伸直手臂时大拇指的宽度。因此，传输给大脑的原始材料就类似于一个有孔的、模样相当古怪的图片。所幸人脑要加工那些材料，它把两只眼睛输入的材料结合起来，又根据临近位置视觉性质相似的假设将空隙填充，同时完成穿插。此外，人脑还解读从视网膜得到的二维材料阵列，并由此构造出三维空间的视觉印象。换句话说，大脑就是在建立某种心智图像或者模型。

大脑如此擅长建立模型，以至于如果给人带上一种能使眼中图像上下颠倒的眼镜，大脑在一段时间后还是会改变模型使得人能够重新看到处于正确方向的事物。如果摘除眼镜，人又会看到上下颠倒的世界，但过一会儿又会再度适应。这表明，当有人说“我看见了一把椅子”时，他所指的仅仅是他利用椅子散射的光

线建立了一个关于椅子的心智图像或者模型。如果椅子模型是上下颠倒的，那么非常幸运的是，在人试图坐上去之前，大脑已经修正了那个模型。

依赖模型的实在论解决了或者至少回避了另一个问题，那就是存在的含义。当我走出房间看不到桌子时，我怎么知道桌子仍然存在呢？说我们看不见的东西比如电子或者夸克——被认为是构成质子和中子的粒子——存在，这又意味着什么呢？我们当然可以建立这样一种模型，当我们离开房间时桌子消失，当我们回来时桌子又重现于同一位置，但这个模型将会是非常笨拙的，要是当我出去时有情况发生，比方说天花板掉落下来，那又如何呢？在这个模型下，当我下次再进入房间，发现桌子重现了，但却是破的，并且积满了天花板的残骸，对此又该作何解释？桌子留在原地不动的模型符合我们的观测，这就是我们所能追问的一切。

对于我们看不见的亚原子微粒，电子就是一个有用的模型，它能解释云室中的轨迹、电视机显像管中的光斑以及其他许许多多的现象。据说，电子是 1897 年由英国物理学家 J．J．汤姆逊在剑桥大学的卡文迪许实验室里发现的。他当时正在利用真空玻璃管里的电流实验一种称为阴极射线的现象。他的实验让他得出了一个大胆的结论，这些神秘的射线是由非常微小的“ 颗粒 ”组成的，这些颗粒就是构成原子的材料，而在当时人们还在把原子看作是构成物质的不可分割的基本单位。汤姆逊并没有“ 看见 ”电子，他的推断也不是由实验直接而明确地证实的，但是这个模型已被证明无论是对于基础科学应用还是对于工程学应用都非常重要，今天所有的物理学家都相信电子存在，即使看不见它们。



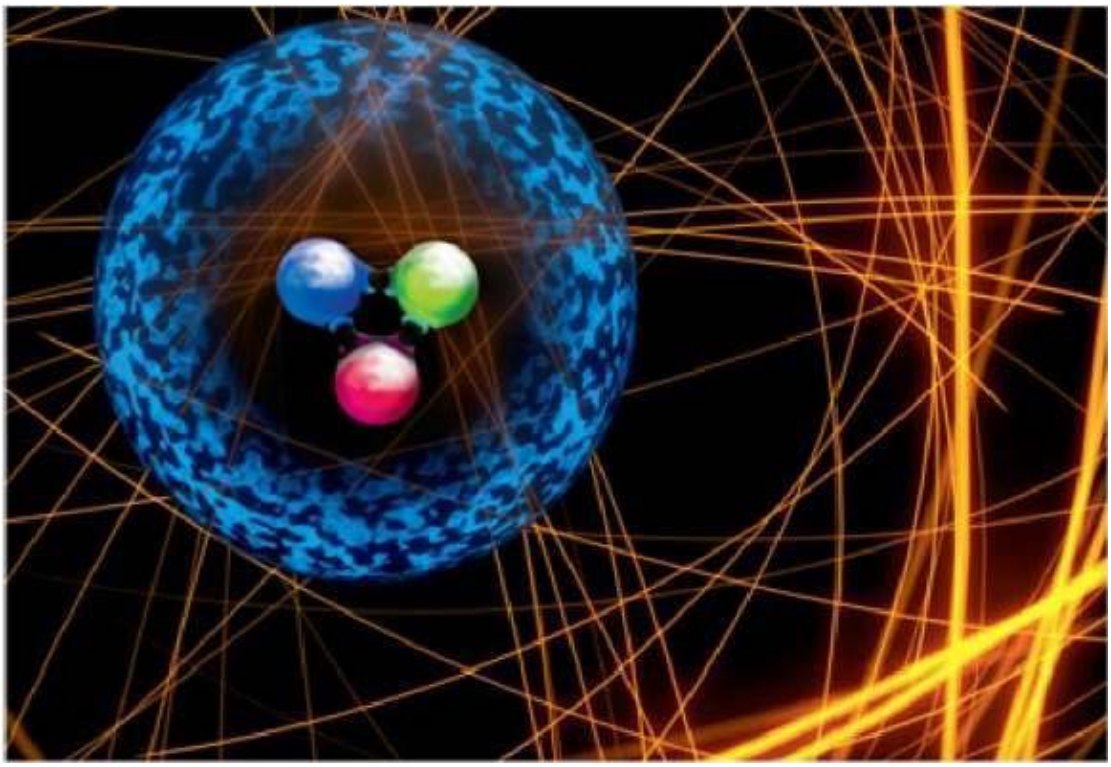
**阴极射线** 我们看不见单个的电子，但我们能看见电子产生的效应。

我们同样看不见的夸克也是用来解释原子核中质子和中子性质的一个模型。尽管质子和中子被认为是由夸克构成的，但是我们还从来没有观测到夸克，因为夸克之间的约束力随着距离的增大而增大，这使得孤立的、自由的夸克在自然界中无法存在。相反，它们总是三个一组地出现（在质子和中子中），或者是以一个夸克和一个反夸克配对的形式出现（在π介子中），表现得就好像它们被橡皮圈连接着一样。

你不能分离出夸克却说夸克确实存在，这让人怎么理解呢？在夸克模型首次提出后的那些年代，这个问题确实是一个引起了广泛争议的问题。某种粒子由一些次亚核粒子以不同方式组合而成，这个观念提出了一种组织原理，给出了有关粒子性质的简单而又富有吸引力的解释。然而，尽管物理学家已经习惯了接受那

些只能从其他粒子散射时产生的哔哔声这样的统计数据中推断其存在的粒子，但是对于许多物理学家而言，把实在指定为一种基本而又无法观测到的粒子还是显得太过分了。不过，许多年后，随着夸克模型给出越来越多的准确预测，反对的声音逐渐消退了。某种有 17 条手臂、长着红外线眼睛、具备从耳朵里吹出固体奶油的习性的外星生物做着和我们一样的实验观测却并不用夸克描述它，这是可能的。然而，根据依赖模型的实在论，夸克存在于能够符合我们观测到的亚核粒子行为的模型当中。

依赖模型的实在论可以为我们讨论类似这样的问题提供框架：如果世界是在一段有限的时间前创生，那么在那之前又发生了什么？早期的一位基督教哲学家圣·奥古斯丁（354 年~430 年）说，这个问题的答案不是上帝正在为问此问题的人准备地狱，而是，时间是上帝创造的世界的一个性质，在世界创生之前不存在时间，他相信世界创生于不那么久的时间之前。这是一个可能的模型，这个模型得到了一些人的支持，这些人坚信创世纪给出的解释是完全真实的，尽管世界上存在的化石和其他证据已经表明世界创生似乎还要更早。（这些是用来愚弄我们的吗？）我们同样可以拥有另外一个不同的模型，在这个模型中，时间可以一直回溯到 137 亿年前的大爆炸，它解释了我们目前绝大多数的观测，包含了历史和地理方面的证据，是我们迄今为止最好的模型表示。第二个模型能够解释化石、放射性记录以及接收到距我们数百万光年之遥的星系发出的光线这一事实，因此，这个模型——大爆炸——就比第一个模型更为有用。然而，两个模型中没有哪一个可以说比另一个更真实。



**夸克** 尽管不能观测到孤立的夸克，夸克的概念仍是我们基础物理理论中一个至关重要的元素。

也有些人支持把时间回溯到比大爆炸还早的模型。我们尚不清楚这个时间超越了大爆炸的模型是否能更好地解释目前观测，因为宇宙演化的定律似乎在大爆炸时就崩溃了。如果这样的话，建立一个包含大爆炸之前时间的模型就是不明智的，因为那时存在的事件不会给现在留下任何的可观测结果，所以我们仍然坚持世界创生于大爆炸的观点。

一个模型是一个好的模型，如果：

1. 它是优美的；
2. 不包含任意的、可调整的要素；
3. 符合并能解释现存的所有观测；
4. 能够详尽预言未来观测，如果预言不成立则可证伪模型。

举例来说，亚里士多德的理论指出了世界由地、气、火、水四种元素构成，同时认为物体的运动就是要实现它们的目的。这个模型是优美的，也没有包含可调整的要素。但是，在许多方面它不能给出明确的预测，即使做出预测，也不总能符合观测。它的一个预测就是重物应当下落得更快，因为它们的目的就是下落。没有人觉得有必要去验证它，直到伽利略的出现。有一个故事讲述伽利略在比萨斜塔做了一个落体实验以验证它，这个故事可能是杜撰的，但是我们确实知道他曾经让不同重量的物体沿斜面滚落，然后观察到它们以同样的比率加速，这明显与亚里士多德的预测矛盾。

上述这些标准明显是主观的。举例来说，优美就不是一个容易衡量的东西，但是它仍然得到了科学家的高度认可，因为自然的定律就意味着要经济地压缩许许多多的特殊情况以便得到一个简单的原则。优美指的是理论的形式，但是它也与缺少可调整要素这一标准密切相关，因为如果一个理论满是用来搪塞的要素，那就不会优美。改述爱因斯坦说过的话，那就是一个理论应当尽可能简洁，直到不能更简洁为止。托勒密在天体运行的圆周轨道上增加本轮，以使他的模型能够准确地描述天体运行。这个模型可以通过不断添加本轮甚至添加双倍本轮变得越来越精确。尽管增加复杂性就可以使得模型更精确，但是科学家还是对这种为了符合特别的观测数据就加以扭曲的模型不太满意，因为它看起来更像是数据的编目而不像一个包含了有用原理的理论。

在第五章中，我们将会看到，许多人都认为描述自然界基本粒子相互作用的“ 标准模型 ”并不优美。那个模型比起托勒密的本轮来说要成功得多。它在一些新的粒子被发现之前就预测了它们的存在，并且非常精确地描述了几十年间大量的实验结果。但

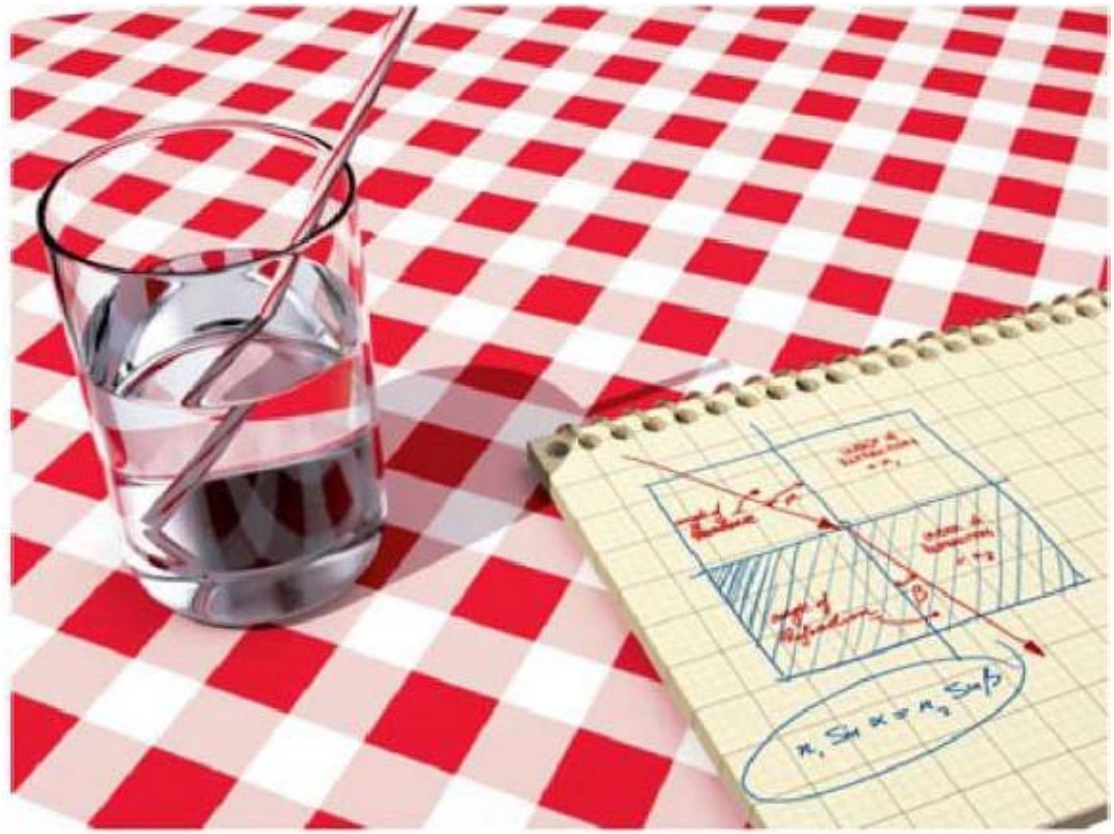
是，它包含了很多可调整的参量，这些参量的数值必须在确定后去符合观测结果，而不是由理论本身所决定。

至于第四个标准，科学家常常为新的惊人的预测被证实感到震撼。另一方面，当他们发现模型有所欠缺，一个正常的反应就是认为实验错了。如果被证明不是这样，人们也往往不愿抛弃这个模型，反而试图通过修正去挽救它。尽管物理学家们确实在坚持并尝试着挽救他们所欣赏的理论，但是当这种修正变得做作、笨拙因而“不优美”时，修正理论的意愿就减弱了。

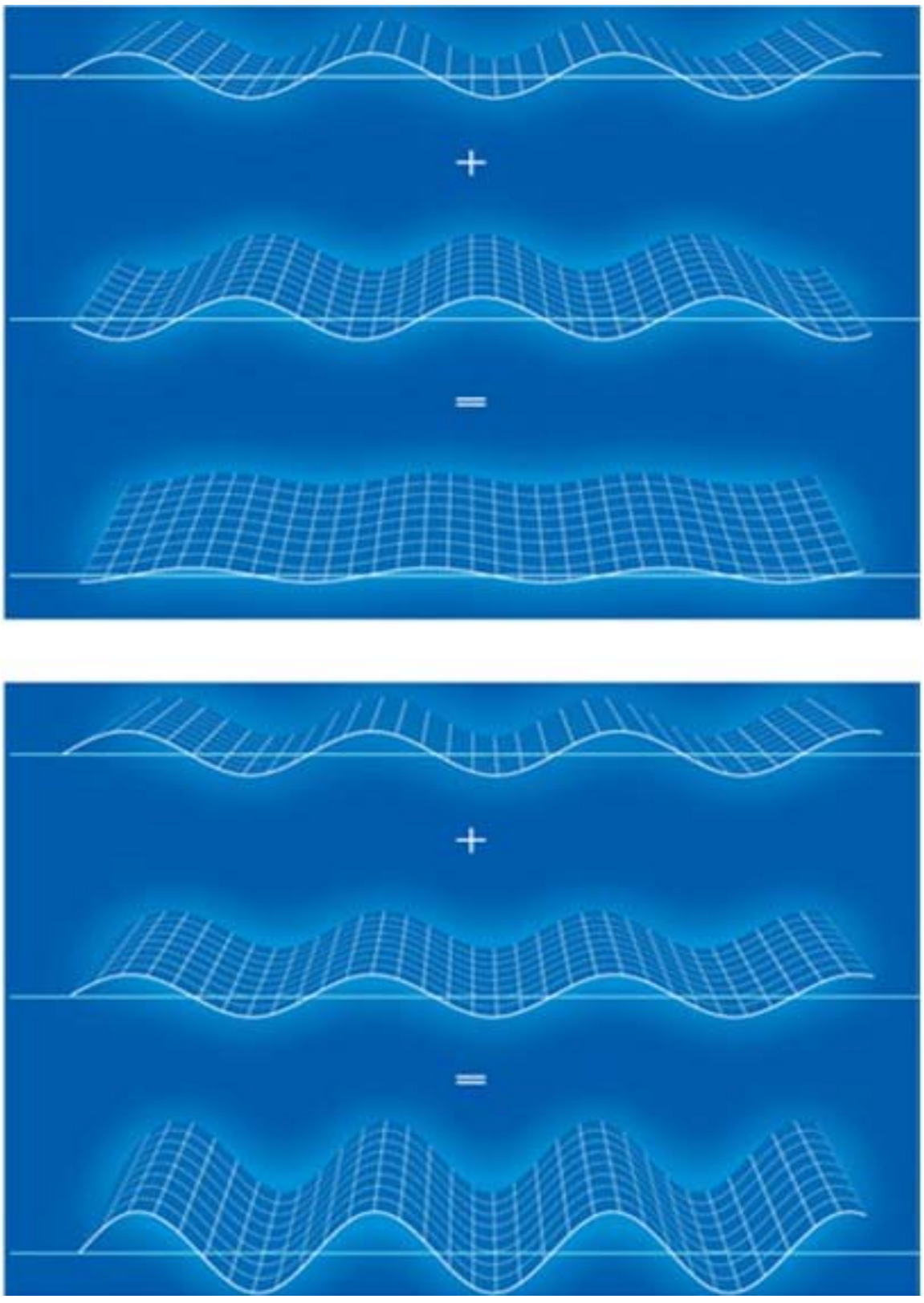
如果为了满足新观测结果所需的修正过分雕琢，这就标志着需要建立新模型了。静态宇宙观就是旧模型在新观测的压力下被迫退出的一个例子。在 20 世纪 20 年代，大多数科学家相信宇宙是静止的，或者说在尺度上是不变的。后来，在 1929 年埃德温·哈勃公布了他的观测数据，结果显示宇宙正在膨胀。但是哈勃并未直接观测到宇宙的膨胀，他只是观测了星系发出的光。这些光携带着特有的记号，或者说光谱，它表明了每一个星系的物质成分，如果星系相对于我们发生运动，光谱就会改变一个已知的量。因此，通过分析遥远星系的光谱，哈勃就能确定它们的运动速度。他原本料想那些运动背离我们的星系会与运动朝向我们的星系同样多，然而，他却发现几乎所有星系都运动着远离我们，而且星系距离我们越远就退离得越快。哈勃得出结论说，宇宙正在膨胀，但其他人还是想要坚持早先的模型，他们试图在宇宙静止的前提下来解释这个观测结果。例如，加州理工学院的物理学家弗里茨·兹威基就解释说，也许由于某些未知原因，当光线穿越遥远的距离时会慢慢地损失能量，这种能量的耗损就对应着光谱的改变。兹威基的这个解释能够拟合哈勃的观测。在哈勃之后的几十年间，许多科学家还在继续坚守稳恒宇宙学说，但最自然的模型

应该是哈勃的宇宙膨胀模型，这个模型现在已经得到接受了。

在探索宇宙的制约定律的进程中，我们已经建立了许许多多的理论或者模型，诸如四元素说、托勒密模型、燃素说，大爆炸理论等等。伴随着这些理论和模型的建立，我们关于实在的概念以及关于宇宙基本要素的观念已经发生了变化。例如，考虑光的理论，牛顿就认为光是由微粒构成的，这能解释光为何沿直线行进，牛顿也用这个理论解释了当光从一种介质进入另一种介质时，比如从空气进入玻璃中或者水中，为什么会发生折射。



**折射** 牛顿的光模型能够解释光从一种介质穿入另一种介质时为什么会弯曲，但却不能解释我们称为牛顿环的另一种现象。



**干涉** 就像人一样，波相遇时也会倾向于要么彼此增强要么彼此减弱。

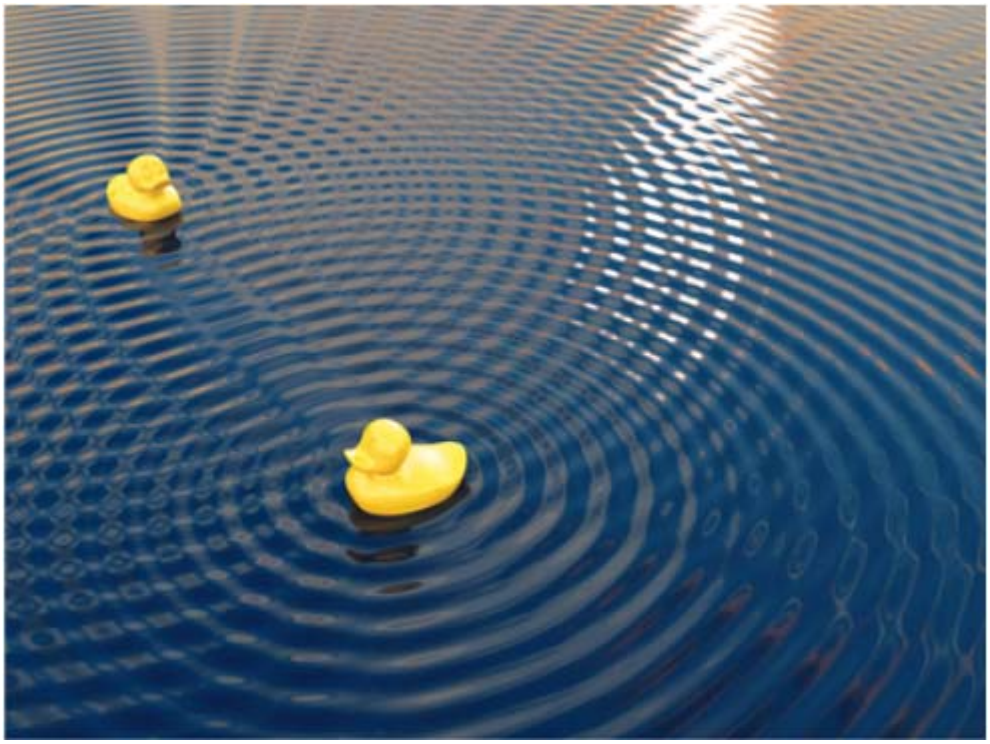
然而，光的微粒说并不能解释牛顿自己观察到的现象，这就是所谓的牛顿环。把一个透镜放在一个平坦的反射板上，用一束像钠光那样的单色光照射它，从上面向下俯视时，将会看到以透镜和反射板接触点为中心的一系列亮暗相间的光环。这个现象用微粒说来解释是困难的，但是却可以通过波的理论得到解释。 按照光的波动说，这种亮暗相间的光环是由于一种称为干涉的现象引起的。一个波，比如水波，包含了一系列的波峰和波谷。当波相遇时，如果它们的波峰和波谷正好一致，那么波就会彼此增强，生成一个更大的波，这叫作相长干涉。这种情形下的波，被称作“ 同相波 ”。另一种极端情况，当两个波相遇，一个波的波峰可能和另一个波的波谷重叠。在这种情形下，波就互相抵消，这样的波因而称为“ 异相波 ”，这种情况就叫作相消干涉。

在牛顿环中，透镜反射而来的波和反射面反射而来的波是不同的，亮环出现之处，棱镜和反射板之间的空隙恰好使得波长相差整数（1，2，3，…）倍，从而导致了相长干涉。（波长就是一个波的波峰或者波谷到下一个波峰或者波谷之间的距离）。另一方面，在暗环处，棱镜和反射板之间的空隙恰好使得波长相差半整数（1½，2½，3½，…）倍，产生相消干涉——透镜反射而来的波和反射板反射而来的波相互抵消了。

在 19 世纪，人们认为这证实了光波动说的正确性同时表明了微粒说的错误。然而，20 世纪早期，爱因斯坦表明光电效应（今天应用在电视机和数码相机上）可以解释为在光粒子或光量子撞击原子时把电子撞出其外。因此，光的行为既像粒子也像波。

波的概念非常可能进入人的思想，因为人们能在一个小卵石掉进海洋或者水坑后观察到它。事实上，如果你把两个卵石投入

水坑，你很可能会看到波的干涉正在发生，就像下图所示的样子。其他液体也可观察到相似的行为，也许除了啤酒，如果你已经喝得太多了。粒子的观念类似岩石、卵石和沙砾。但是波粒二象性——物体可以描述为粒子也可以表述为波的思想——太不符合日常经验了，这就好比你可以喝下一大块的砂岩。

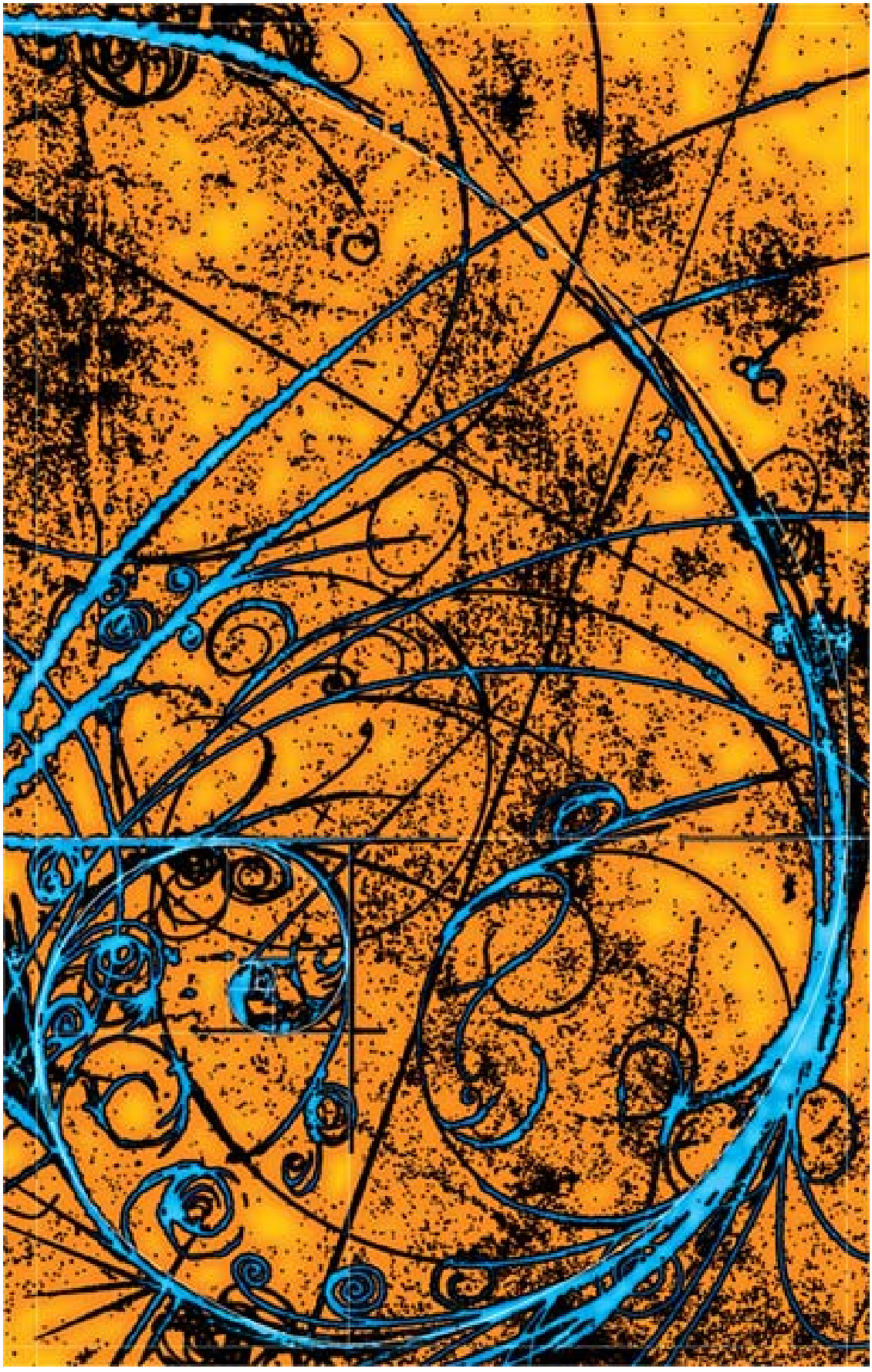


**水坑干涉** 日常生活中，在小到水坑、大到海洋的水域里都能显现出波的干涉。

这种二象性——两种不同理论都精确描述同一现象的情况——是和依赖模型的实在论一致的。每个理论都能描述和解释一定的性质，没有任何一个理论可以说比另一个更好更真实。关于制约宇宙的定律，我们能说的就是：似乎并不存在单一的可以描述宇宙各个方面的数学模型或理论。相反，正如本书开篇所提到的，似乎存在着一个叫作 M 理论的理论网络。M 理论网络中的每一个

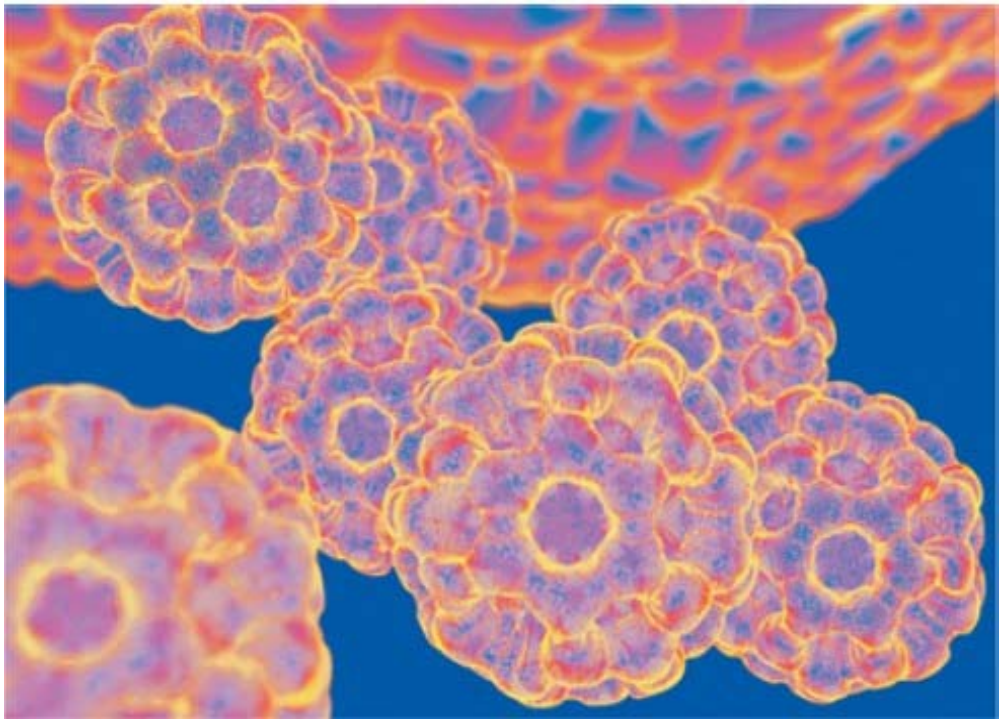
理论都能很好地描述一定范围的现象。在那些范围重叠之处，网络中的不同理论保持一致，因此它们都能被视为同一理论的一个部分。但是，在这个网络中没有任何一个单一的理论能够描述宇宙的方方面面——自然界中所有的力、受那些力作用的粒子以及时空完全演化的框架。尽管在这种情况下没能实现传统物理学家大统一理论之梦，但是在依赖模型的实在论的框架下，这可以接受。

我们将在后面的第五章讨论二象性和 M 理论，但是在这之前，我们将转向现代自然观念所赖以建立的基本原理：量子论，特别是称为可择历史的量子论方法。在那个观点下，宇宙不是仅有单一的存在和历史，而是以量子叠加的方式同时存在着任何一种可能的宇宙版本。这听起来可能耸人听闻，就像有人提出的离开屋子、桌子消失的理论一样。但是，这个理论已经通过了它经受的每一项实验的检验。



# 第四章　可择历史

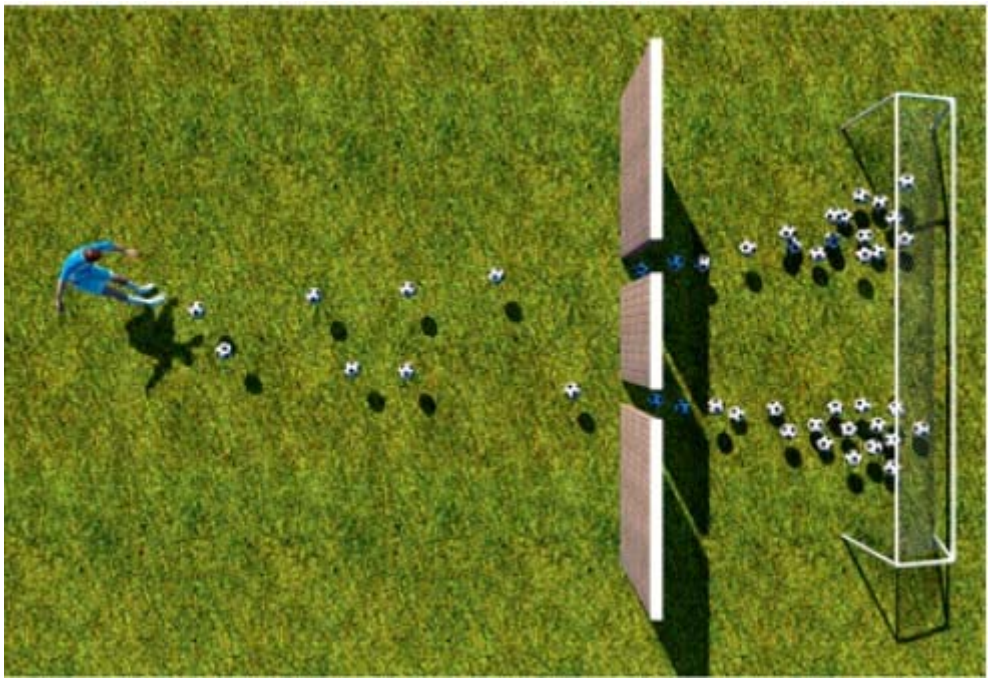
1999 年，一队物理学家在奥地利将一连串足球形状的分子射向一个障栏。那些分子的每一个都是由 60 个碳原子构成的，有时被称为巴克球，因为建筑师巴克明斯特 · 富勒曾经建造过那种形状的建筑物。富勒的网格穹顶可能是现有最大的足球状物体



**巴克球**　巴克球就像碳原子构成的微观足球。，

了而巴克球则是最小的。科学家瞄准的障栏实际上有两道允许巴克球通过的狭缝，在障栏的后面，物理学家放置了一个相当于屏幕的东西来探测和计算穿过狭缝出现的分子。

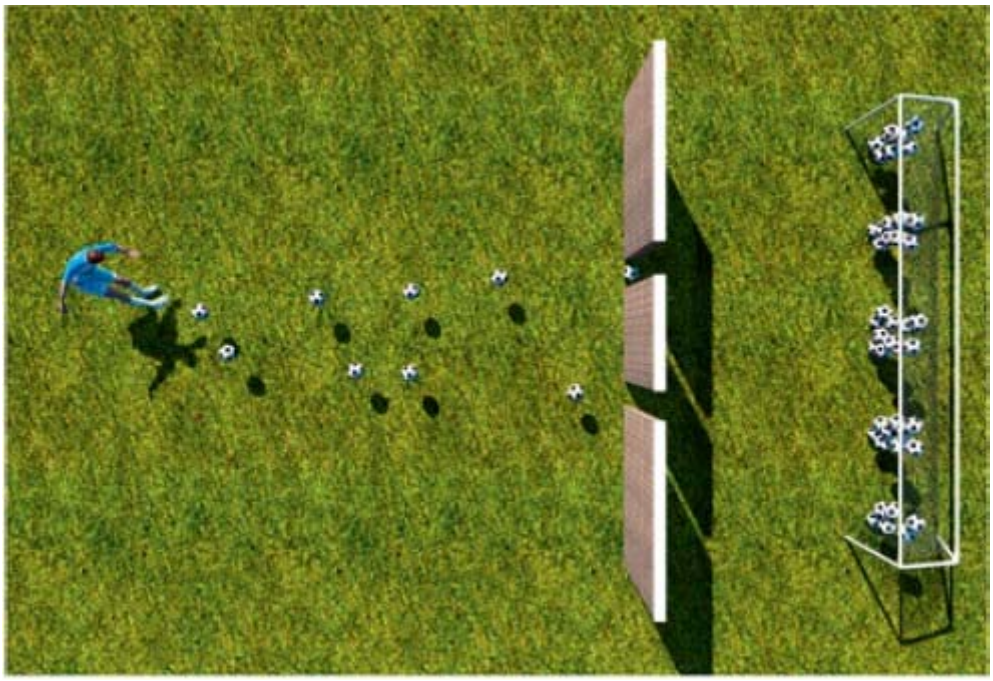
如果我们用真实的足球来进行类似的实验，那么就需要一个目标弥散但能够一致地以我们给定的速度发球的运动员。我们把运动员安置在有两道缺缝的墙的前面，在墙的后面，我们放置一个长网与墙平行。运动员的大多数射球都会撞到墙上反弹回来，但仍有一些会穿过这一道或者另外那一道缺缝打进网中。如果缺缝只比足球稍微大一点，那么在墙的另一边就会出现两注高度平行的足球流，如果缺缝比足球再宽一点儿，每一注足球流就会成扇形展开一些，呈现出下图所示的样子。



**双缝足球** 一位朝着墙上缺缝踢球的足球运动员制造出一个明显的图样。

提请注意，如果我们关闭其中的一道缺缝，相应的那注足球就不再通过，但这并不会对另外那注造成影响。如果我们再次打

开第二道缺缝，那只会增加落到另一侧任何给定位置的球的数目，因为那样的话，我们不仅会得到穿过那道保持敞开的缺缝的所有球，还要加上由新开缺缝过来的其他球。换言之，两缝同时打开时我们观测到的结果就是每一道缝各自打开时所观测到结果的总和。这是日常生活中我们习以为常的事实了。然而，奥地利研究人员在发射分子实验中所观测到的现象却并非如此。



**巴克足球** 朝着屏幕上的狭缝发射分子足球，产生的图样反映了不同寻常的量子定律。

在奥地利的实验中，打开第二道缺缝的确增加了落到屏幕上某些位置的分子数量——但也会减少落到其他位置的分子数目，如上图所示。实际上，当两道狭缝同时打开时，屏幕上有些位置是没有巴克球到达的，但当只打开这一道或那一道缺缝时，这些位置仍会落有巴克球。那似乎非常古怪。打开第二道缺缝何以就会减少落向一定位置的分子数目了呢？

通过审视细节可以获得答案的线索。在实验中，许多的分子

会落到你料想它们穿过这一道或另一道缺缝会落到的那些位置的中点附近。离这个中点远些的地方就只有极少数的分子到达了，但离得再远一点，又会观测到大量的分子。这种图样并不是每一道缺缝分别打开时形成图样的总和，但是你可以从第三章的内容中认出这种图样具备了波的干涉的典型特征。没有分子到达的那些位置对应着从两道缺缝传来的两波反相到达的区域，因而发生了相消干涉；那些有大量分子到达的地方则对应着两波同向到达的区域，因而发生了相长干涉。

在科学思想最初 2000 年左右的时间里，日常经验和直觉是理论解释的基础。随着技术的改进以及可观测现象范围的拓展，我们开始发现自然的行为方式和我们的日常经验因而也和我们的直觉越来越不相一致，就像巴克球实验所证明的那样。那个实验所代表的一类现象并不能纳入经典科学的范畴，但是却能通过所谓的量子物理进行描述。事实上，理查德·费恩曼就曾写道，前文描述过的那类双缝实验“包含了量子力学的所有秘密”。

量子物理的原理在 20 世纪最初的几十年间发展起来，在那之前，人们发现牛顿理论对于描述存在于原子和亚原子水平的自然界已不再适用。物理学的基础理论是要描述自然界的力以及物体对这些力如何反应。诸如牛顿力学的经典理论基于反映日常经验的框架，在经典理论中，物体独立存在着，处于确定的位置，遵循确定的运动路径，等等。量子物理提供了一个理解自然在原子和亚原子尺度如何运作的框架，但我们随后将更清楚地看到，它规定了一个完全不同的概念模式，其中物体的位置、路径甚至它的过去和未来都不能被精准地确定。诸如引力或者电磁力此类的量子理论正是建立在这种框架之内。

建立在对日常经验而言如此陌生的框架之上的理论，还能够解释那些被经典物理学模型化得如此精确的日常经验中的事件

吗？它们能，因为我们和我们周围的事物是由多得无法想象的原子组成的复合结构，这些原子甚至比我们可见宇宙中的恒星还要多。尽管这些作为组成成分的原子服从量子物理原理，但我们还是会发现像足球、芜菁、大型喷气式客机——以及我们——这样的大型原子集合体也确实不会发生穿过缺缝的衍射。因此，尽管日常物体的组成成分服从量子物理，但牛顿定律还是形成了一个可以用来精确描述日常世界中复合结构如何行为的有效理论。

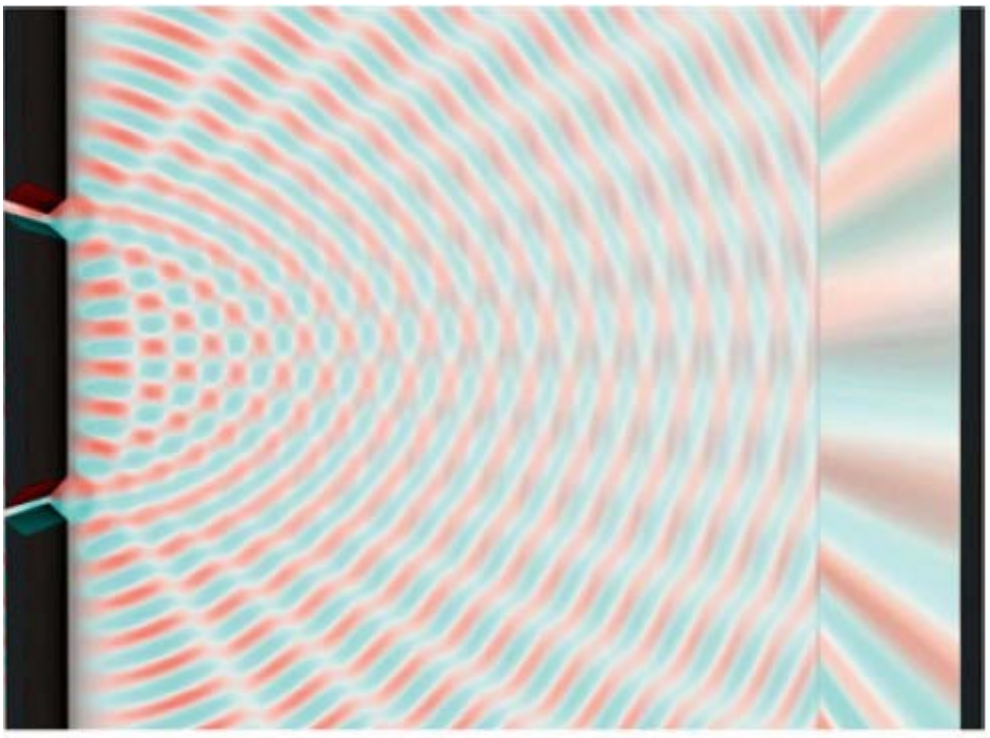
也许这听上去很奇怪，但是科学中存在着大型集合体行为方式似乎不同于它单个组成成分的众多实例。单个神经元的反应几乎不能预兆人脑的反应，了解一个水分子的情况也并不能告诉你有关湖泊变化的多少信息。就量子物理而言，物理学家们一直致力于研究牛顿定律得以从量子领域显露出来的每个细节。我们所知的就是，所有物体的组成成分服从量子物理的定律，而牛顿定律则是描述由量子成分构成的宏观物体如何行为的一个很好的近似。

牛顿理论的预测符合我们经验周遭世界发展起来的那种实在观。但是单个原子和分子的运作方式非常不同于我们日常经验中的方式。量子物理为我们提供了有关宇宙图景的一个新的实在模型。在这个宇宙图景当中，对于我们直观理解实在至关重要的许多概念丧失了意义。

1927 年，贝尔实验室的实验物理学家克林顿·戴维森和雷斯特·革末首次进行了双缝实验，他们研究一束电子流——比巴克球更为简单的物体——如何与镍晶体相互作用。事实发现，诸如电子的物质粒子表现出了与水波相像的行为方式，如此惊人的实验结果启发了量子物理学。由于这样的行为方式在宏观尺度是观测不到的，所以科学家们长期以来一直想知道物体要保持住并显现出这种类波性质可以大到以及复杂到何种程度。如果用人或者

河马也可以验证出这种效应，那将会引起轰动，但是我们说过，一般地，物体越大，量子效应就越不明显、越微弱。因此，动物园里的任何动物要像波一样穿过它们笼子的栅栏，这是不太可能的。然而，实验物理学家已经观测到了尺度不断增大的粒子的波现象。科学家希望有朝一日能使用病毒来重做巴克球实验，病毒不仅大得多，而且在有些人看来是生物。

对于理解后续章节展开的讨论，只需要具备量子物理一些方面的知识。量子物理关键特征之一就是波粒二象性。物质粒子表现得像波一样，这让所有人震惊，而光像波一样行为则不再令任何人惊讶了。光的类波行为对我们而言似乎是自然的，并且在近两个世纪的时间里已经被人们视作可接受的事实了。在前文所述的那个实验中，如果你用一束光射向双缝，两波会出现在屏幕上并且相遇。在屏幕的某些位置，它们的波峰或者波谷将会重合因而形成屏幕上的亮点；在其他一些位置，一个波的波峰遇到另一



**杨实验** 巴克球图样从光的波动理论来看是熟悉的。

个波的波谷从而抵消它们，在屏幕上留下暗区。英国物理学家托马斯·杨在 19 世纪早期已经做过这个实验，他说服人们相信光是波而并非像牛顿认为的那样光是由粒子构成的。

尽管我们可以断言牛顿提出的光不是波的说法是错误的，但是，当他说光能够按照仿佛是由粒子构成的那种方式行为时，他又是正确的。今天，我们把构成光的粒子称为光子。正如我们由无数原子构成，光也是由大量光子构成的，从这个意义上说，我们日常生活中看见的光也是复合体——甚至功率 1 瓦的夜灯每秒就能放射出 100 亿亿个光子。单个光子通常是不明显的，但在实验室里，我们可以制造出由一连串孤立光子构成的微光，我们可以把它作为光子个体加以探测，就好像我们能够探测孤立的电子或巴克球那样。如此，我们就能运用这样一束光重做杨实验，这束光如此稀疏使得每次只有一个光子到达障栏，并且在前后到达的两个光子之间留有几秒的时间间隔。如果我们这样做了，并且把障栏后面屏幕上光子单独撞击的记录叠加起来，就会发现它们一起累积形成了干涉图样，这与戴维森—革末实验中通过每次一个地发射电子（或巴克球）所得到的图样非常相像。对物理学家而言，这是一个惊人的启示：如果单个粒子可以与自身发生干涉，那么光的波动本性就不只是一束光或者大量光子集合体才具有的性质而是每一个孤立粒子都具有的性质。

量子物理的另一个主要原理是 1927 年由维纳·海森堡表述的测不准原理。测不准原理告诉我们，要同时测量某种数据，比如一个粒子的位置和速度，我们的能力是有限的。举例来说，根据测不准原理，如果你把粒子位置的不确定性和它的动量（它的质量乘以它的速度）的不确定性相乘，其结果绝不会比一个称作普朗克常数的定值还小。这像是个绕口令，但是它的大意可以简单表述如下：你要把速度测量得越精确，那么你只能把位置测量得

越不精确，反之亦然。举例言之，如果你要把位置的不确定性减半，你就不得不把速度的不确定性加倍。注意到如下事实也非常重要，即与诸如米、千克和秒这样的日常计量单位相比，普朗克常数非常小。实际上，如果以日常单位计量，它的值约为 6/1000000000000000000000000000000000。其结果是，如果你将质量为 1/3 千克的足球这样的宏观物体在任何方向都定位于 1 毫米以内，我们仍然能够把它的速度精确到比每小时千亿亿亿分之一千米还要高。那是因为用这些单位计量，足球质量为 1/3，位置的不确定性只有 1/1000，两者都不足以负担普朗克常数中所有那些零，因而责任就落到了速度的不确定上。但如果用同样单位计量，电子质量仅 0.00000000000000000000000000001，对电子而言情况就不同了。如果我们测量一个电子的位置，使其精度大略地相当于一个原子的尺度，测不准原理就限定了我们测得的电子速度精度不会比正负 1000 千米每小时更精确，这样一来，速度当然完全不准。



“如果这是对的，那么我们认为是波的一切事物实际上就是粒子，而我们认为是粒子的一切事物实际上就是波。”

按照量子物理，无论我们获得多少信息，也无论我们具备多么高超的计算能力，物理过程的结果都不能精确地加以预测，因为它们不是由确定性所**决定**的。相反，给定一个系统的初始状态，自然就通过一个根本不确定的过程来决定它的未来状态。换言之，自然并不规定任何过程或者实验的结果，它允许众多不同的可能结果出现，每一个结果都具有其实现可能性。改述爱因斯坦的话就是，好像上帝在决定每一个物理过程的结果前掷骰子。这个观点困扰着爱因斯坦，因而使他尽管本是量子物理的开创者之一，随后还是变成了量子物理的批评者。

也许，量子物理看上去动摇了自然受定律制约的观念，但事实并非如此。相反，它引领我们去接受一种新形式的决定论：给定系统在某一时刻的状态，自然定律就决定了它各种各样的未来和过去出现的**概率**，而不是明确地决定未来和过去本身。尽管这种观点并不合一些人的口味，但是科学家也必须接受这种符合实验的理论而不是他们自己预想的观念。

科学对理论的要求是可验证性。如果量子物理预测的或然性意味着预测不可能被证实，那么量子物理就没有资格作为有效理论了。然而，尽管量子物理所做的预测只有或然性，我们还是可以检验量子理论。例如，我们可以将一个实验重复许多次，然后证明各种各样结果出现的频率和预测出的概率符合一致。考虑一下巴克球实验。量子物理告诉我们，没有任何东西位于一个确定的位置，因为如果这样的话，动量的不确定性就会变成无穷大。事实上，根据量子物理，在宇宙任何地方都有找到某个粒子的可能性。因此，即便在双缝实验装置中找到一个给定电子的机会非常大，也总是存在着在半人马座阿尔法星或是在你办公室自助餐厅的肉馅马铃薯饼中发现它的可能性。结果就是，如果你射出一个量子巴克球让它飞行，那么，无论你拥有多强能力也无论你具

备多少知识，你都无法提前预知它会确切地落在何方。但是，如果你重复这个实验许多次，你获得的数据将反映出在各处各地找到球的概率，而实验者已经确证了实验结果和理论预测是符合一致的。

量子物理中的概率不同于牛顿物理或者日常生活中的概率，明白这一点也非常重要。将平稳射向屏幕的巴克球流所形成的图样与运动员瞄准靶心投掷飞镖从而在靶盘上形成的小孔图样进行比较，我们能够对此有所理解。除非运动员喝了太多啤酒，飞镖落在靶盘中心附近的机会最大，越远离中心落镖机会就越小。正如巴克球一样，一支给定的飞镖会落向任何地方，但是随着时间的推移，靶上累积而成的小孔图样反映出在该处出现飞镖的潜在可能性的大小。我们在日常生活中省思这种情形时，也许会说飞镖落到各不相同的位置都有其一定的概率；但即使我们这样说，这也不同于巴克球的情况，因为这仅仅是由于我们对飞镖发射时的所处状态了解得不完全。如果我们能够确切地知道运动员发射飞镖的方式，了解飞镖的角度、旋转的情况、速度的大小等等的话，我们就能改进我们的描述。那么，原则上我们是能够预测飞镖将击中的位置的，而且想要多精确就能多精确。因此，我们使用概率这个术语来描述日常生活中事件的结果，无关于过程的内在本性，只不过是我们对过程某些方面无知的反映罢了。

量子理论中的概率与此不同。它们反映了自然中根本的随机性。自然的量子模型蕴含着不仅与我们日常经验矛盾也与我们关于实在的直观概念矛盾的原理。对这些原理感到不可思议和难以理解的人不在少数，这些人中甚至不乏像爱因斯坦和费恩曼（我们马上就会介绍费恩曼的量子论表述）这样的伟大物理学家。事实上，费恩曼就曾这样写道，“我想我可以有把握地说，没有人理解量子力学。”但是，量子物理能与观测符合一致，还从未在检验

中失败过，他已经经受了比其他科学理论还要多的检验。

1940 年，理查德 · 费恩曼得出了量子世界不同于牛顿世界的惊人见解。双缝实验中的干涉图样如何产生，这个问题激起了费恩曼的好奇心。让我们回忆一下这个实验，双缝同时打开时发射分子所见到的图样并不是我们做两次实验——一次只打开一道狭缝，一次再打开另一道狭缝——所得到的图样的总和。相反，当双缝同时打开时，我们发现了一系列亮暗相间的条纹，暗纹所在之处是没有粒子到达的区域。这意味着，如果假定只有一道狭缝敞开，那些本来会落到暗纹区域的粒子，在两道狭缝同时打开时就不会落向那儿。这就仿佛是在从源头飞向屏幕这一旅途中的某个地方，粒子获知了双缝的信息。这种行为与日常生活中事物看上去的行为方式完全不同，就后者而言，一个球会遵循某条路径穿过其中一条狭缝，而不会受到另外一条狭缝所处情形的影响。

根据牛顿物理——也根据我们用足球替换分子进行实验所得的那种行为方式——每一个粒子都会沿着一条单独而明确的路径从源头飞向屏幕。这个模型图景中，没有为粒子沿途绕行拜访每一条缺缝临近区域的可能性留出余地。然而，根据量子模型，粒子被认为是在它从起点飞向终点的过程中没有确切的位置。费恩曼认为，我们并不一定要将此解释为粒子在它从源头飞向屏幕的旅途中**没有**选取路径，相反它意味着粒子取连接起止两点的**每一条**可能路径。费恩曼断言这就是量子物理不同于牛顿物理的原因所在。双缝同时打开的情形非常重要，因为粒子不是遵循一条单独而明确的路径，而是取每一条路径并且**同时**选取它们。这听起来就像科幻小说，但并非如此。费恩曼建立了一个数学表达式——费恩曼历史求和——它反映了这个观点并且重演了量子物理的所有定律。在费恩曼的理论中，数学和物理的刻画不同于量子物理原先的表达，但它们的预测是相同的。

在双缝实验中，费恩曼的观点就意味着，粒子要么只经过这一道狭缝或者只经过另外那一道狭缝；要么穿过了第一道狭缝后又折回来穿过第二道狭缝最后再次穿过第一道缺缝；要么它在拜访了提供咖喱大虾的餐馆后又绕着木星旋转几周才回到家中；要么甚至是穿越了宇宙又返转回来。费恩曼的观点解释了粒子是如何得知狭缝的开合的——如果一道狭缝打开，粒子就穿过它，当双缝同时打开时，粒子穿过一道狭缝的飞行路径就会干扰它通过另一道狭缝的飞行路径，因而导致了干涉。这听起来也许太疯狂了，但是就今天大多数基础物理研究的目的而言——同时对于本书的目的来说——费恩曼的表述已被证明比原先的更为有用。



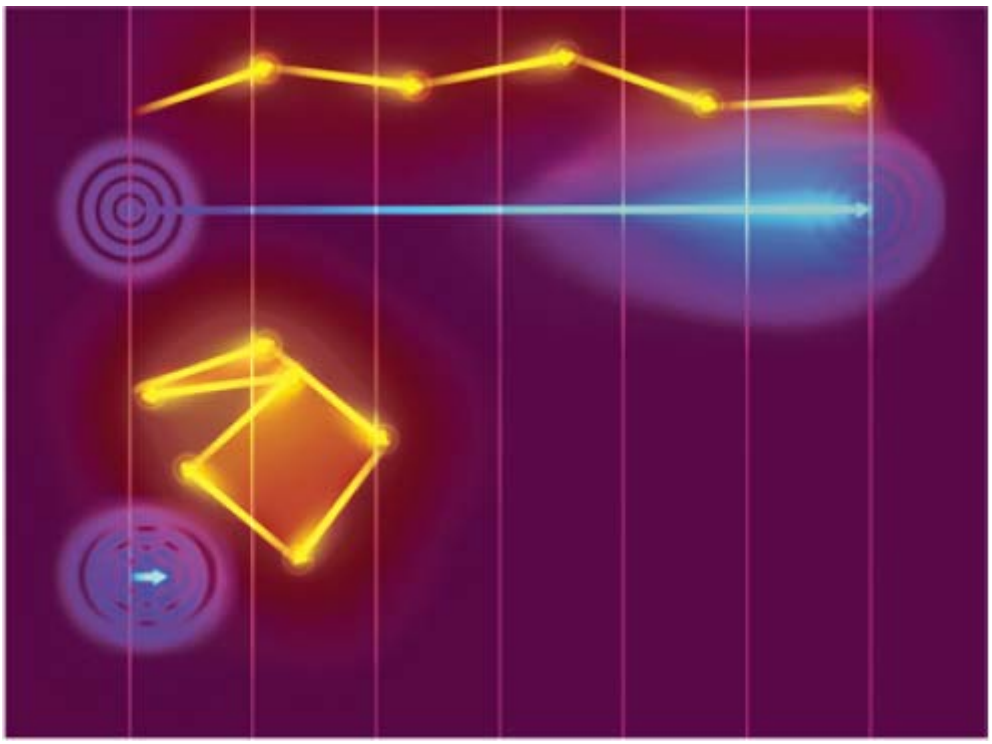
**粒子路径** 当把诸如巴克球和电子这样的粒子射向狭缝，屏幕上就形成了干涉图样，费恩曼的量子理论表述为解释其成因提供了一个新图景。

费恩曼关于量子实在论的观点对理解我们马上就要提出的那些理论是至关重要的。因此，值得花些许时间来感悟一下他的理论如何发挥作用。想象这样一个孤立的过程，其中一个粒子从某

个位置 A 开始自由运动。在牛顿的模型中，粒子将会遵循一条直线前进。经过一段精确的时间后，我们顺着直线的方向会发现它位于某个确切的位置 B。在费恩曼的模型中，一个量子粒子尝试了连接 A 和 B 的每一条路径，为每一条路径收集一个称为相位的数值。相位表征着在一个波动周期中的位置，那就是说，它代表着粒子位于波峰还是位于波谷抑或是位于它们之间的某个确切位置。费恩曼计算相位的数学方法表明，当你把来自所有路径的波叠加在一起，你就能得到粒子从 A 出发到达 B 处的“概率幅度”。将这个概率幅度平方就可以给出粒子到达 B 处的正确概率。

每一条单独路径的相位都对费恩曼和（因而也就是为从 A 运动到 B 的概率）作出贡献，相位可以形象地用一个长度固定但指向任意方向的箭头来加以刻画。要将两个相位相加，你可以把代表一个相位的箭头和代表另一个相位的箭头首尾相连，这就能得到代表相位之和的一个新箭头。若要将更多的相位加起来，你只需要非常简单地重复这个过程。请注意，当相位排成一列时，代表它们之和的箭头会相当长，但是，如果它们指向了不同的方向，那么当你将它们相加时，它们会彼此抵消，最后给你留下的箭头就不会那么长。这个观点图示如下。

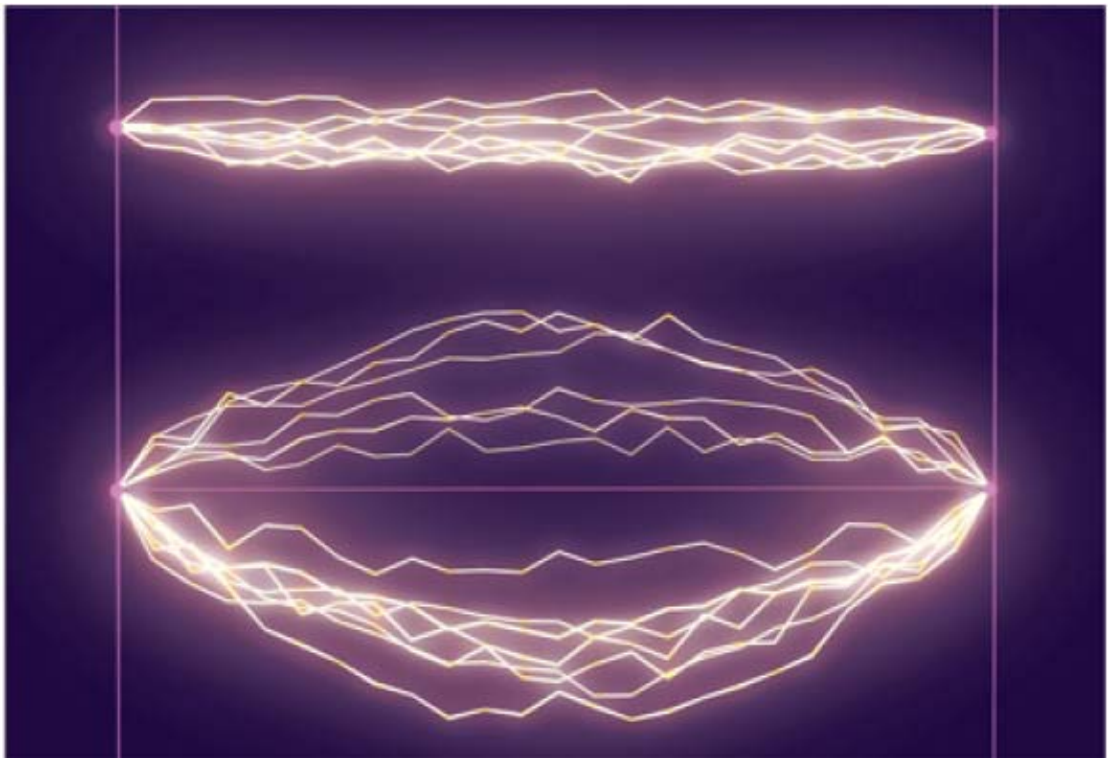
要采用费恩曼的方法计算粒子从位置 A 出发终止于位置 B 的概率幅度，可以把连接 A 和 B 每一条路径相应的所有相位或者箭头加起来。因为存在着无穷多条路径，这使得数学计算有点复杂，但仍能完成。下图中就给出了某些路径。



**费恩曼路径叠加** 源自不同费恩曼路径的效应会像波一样地彼此加强或减弱。黄箭头代表了用来叠加的相位。蓝箭头代表它们的和，是从第一个箭头的尾部延伸至最后一个箭头顶点的一条直线。在下方那个图中，箭头指向不同的方向因而使得它们的和即蓝线非常短。

看似非常不同的牛顿世界图景如何能从量子物理中呈现出来，费恩曼的理论为解答这个问题给出了一个特别清晰的图景。按照费恩曼理论，每一条路径的相应相位依赖于普朗克常数。这个理论规定说，由于普朗克常数如此之小，以至于当你把那些彼此邻近的路径所作的贡献相加时，相位通常变化得非常大，因而，正如上图所示那样，它们的和趋近于零。然而，这个理论也同时表明，存在某些路径，相位有排成一列的趋势，因而这些路径就非常幸运，即是说它们能够对粒子的可观测行为作出较大的贡献。结果是，对于大型物体而言，类似于牛顿预测的那些路径将会具有非常相似的相位，它们叠加起来无疑会对费恩曼和作出最大的贡献，概率显著大于零的惟一终点就是牛顿理论所预测的终点，这个终点概率非常接近于 1。因此，大型物体的运动恰如牛顿理

论的预测。



**从 A 至 B 的路径** 两点之间的经典路径是一条直线。它附近路径的相位倾向于彼此增强，而远离它的路径的相位则倾向于抵消。

到目前为止，我们已经以双缝实验为背景讨论了费恩曼的观点。在那个实验中，我们把粒子射向有狭缝的障栏，测量粒子终止于障栏后面屏幕上的位置。更一般地，除了预测一个孤立的粒子之外，费恩曼理论还允许我们预测一个“系统”的可能结果，这个系统可以是一个粒子、一群粒子甚至是整个宇宙。从系统的初始状态到我们随后对其性质进行测量，在这个过程中系统的性质正以某种方式演化，物理学家称之为系统的历史。举例来说，在双缝实验中，粒子的历史就是它的路径。正如在双缝实验中，观测到粒子落向任何给定位置的概率依赖于使之能够到达该处的所有路径，费恩曼也表明，就一个通常系统而言，任何观测结果出现的概率都基于可以达致这种观测结果的所有可能历史。因此，

费恩曼的方法也被称为“ 历史求和 ”，或者说是量子物理中所谓“ 可择历史 ” 的一种表达。

既然我们已经对费恩曼通向量子物理的方法有了一点感性认识，现在是时候去审视我们接下来将运用到的另一个关键的量子原理了——要观测一个系统必然会改变它的进程。上司的下巴沾了一点儿芥末，我们就不能仅仅小心仔细地观察它而不加以干涉吗？是的。根据量子物理，你不能“ 仅仅 ” 观测一样东西。那就是说，量子物理认为要做一项观测，你必须和你正在观测着的对象相互作用。例如，要依靠传统知觉看见一个物体，我们需要用光照亮它。用光照射一只南瓜当然不会对它产生多大影响，但是，如果你用一束哪怕非常微弱的光去照射一个量子微粒——即向它发射光子——就会产生明显可感的影响了，实验表明了结果的改变正是以量子物理描述的那种方式进行的。

假如在前面的双缝实验中，我们向障栏发射一束粒子流然后采集穿过障栏的前一百万个粒子的数据。当我们把落向各不相同的探测位置的粒子数量绘制出来，这些数据就会形成一幅干涉图样。当我们把一个粒子从它的起始位置 A 落向它的探测位置 B 所有可能路径的相应相位叠加，就会发现我们计算出来的粒子落向各个位置的概率和收集到的数据符合一致。

现在假设我们重做这个实验，这次我们用灯照射狭缝以便我们知道粒子经过的中间点 C。（C 可以是双缝中任何一个所在的位置。）这被称为“ 何路 ” 信息，因为它能告诉我们粒子究竟是从 A 经过狭缝 I 再到 B 呢，还是从 A 经过狭缝 II 再到 B 的。既然现在我们知道了粒子穿过的是哪道狭缝，我们用来求和的路径就将包含只穿过狭缝 I 的路径，或者包含只穿过狭缝 II 的路径，绝不能包含既穿过狭缝 I 又穿过狭缝 II 的路径。因为费恩曼在解释干涉图样时是说穿过其中一道狭缝的路径与穿过另一道的发生干涉，

因而，你打开灯去确定粒子穿过的狭缝就排除了其他的可能，这将使得干涉图样消失不在。的确，当进行这个实验时，打开灯会使得结果由干涉图样变成另外的图样！此外，我们可以改动一下实验，我们采用非常微弱的光以便使得并非所有粒子都能与光互相作用。在这种情况下，我们仅只能够获得某一部分粒子的何路信息。如果我们按照是否获知何路信息的标准将粒子到达情况的数据分类，我们发现，未知其何路信息的那部分粒子的数据将会形成干涉图样，而已知其何路信息的那部分粒子的数据将不会形成干涉图样。

这个观点对我们理解“过去”这一概念产生了重大影响。在牛顿理论中，过去被假定为一系列确切存在的事件。如果你看见去年从意大利买来的花瓶躺在地板上碎成狼藉，看见你的孩子站在旁边面露羞怯，你就可以追溯导致这个意外的事件：小手指松开，花瓶坠落，当它碰到地板时爆裂成无数碎片。事实上，给定关于现在的完备数据，牛顿定律允许我们计算出关于过去的完整图像。这和我们的直观理解符合一致，要么是痛苦要么是快乐，世界都有一个确定的过去。也许没有人看到过过去，但过去也确确实实地存在着，就像你用一张张快照将它拍摄下来的样子。然而，量子巴克球并不能认为是沿着确定的路径从源头飞向屏幕。我们可以通过观测将一个巴克球的位置固定下来，但是在我们的观测中间，它取所有的路径。量子物理告诉我们，无论我们当下的观测多么周全彻底，（没有观测到的）过去正如未来一样是不确定的，它仅仅作为一连串的概率而存在。按照量子物理，宇宙没有单一的过去或者历史。

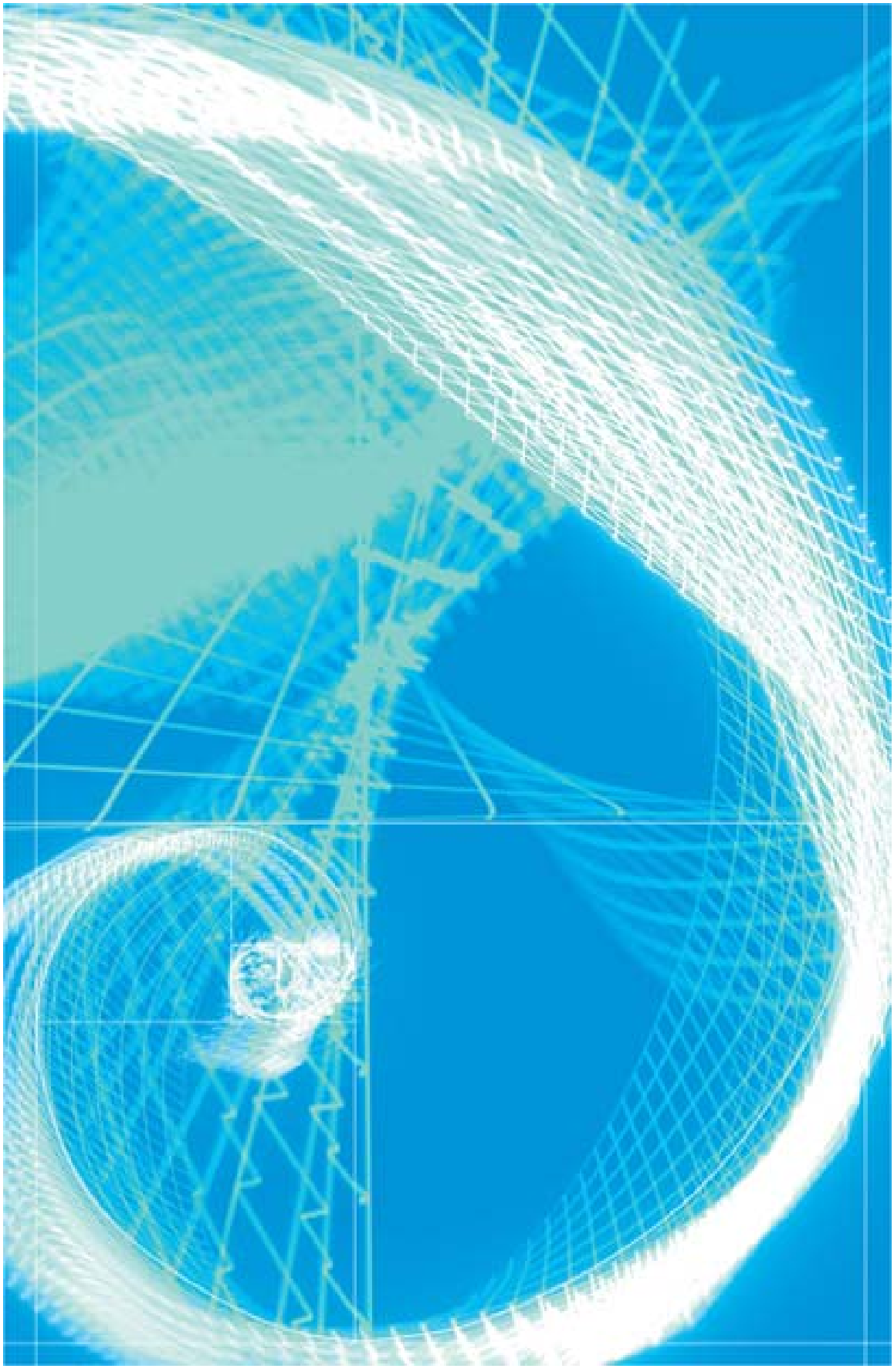
过去没有确定的样态，这意味着你现在对系统所做的观测会影响它的过去。约翰·惠勒设计了一种称为延迟选择的实验对此作了戏剧性的强调说明。概而言之，延迟选择实验就像我们描述

过的双缝实验一样，你能够选择是否观测粒子所取路径，不同之处只在于在延迟选择实验中你把是否观测路径所做的决定恰好推迟到粒子撞到探测屏之前那一瞬间才做出。

延迟选择实验得出的数据等同于我们选择是否通过观察狭缝本身去观测（或者不观测）何路信息时得到的数据。但是，在这种情况下，每一个粒子所取的路径——即它的过去——是在它穿过狭缝很久以后才被确定的，似乎粒子在之前就应“决定”是只穿过一条狭缝不发生干涉，还是同时穿过两条狭缝发生干涉。

惠勒甚至还考虑了这个实验的一个宇宙版本，在这个版本中，实验涉及到的粒子是从数十亿光年之遥的大型类星体发射而来的光子。这样的光会被途中星系的引力透镜效应分成两路然后重新汇聚到地球上。尽管这个实验已经超出了目前的技术能力，但是，如果我们能够从这样的光里收集到足够多的光子，它们应该也会形成干涉图样。然而，如果我们放置一个设备去测量到达探测位置不久之前的何路信息，这个图样也会消失。取一条路径还是同时取两条路径，这个选择是在数十亿年前作出的，这比地球甚至可能比太阳的形成时间都要早，但通过实验室里的观测，我们仍然可以影响那个选择。

本章中，我们已经利用双缝实验举例阐述了量子物理。在接下来的篇章里，我们将把费恩曼的量子力学表述运用到作为整体的宇宙中去。我们将会看到，像粒子一样，宇宙也没有单一的历史，而是具有每一种可能的历史，每一个历史都有其自身的概率；我们对宇宙的当下观测会影响它的过去并决定宇宙的不同历史，这就好像双缝实验中对粒子的观测会影响粒子的过去一样。这种分析将会表明我们宇宙中的自然定律是如何从大爆炸中呈现的。但是，在我们考察定律如何显现之前，我们将简单谈谈那些定律为何以及它们唤起了哪些神秘。



# 第五章 万物之理

宇宙最不可理解之处就是它是可理解的。

——**阿尔伯特·爱因斯坦**

宇宙是可以理解的，因为它是受定律制约的。那就是说，宇宙的行为是能够模型化的。但是，定律或者模型指的又是什么呢？引力是使用数学语言描述的第一种力。牛顿的万有引力定律发表于 1687 年，它指出宇宙间每一个物体都吸引着其他任何物体，引力的大小与它的质量成比例。这给那个时代的精神生活留下了深刻印象，因为它首次表明宇宙至少有一个方面是能够精确地模型化的，并且可以通过创造数学工具来实现。存在自然定律的这种观念导致了与大约 50 年前伽利略因之受到异端审判的那种观念相似的问题。譬如说，圣经讲述了一个故事，约书亚祈祷太阳和月亮在它们的轨道上停止下来，以便他有额外的白昼结束与迦南之地的亚摩利人的战斗。据约书亚书记载，太阳静止了大

约一天的时间。现在，我们知道那指的应该是地球停止了旋转。如果地球停止了旋转，根据牛顿定律，没有束缚在大地上的任何东西都将以地球的原初速度（在赤道处为每小时 1100 英里）保持运动——这是祈祷延迟日落所需付出的高昂代价。这并没有给牛顿造成困扰，因为正如我们说过的，牛顿相信上帝能够并且确实在干预着宇宙的运行。

宇宙第二个方面的定律或者模型也得以发现，那就是电力和磁力。电力、磁力的表现很像引力，但存在着重大差别，即同种电荷或者同种磁体彼此排斥，而异种电荷或者异种磁体则相互吸引。电力、磁力远比引力强，但日常生活中我们通常注意不到它们，因为宏观物体所包含的正负电荷在数量上几乎相等。这就意味着两个宏观物体之间的电力、磁力差不多彼此抵消了，而不像引力是完全叠加的。

我们目前流行的电学和磁学观念是在 18 世纪中期到 19 世纪中期近百年的时间内发展起来的。那时各国物理学家对电力和磁力进行了仔细的实验研究。其中一个重大发现就是电力和磁力是相互关联的：运动着的电荷会对磁体施力，运动着的磁体也会对电荷施力。丹麦物理学家汉斯·克里斯蒂安·奥斯特最早认识到两者之间的联系。1820 年，当他在为大学里的讲座作准备的时候，奥斯特注意到电池产生的电流使附近罗盘的指针偏转。他不久就认识到运动的电流会产生一种磁力，并创造了“电磁”这个术语。几年以后，英国科学家迈克尔·法拉第作了推理——用现代术语来表达——如果电流能够产生磁场，那么磁场也应该能够产生电流。他在 1831 年演示了这个效应。十四年以后，法拉第在演示强磁性影响偏振光性质时还发现了电磁和光之间的联系。

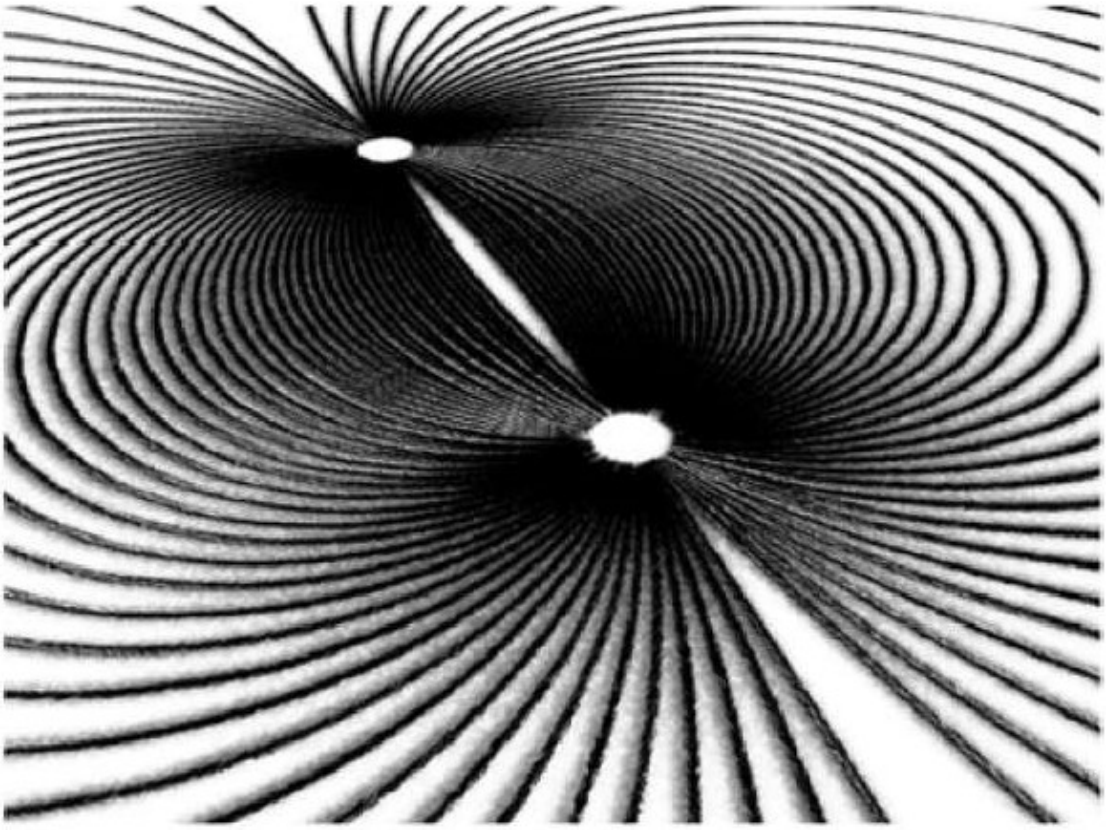
法拉第没有受过多少正规教育。他出生于伦敦附近一个穷苦的铁匠家庭。13 岁辍学后，在一家书店里做跑差和装订工。在那

里，他花了许多年的时间，阅读他手中照管的书本，利用闲暇进行简单廉价的实验，以此学习科学知识。最终，他获得了一份工作，在伟大的化学家汉弗莱·戴维爵士的实验室里做助手。法拉第在那儿度过了他一生中余下的 45 年时光，并在戴维逝世后接替戴维。法拉第遇到了数学上的许多困难，他从未学过多少数学知识，因而要为他在实验室里观测到的古怪的电磁现象构想出理论图景，这对他而言不啻一个挑战。尽管如此，他还是成功了。

力场的观念是法拉第一项伟大的智识创新。现在，得益于讲述虫眼外星人以及他们星际飞船的书籍和电影，大多数人对这个术语已经非常熟悉了，法拉第或许应该得到版税。但是，在从牛顿时代到法拉第时代的几个世纪里，物理学重大奥秘之一就是，物理定律似乎暗示着力的作用穿越了相互作用的两个物体之间的真空。法拉第不喜欢那种观点。他相信，要移动一个物体，就必须有某种东西和它接触。因此，他把电荷和磁体之间的空间假想为充满着看不见的管道，这些管道机械地执行着推和拉的动作。法拉第把这些管道称为力场。将力场形象化的一个好办法是进行教室演示，在这个实验中，我们把一块玻璃板放在一个条形磁铁上，再在玻璃板上撒上铁屑。轻轻拍打几下玻璃板以便克服铁屑与玻璃板之间的摩擦力，这样铁屑就会像是被一种看不到的力推挤着一样移动，把自身排成一个个弧形的图案，从磁铁的一极延伸到另一极。这就是那些弥漫在空间中不可见的磁力的图示。现在，我们相信所有的力都是通过场传递的，因此，力场是现代物理学的一个重要概念——就像它在科幻小说中那样的重要。

人们对电磁学的认识停滞了好几十年，总共就只得到了关于几条实验定律的不多知识：电和磁密切甚至似乎是神秘相关的迹象；电磁与光具有某种联系的见解；以及场的概念的萌芽。至少存在着十一种电磁学理论，每一种都有缺陷。后来，在 19 世纪

60 年代那几年间，苏格兰物理学家詹姆士·克拉克·麦克斯韦把法拉第的思想发展成了一个数学框架，用以解释存在于电、磁和光之间的紧密而又诡异的联系。得到的结果是一组方程，这组方程把电力和磁力描述成了电磁场这同一物理实体的表现。麦克斯韦已经把电力和磁力统一成了同一种力。此外，他还证明了电磁场能够作为波在空间中传播。这种波的速度由它方程组里的一个数字决定，这个数字是他从早先几年的实验测量数据里计算而得的。令他惊讶的是，他算得的速度等于光速，在那个时代，人们通过实验测得的光速精度已达百分之一。他发现了光本身就是一种电磁波。

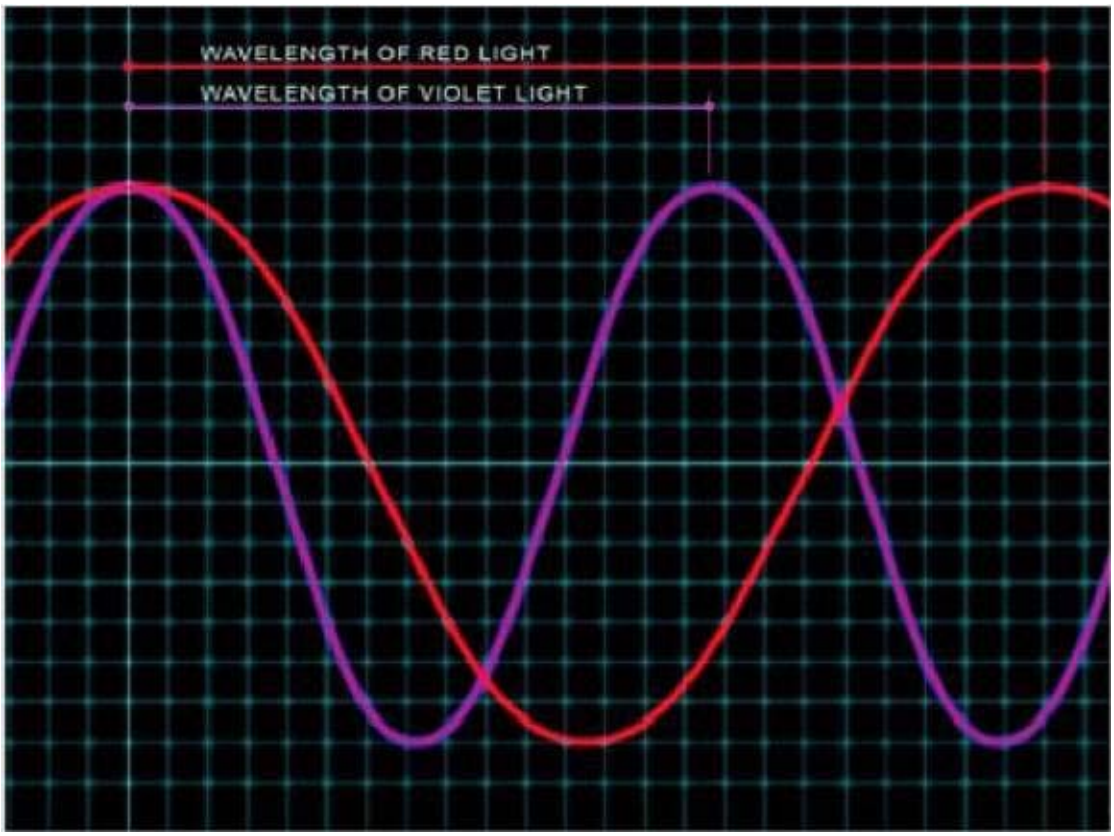


**力场** 通过铁屑作用例示的条形磁体力场。

今天，描述电场和磁场的方程组被称为麦克斯韦方程组。没有多少人听说过它们，但它们大概是我们所知的最具商业重要性的方程了。它们不仅制约着从家用电器到计算机所有一切的运转，而且还描述了除光以外的其他波，诸如微波、无线电波、红外线和 X 射线等等。所有这些波与可见光的不同之处仅在于一个方面——它们的波长。无线电波的波长在 1 米及其以上，而可见光的波长只有 1 米的千万分之几，X 射线的波长则比一亿分之一米还要短。我们的太阳辐射波含有所有波长，但其中最强的部分则是我们可见波长的波。这可能并非意外，我们裸眼可见的波长是太阳辐射波中的最强部分：仿佛我们的眼睛之所以进化到能够精确地探测那个范围内的电磁辐射，是因为那个范围的辐射对我们而言最为有用。如果我们有一天遇到来自其他行星的生命，他们或许也能够“看见”他们自己的太阳放射出的最强部分的辐射，这些辐射波也经过了他们行星大气层中灰尘、气体阻光特性等等因素的调节。因此，在 X 射线环境下进化的外星人如果去机场安检部门工作就会干的非常出色。

麦克斯韦方程组限定了电磁波以大约每秒 300000 千米或者说是大约每小时 670 英里的速度传播。但是你必须先指定一个参照系才能测量相对于它的速度，撇开参照系谈速度毫无意义。这不是你日常生活中需要常常思考的事情。当一个限速标志写明每小时 60 英里，这可以理解为你的速度是相对于路面而不是相对于银河系中心的黑洞来测量的。然而，即使日常生活中也有某些场合使你不得不考虑参照系。举例来说，如果你在飞行着的喷气式飞机上端着一杯茶穿过过道，你也许会说你的速度是每小时 2 英里。但是，站在地面上的某人会认为你是在以每小时 572 英里的速度移动。别以为哪一位观测者的说法更符合真相，请记住，由于地球围绕太阳旋转，假如还有人从太阳表面观察你，他对上述两个

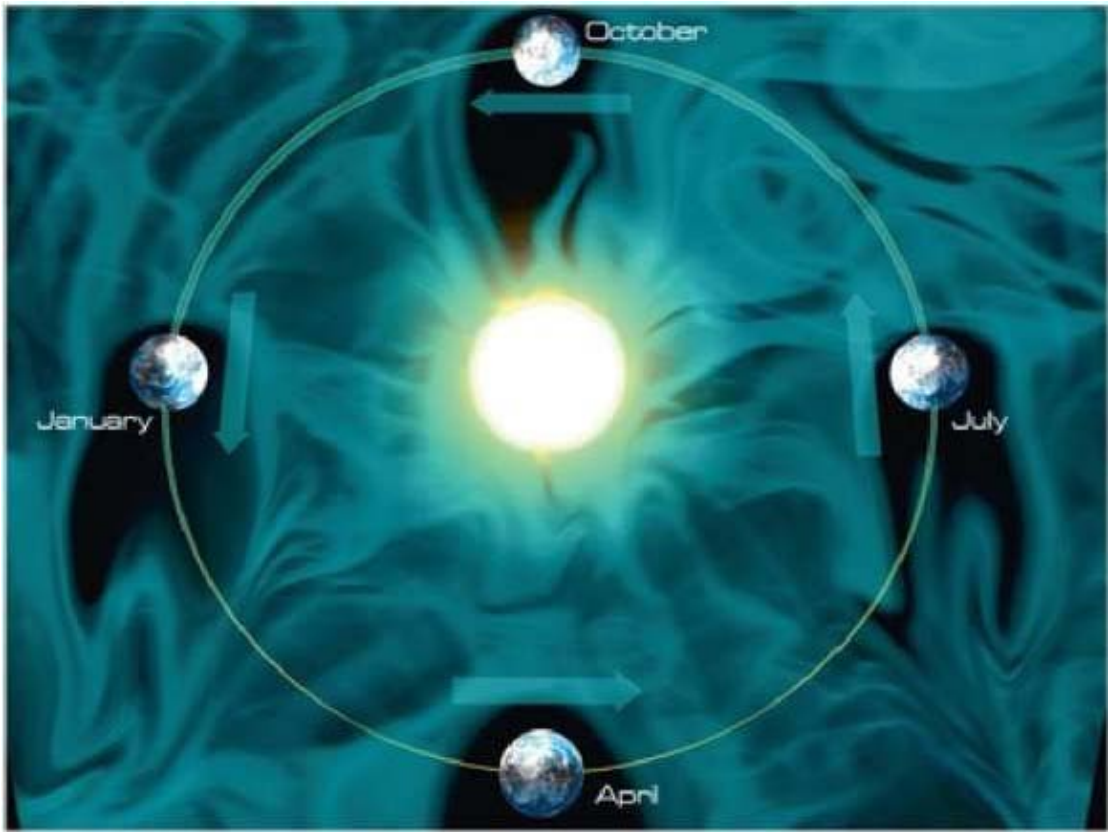
说法都不会同意，他会说你正在以每秒大约 18 英里的速度运动，更不用说他还非常羡慕你的空调了。基于这样的分歧，当麦克斯韦声称他已经发现从方程组中得出的光速时，一个很自然的问题就是，麦克斯韦方程组中的光速是相对于哪个参照系测量的？




**波长** 微波、无线电波、红外线和 X 射线——以及不同颜色的光——它们的区别仅在于波长的不同。

没有理由相信麦克斯韦方程组中的速度参数是相对于地球测量的速度。毕竟，他的方程组适用于整个宇宙。另一种被暂时考虑过的可选回答是，他的方程组所描述的光速是相对于一种弥漫于空间中先前并未被探测到的介质而言的，这种介质称为光以太，或简称以太，它是亚里士多德创造的一个术语，用以描述他相信的充满了地球之外整个宇宙的那种物质。这种假想出来的以太也许就是电磁波传播的介质，就好像声音通过空气传播一样。如果

以太存在，那将会得到一个静止的绝对标准（即是说相对于以太）同时也因而会有一个定义运动的绝对方式。以太将会提供一个遍及宇宙的绝佳参照系，相对以太，任何物体的速度都能被测量。因此，以太被假定成了理论上的存在，也吸引了一些科学家去探寻它的研究方法或者至少去证实它的存在。这些科学家中，有一位就是麦克斯韦。




**运行穿越以太** 如果我们正在运行着穿越以太，我们就应该能够通过观测光速随季节的变化探测出那种运动。

假设你穿过空气朝着声波奔跑，声波就更快地靠近你，如果你背离它奔跑，他就会更慢地传到你。相似地，如果以太存在，光速就会随着你相对以太的运动而变化。事实上，如果光按照声波一样的方式行为，那么正如超音速喷气式飞机上的人听不到后面飞机发出的任何声音一样，当旅行者穿过以太奔跑得足够快时

也能够超越光速。基于这样的考虑，麦克斯韦提出了一个实验。假如存在以太，当地球围绕太阳运行时就一定会穿过以太。同时，由于地球在 1 月又比如说在 4 月或者 5 月是以不同的方向行进的，因此我们应该能够观测到一年中不同时段光速的细微差别——请看上图。

《皇家学会会刊》的编辑劝说麦克斯韦不要在会刊上发表这一观点，因为他认为这个实验没法成功。但是 1879 年，在麦克斯韦 48 岁因痛苦的胃癌病逝之前，麦克斯韦就此观点给一位朋友写了封信。这封信在他死后发表于《自然》杂志上，被一位叫阿尔伯特·迈克尔逊的美国物理学家读到。受麦克斯韦想法的启发，迈克尔逊和爱德华·莫雷在 1887 年进行了一次非常灵敏的实验用以测量地球穿越以太的不同速度。他们的想法是比较垂直的两个不同方向的光速。如果光速相对以太是一个定值，那么测量结果就应该揭示出光速由于方向不同所引起的变化。但是迈克尔逊和莫雷并没有观测到这种差别。

迈克尔逊和莫雷实验的结果与电磁波通过以太传播这一模型明显冲突，这本该使以太模型作废了。但是迈克尔逊的目的是测量地球相对于以太的速度，而不是去证明或证伪以太假说，并且他所发现的事实也没有使他得出以太不存在的结论。也没有其他人作过这样的论断。事实上，著名物理学家威廉·汤姆逊（开尔文勋爵）就在 1884 年说过，以太是“我们在动力学中确信的唯一物质。有一件事我们确信无疑，那就是光以太的实在性和实体性。”

怎么能够对迈克尔逊 - 莫雷实验的结果置之不理而继续相信以太存在呢？这是我们说过的常常发生的事情，人们试图通过附加人为的特别条件来挽救模型。一些人假定地球曳引着以太随它一起运行，所以我们事实上相对以太并未移动。荷兰物理学家亨德里克·安东·洛仑兹和爱尔兰物理学家乔治·弗朗西斯·菲茨

杰拉德建议说，在相对以太运动的参照系中，也许由于某种未知的力学效应，钟变慢了，距离也发生收缩，因而我们总是测得相同的光速。诸如此类的挽救以太概念的努力持续了近 20 年，直到一篇著名论文发表，这篇论文出自伯尔尼专利局一位年轻而不知名的小职员，阿尔伯特·爱因斯坦。

1905 年，爱因斯坦在他 26 岁时发表了一篇名为《论动体的电动力学》的论文。文中他假设物理定律和作为特例的光速对所有做匀速运动的观测者来说都应该具有相同的形式。结果证明这个观点需要变革我们空间和时间的概念。为了理解何以如此，我们设想喷气式飞机上在同一地点但不同时间发生的两个事件。对飞机上的观测者来说，两个事件之间的距离将会是零，但对于地面上的另一名观测者而言，两个事件隔开了一段距离，这段距离等于喷气式飞机在两事件发生的时间间隙内经过的距离。这表明两名彼此相对运动的观测者在事件发生的距离上出现了意见分歧。

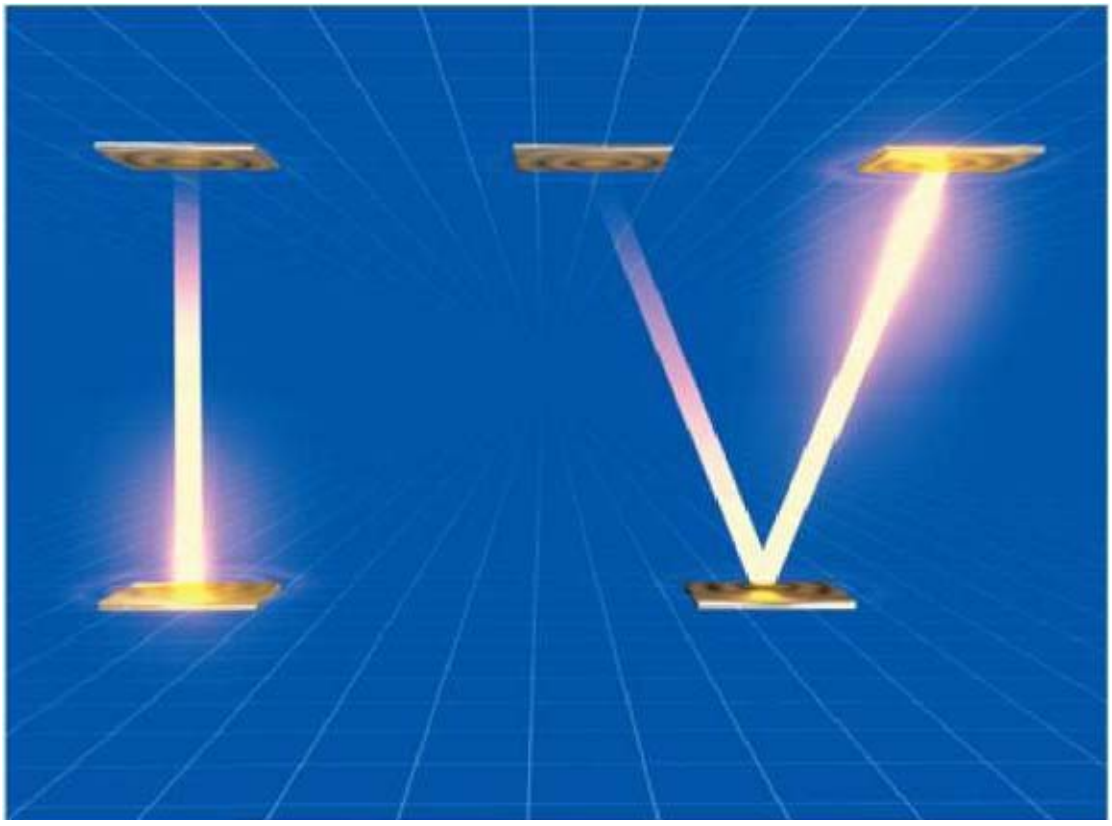
现在假设这两名观测者都在观测一个从机尾行进至机头的光脉冲。正如上述例子，他们将在光脉冲从机尾发射到机头接收经过距离这一问题上产生分歧。由于速度就是经过距离除以所用时间，因此这也就意味着，如果他们对光脉冲行进的速度——即光速——意见一致，他们就会对光脉冲从发射到接收所经过的时间间隔意见不一致。

使事情变得奇怪的是，尽管这两名观测者测得了不同的时间，但是他们却是在观察着**同一个物理过程**。爱因斯坦并不试图为此建立一个人为解释。他得出了一个符合逻辑但却令人震惊的结论，所用时间的测量正如所经距离的测量，依赖于正在进行这项测量的观测者。这个效应是爱因斯坦 1905 年论文所述理论的关键点之一，该理论形成了所谓的狭义相对论。



**飞行中的喷气式飞机** 如果你在喷气式飞机上弹球，在飞机上的观测者会肯定地认为球每次反弹都撞在同一点，而地面上的观测者则会测量出反弹点位置的巨大差异。

假如我们考虑两名观测者观察一只钟，就能发现这个分析如何运用到计时仪器上。狭义相对论保证了，在相对于钟保持静止的观测者看来，钟走时会变快，而在相对于钟运动的观测者看来，钟走时会变慢。如果我们把从机尾行进至机头的光脉冲比拟为钟的滴嗒声，我们会发现，在地面上的观测者看来，钟变慢了，因为这道光束相对于他的参照系不得不行进更大的一段距离。然而这个效应并不依赖于钟的机械构造，它对所有钟成立，甚至包括我们自身的生物钟。



**时间膨胀** 运动着的钟看上去走时更慢。由于这同样适用于生物钟，所以运动着的人看上去也将衰老得更慢，但别抱太大希望——在日常的速度下，任何常规的时钟都测量不出其中的差别。

爱因斯坦的研究表明，正如静止这样的概念是相对的，时间也不会像牛顿认为的那样绝对。换句话说，要为每个事件赋予所有观测者都赞同的时间是不可能的。相反，所有的观测者都有他们自己的时间测量，而且两个彼此相对运动的观测者所测量的时间并不一致。爱因斯坦的观点违背了我们的直觉，因为对于我们日常生活通常遭遇到的速度而言，它所蕴含的效应是无法觉察的。但是，它已经被实验反复确证了。举例来说，设想一只位于地心用作参照的钟，另一只钟位于地表，第三只钟搭载于飞机上，飞机顺着或者逆着地球自转的方向飞行。与位于地心的钟比照，当飞机向东飞行时——顺着地球自转方向——飞机上的钟移动得比地表那只更快，因而它走时应该更慢。类似地，与位于地心的钟

比照，当飞机向西飞行时——逆着地球自转方向——飞机上的钟移动得比地表那只更慢，因而意味着它走时应该比地表的那只更快。这正是 1971 年 10 月进行的一项实验的观测结果，实验中让一只非常精密的原子钟围绕着地球飞行。因此，你可以搭乘飞机朝着向东的方向环绕地球一直飞行以此来延长寿命，尽管你可能会对航空公司播放的所有电影感到厌烦。不过，这个效应是非常微小的，每一次环行大约为亿万分之十八秒（而且这个效应还会由于引力差异的效应而有所减小，但是这里我们不必去涉及它。）

归功于爱因斯坦的研究，物理学家意识到，如果要使得光速对所有的参照系都保持相同，那么麦克斯韦的电磁学理论就要求不能将时间作为与三维空间分离的对象来看待。相反，时间和空间纠缠在一起。这就有点像把关于未来/过去的第四个方向加到通常的左/右、前/后和上/下的三个方向中去。物理学家把这种空间和时间的结合称为“ 时空 ”，又因为时空包含了第四个方向，所以他们把时间称为第四维。在时空中，时间不再与三维空间分离，而且粗略地讲，正如左/右、前/后、上/下的定义依赖于观测者的方位，时间的方向也随着观测者的速度而变化。以不同速度运动的观测者会从时空中选择不同的时间方向。爱因斯坦的狭义相对论因而成为了一个新模型，它排除了绝对时间和绝对静止（即相对于固定的以太静止）的概念。

爱因斯坦很快意识到，为了使引力与相对论协调还需要作另外一个改动。根据牛顿引力理论，在任何给定的时间，物体通过引力彼此吸引，引力的大小取决于当时物体间的距离。然而相对论已经推翻了绝对时间的概念，因此就无法确定应于何时去测量质量物体之间的距离。所以牛顿的引力定律和狭义相对论并不一致，必须加以修正。这个矛盾听起来可能仅仅是一个微不足道的技术困难，甚至或许只需要作某些细节处理而不需要多大的理论

修改。但是，结果表明这种想法大错特错了。

在接下来的十一年里，爱因斯坦发展了一个新的引力理论，称为广义相对论。广义相对论中的引力概念与牛顿的完全不同。相反，它建立在革命性的设想之上，即时空并非像早先假定的那样平坦，而是被处于其中的质量和能量扭曲变形。

想象这种弯曲的一个好办法就是思考地球的表面。尽管地球表面只是二维的（因为沿着这个表面只存在两个方向，北/南和东/西），我们还是将用它作例子，因为一个弯曲的二维空间比一个弯曲的四维空间更容易想象。研究诸如地球表面这类的弯曲表面的几何不是我们熟悉的欧氏几何。举例来说，地球表面，两点间最短的距离——我们知道在欧氏几何中这是一条直线——是在所谓的大圆上连接两点的路径。(大圆是在地球表面上圆心与地球中心重合的圆，赤道就是大圆的一个例子，赤道围绕不同的直径旋转所得的任何圆也是大圆)。

比如说，想象你要从纽约飞往马德里，这两个城市几乎处于同一纬度。如果地球是平的，那么最短的路线就是一直向东的一条直线。如果你这样飞的话，你将飞行 3707 英里才能到达马德里。但是由于地球表面是弯曲的，有这样的一条路线，尽管在平面地图上看起来是弯曲的也显得更长了，但实际上却是更短的。如果你沿着大圆的路线飞行，先向东北方向飞行，再逐渐向东，然后再往东南，你只需要飞行 3605 英里。这两条路线距离的差别，是由于地球表面的弯曲所造成的，这也是非欧氏几何的一个示例。航空公司知道这个事实，每当实际飞行时都安排飞行员沿着大圆飞行。



**测地线** 地球表面上两点之间最短的距离，当绘制在平面地图上时就显得弯曲——这是需要记在脑海里的事实，如果你还正式检验过的话。

按照牛顿运动定律，加农炮弹、牛角面包和行星等等的物体都沿直线运动除非受到了诸如引力这样的外力作用。但是，在爱因斯坦的理论中，引力不像其他的力，毋宁说，它是质量扭曲时空发生弯曲这一事实的结果。在爱因斯坦的理论中，物体沿测地线运动，测地线是弯曲空间中最接近直线的东西。在平面上，测地线是直线；在地球表面，测地线是大圆。如果不存在物质，四维时空中的测地线就对应着三维空间中的直线，但是当物质存在时，它就扭曲时空，物体在其对应的三维空间中的路径就发生弯曲，这在某种意义上就好像牛顿理论中用引力吸引来解释的那种样式。当时空不再平坦，物体的路径就显得弯曲，这就给人以有外力作用于它们之上的印象。

当引力不存在时，爱因斯坦的广义相对论就复制狭义相对论，并且在我们太阳系这样的弱引力环境中，它也能做出与牛顿引力理论几乎相同的预测——但不完全等同。事实上，如果在 GPS 卫星导航系统中不考虑广义相对论，那么全球位置的误差就会按每天大约 10 千米的速率累积！不过，广义相对论的真正重要性并不体现在把它运用于引导你去餐馆的那些设备上，而在于它是宇宙

的一个非常不同的模型，它预测了诸如引力波和黑洞这样的新效应。此外，广义相对论还把物理转换成了几何。现代技术足够灵敏，允许我们进行验证广义相对论的大量精密实验，而广义相对论通过了这所有的检验。

尽管麦克斯韦的电磁学理论和爱因斯坦的引力论——广义相对论——两者都变革了物理学，但它们像牛顿自己的物理学一样都是经典理论。也就是说，它们都是描述宇宙有单一历史的模型。在前一章中我们已经看到，在原子和亚原子水平这些模型并不能与观测符合一致。相反，我们必须运用量子理论，宇宙可以有任何可能的历史，每个历史都具有其自身的强度或者概率幅度。对于涉及日常世界的实际计算，我们可以继续运用经典理论，但是如果希望理解原子和分子的行为，就需要麦克斯韦理论的量子版本；而如果想要理解早期宇宙，那时宇宙中所有的物质和能量都被压挤在一个很小的空间，就必须拥有广义相对论的量子版本。我们需要这些理论，还因为，当我们要寻求关于自然的本质理解时，如果一些定律是量子论的而另外一些是经典理论的，那就不会保证一致。所以我们不得不寻找所有自然定律的量子版本。这样的理论称为量子场论。

自然界中已知的力可以分为四类：

1. **引力**。这是四类力中最弱的力，但却是长程力，并且作为吸引力作用于宇宙间的一切物体。这意味着对大型物体而言，其引力可以叠加并在其他所有力中居于支配地位。

2. **电磁力**。这也是一种长程力，且比引力更强，但它只作用于带电荷的粒子上，在同号电荷之间排斥，在异号电荷之间吸引。这意味着大型物体之间的电磁力会相互抵消，但在原子和分子尺度上却起着支配作用。电磁力决定了所有的化学和生物学过程。

3. **弱核力**。这种力导致放射性，并且在星体和早期宇宙元素的形成过程中扮演着重要角色。不过，我们在日常生活中接触不到这种力。

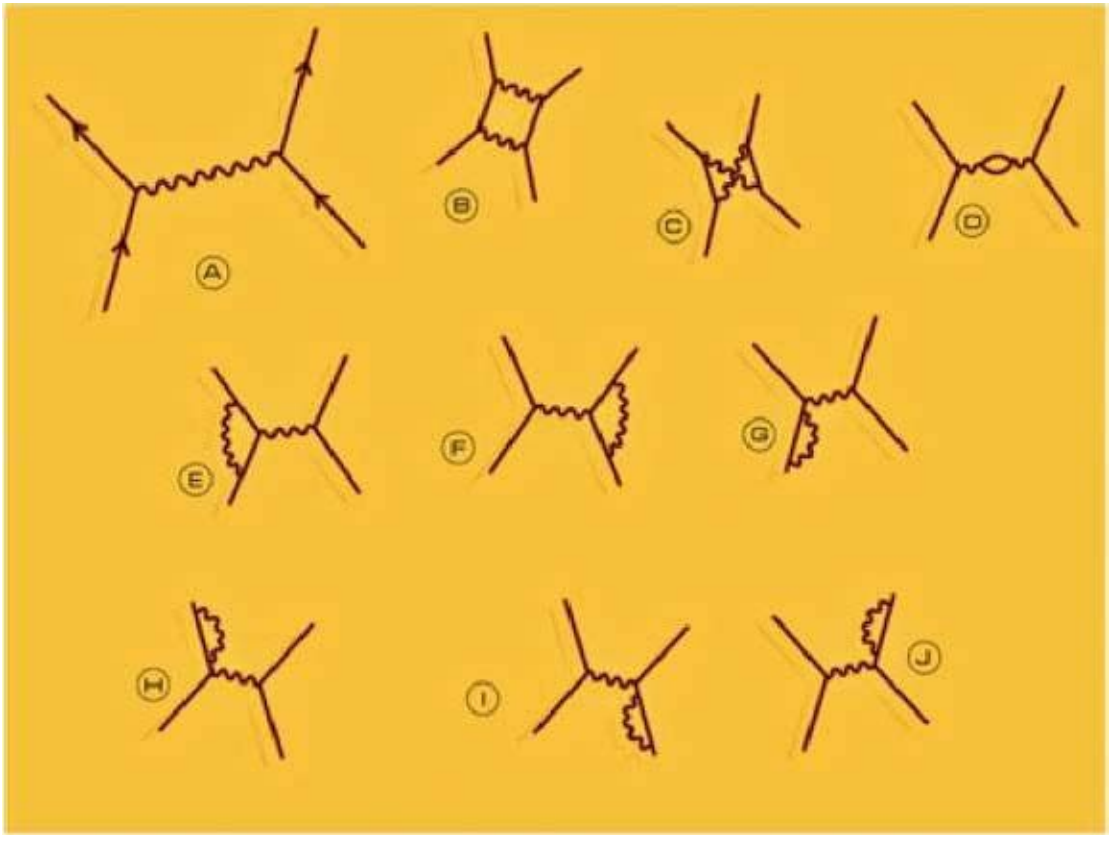
4. **强核力**。这种力把原子核中的质子和中子束缚在一起。它也同样束缚着质子和中子本身，因为它们都是由更小的粒子即我们在第三章中提到的夸克构成的，所以在这里强核力也是必需的。这种强力还是太阳与核能的能量之源，但是，正如弱力一样，我们并不能直接接触到它。

其量子论版本被最早建立起来的力是电磁力。电磁场的量子理论被称为量子电动力学，英文缩写简称 QED，是在 1940 年由理查德·费恩曼和其他一些物理学家发展起来的，现已成为所有量子场理论的一个模型。正如我们说过的，根据经典理论，力通过场传递。但是在量子场理论中，力场被设想为由各种各样称为玻色子的基本粒子构成，玻色子是携带着力的粒子，它们在物质粒子间飞来飞去从事着力的传输。物质粒子称为费米子，电子和夸克就是费米子的例子，而中子或光子则是玻色子的例子。正是玻色子在传递着电磁力，其发生的过程就是，物质粒子，比如电子，发射出一个玻色子或者说力粒子，并因而引起回弹，这非常像加农炮射出炮弹引发的后坐一样。这种力粒子接着与另外一个物质粒子发生碰撞并被其吸收，从而改变了物质粒子的运动状态。按照 QED，发生在带电粒子——感应到电磁力的粒子——之间的相互作用都按照光子交换进行描述。

QED 的预测已经得到验证并且被发现它能非常精确地符合实验结果。但是实施 QED 所要求的数学计算相当困难。我们接下来将看到，问题在于当你把量子论的条件加入到上述粒子交换的框架中去时，这些条件要包括相互作用得以发生的所有历史——

例如力粒子能被交换的所有方式——这使数学计算变得复杂。幸运的是，随着可择历史——在前一章描述过的考察量子论的一种方式——这一概念的创造，费恩曼还发展起了解释不同历史的一个优雅的图解法，今天这个方法不仅运用于 QED，而且还运用到了所有的量子场论中。

费恩曼的图解法提供了一种让历史求和中每一项都可视化的方法。那些称为费恩曼图的图画是现代物理学最为重要的工具之一。在 QED 中，对所有可能历史的求和可以视为对如下那些




**费恩曼图** 这些图与两个电子彼此散射的过程相关。

费恩曼图求和，这些图代表了两个电子通过电磁力彼此散射的某些可能方式。这些图中的实线代表电子，而波浪线代表光子。时间被理解为是从底部往顶部推进，而线的接合点对应着光子被

一个电子发射或吸收。图Ⓐ代表两个电子相互靠近，交换一个光子，然后继续前进。那是两个电子彼此电磁作用最简单的方式，然而我们必须考察所有可能的历史。因此我们还必须把像Ⓑ这样的图也包括进来。那个图也画出两条线走近——正接近的电子——两条线分开——被散射的电子——但在这幅图中，在电子飞离之前它们交换了两个光子。画在这里的图仅仅是部分的可能性；事实上，存在无限数量的图，都必须用数学表达出来。

费恩曼图不仅是对相互作用如何发生进行描画和分类的优雅方法。它们还伴有让你能从每张图的线和顶点中读出数学表达式的规则。比如说，以某个给定的初动量入射的电子最终又以某个特定的末动量飞离，这一概率是通过将每一张费恩曼的贡献加总得到的。这需要花费许多工夫，因为我们说过存在无限多张费恩曼图。再者，尽管电子在射入时和飞离时被指定了明确的能量和动量，但是，在图内闭合环路中粒子却具有任何的能量和动量。这一点是非常重要的，因为在进行费恩曼求和时，我们不仅必须对所有的图求和，还需要对所有那些能量和动量的值求和。

费恩曼图在图示计算 QED 所描述过程的概率方面为物理学家提供了极大的助益。然而，它们不能弥合这个理论所导致的重要缺陷：当你把无限多个不同历史的贡献叠加起来，你将得到一个无穷大的结果。（如果在一个无限求和过程中，连续的项减小得足够快，有可能加得一个有限的结果，但可惜这里的情况并非如此。）特别是，当把费恩曼图叠加起来时，结果看上去似乎意味着电子具有无限的质量和电荷。这当然是荒谬的，因为我们能够测得它的质量和电荷，这是有限的。为了处理这些无限，一种称为重正化的方法发展了起来。



**费恩曼图** 理查德·费恩曼驾驶着一辆绘有费恩曼图的货车。艺术家表现的就是前面讨论过的那些图。尽管费恩曼 1988 年就去世了，但这辆货车仍在——储存于南加州的加州理工学院附近。

重正化的方法涉及到减去一些被定义为负无穷的量，如此，通过仔细的数学计算，理论中出现的这些负无穷量之和就会与正无穷量之和几乎完全抵消，剩下一个很小的余数，这就是被观测到的质量和电荷的有限量。这些操作也许听起来就像是使你在校时数学考试不及格的那种东西，而重正化在数学上也的确像它听上去那样可疑。结果之一就是通过该方法得到的电子质量及其电荷的值可以是任何有限的数量。它的优点在于物理学家可以照此方法选择负无穷量以便得到正确的答案，而其缺陷也在于电子的质量和电荷却因此不能从理论中加以预测。然而，我们一旦通过这种方式确定了电子的质量和电荷，就能够运用 QED 做出大量其他的精确预测，所有这些预测都极其严格地符合观测，因此，重

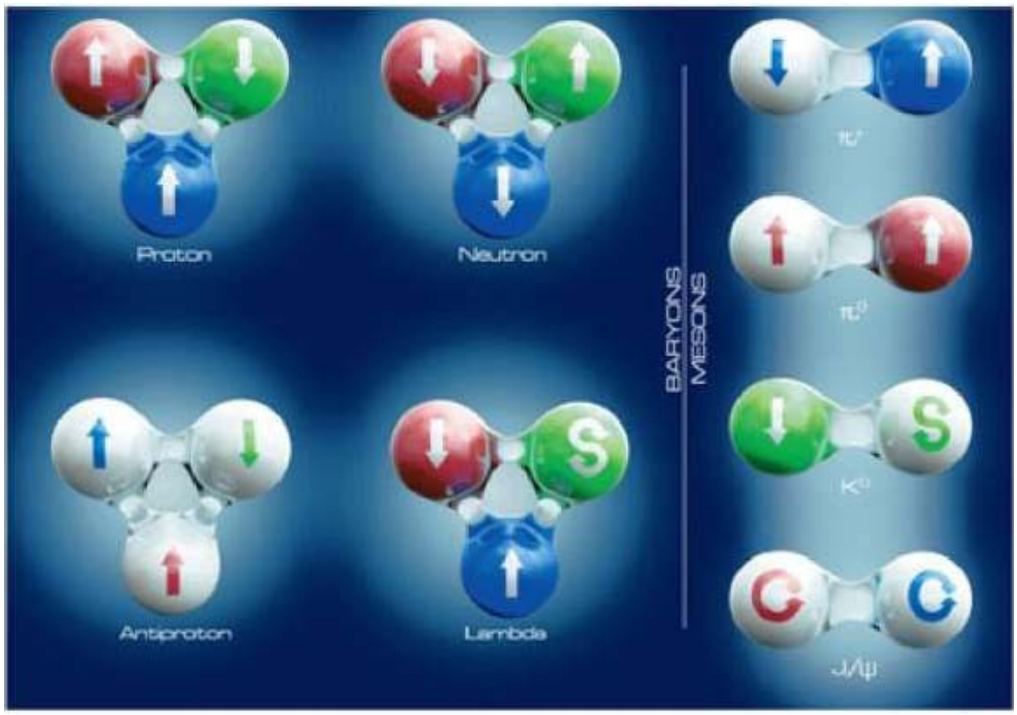
正化是 QED 的必要内容之一。举例来说，QED 一个早期的成功，就是准确地预测了所谓的兰姆偏移，这是 1947 年发现的氢原子在一种状态下能量的细微改变。

QED 中重正化的成功鼓励人们尝试着去寻找描述自然界中其他三种力的量子场论。然而，把自然界的力分为四类很可能是人为的，是我们对其缺乏了解的结果。因此，人们已经在寻找一种包罗万象的理论，要把四种力统一地纳入与量子论协调的单一定律中去。这将会是物理学中的圣杯。

弱力的理论显示了这种统一方法正确性的某种迹象。描述弱力本身的量子场论不能被重正化，那就是说，它含有的无穷不能通过减去诸如质量和电荷这样的有限的量来加以抵消。不过，在 1967 年，阿卜杜斯·萨拉姆和斯蒂文·韦恩伯格各自独立地提出了一个理论，在这个理论中电磁学和弱力实现了统一，并且发现这种统一化解了由无穷带来的灾难。这种统一的力称为电弱力。电弱力的理论能够被重正化，并且它预测了被称为$W^+$、$W^-$和$Z^0$的三种新粒子。$Z^0$存在的迹象是 1973 年由位于日内瓦的欧洲核子研究委员会发现的。萨拉姆和韦恩伯格荣获 1979 年的诺贝尔奖，尽管W粒子和Z粒子直到 1983 年才被观测发现。

强力在一种名叫 QCD 的理论中能够自己重正化，QCD 是量子色动力学的英文缩写。根据 QCD，质子、中子和许多其他的物质粒子都由夸克构成，夸克具有显著的特性，物理学家已将其称为色（因此有了“色动力学”这个术语，尽管夸克的色仅仅是一种有用的标签——它和视觉上的颜色无关）。夸克以所谓红、绿、蓝的三种颜色出现。此外，每一个夸克都有其反夸克配子，这些反夸克粒子的颜色称为反红、反绿和反蓝。只有非净色组合的夸克才能作为自由粒子存在。有两种方式可以实现这种中性的夸克组合。一种颜色和它的反颜色彼此对消，因此，一个夸克和一个

反夸克就组成了一个无色的夸克对，这是一种称为介子的不稳定粒子。同样地，当所有这三种颜色（或着反颜色）混合在一起，结果也没有净色。三个夸克，每个带一种颜色，组成了一种称为重子的稳定粒子，质子和中字就是重子的例子（三个反夸克组成重子的反粒子）。质子和中子是组成原子核的重子，它们也是宇宙中所有常态物质的基本成分。

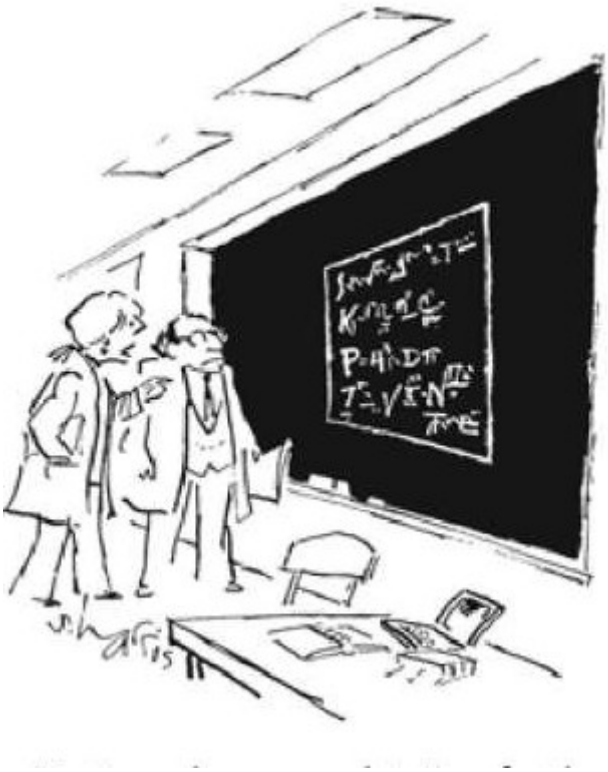



**重子和介子** 重子和介子被认为是由夸克构成的。

QCD 还有所谓渐近自由的性质，我们在第三章中提到过它，但没有给它命名。渐近自由意味着当夸克紧密靠近时，它们之间的强力很小，但当它们远离时，强力就增大，这就好像它们是用橡皮筋连接在一起的。渐近自由解释了不能在自然界中看到也无法在实验室中制造孤立夸克的原因。然而，即使我们不能观测单独的夸克，我们还是接受了这个模型，因为它对于解释质子、重子和其他物质粒子的行为非常有效。

在完成弱力和电磁力的统一之后，物理学家又于 20 世纪 70 年代找到了一种方法将强力也纳入其中。存在若干个所谓的大统一理论或称GUT可以把强力与弱力、电磁力统一起来。这些理论主要预测了质子，这种构成我们的东西，在平均大约 $10^{32}$ 年后就会衰变。那是相当长的寿命，要知道宇宙也只有大约 $10^{10}$年的历史。但是，在量子物理中，当我们提及粒子的平均寿命为 $10^{32}$年时，我们并非是说大多数粒子的存活都接近 $10^{32}$年，有的要长一点而有的则短一点。相反，我们指的是，在每一年里，粒子都有 $1/10^{32}$的机会发生衰变。结果是，假设你对一辆包含 $10^{32}$个质子的坦克观察若干年，你应该会发现有一些质子衰变了。要制造这样的一辆坦克并非难事，因为 1000 吨水里就含有 $10^{32}$个质子。科学家已经进行过这样的实验了。结果表明，要使对衰变的探测和区分免于太空中持续不断涌向我们的宇宙射线的干扰，这不是容易的事。为了使噪音最小化，实验被置于日本神冈矿冶公司在山下 3281 英尺深的矿坑这样的地方去操作，这能稍微屏蔽掉一些宇宙射线的干扰。通过 2009 年的观测结果，研究人员已经得出结论说，如果等到质子完全衰变，那么其寿命远比大约 $10^{32}$年还要长，这对大统一理论而言是一个坏消息。

由于早期的观测证据并不能成功支持 GUT，大多数物理学家采用了一种称为标准模型的特殊理论，它把电弱力的统一理论和 QCD 组成一个关于强力的理论。然而，在标准模型中，电弱力和强力各自扮演不同的角色，并没有真正地统一起来。标准模型是成功的，也能很好地符合目前所有的观测证据，但是它根本上并不尽如人意，因为除了没有将电弱力和强力统一起来而外，它还没有包括引力。



“用方框把它框起来恐怕也不能使它成为一个统一的理论。”

也许，这已证明将强力和电磁力、弱力融合起来是非常困难的，但这种难度与把引力与其他三者融合起来相比，甚至与建立一个有关引力的独立量子理论相比，都是小巫见大巫。引力量子论已被证明很难建立，其原因与我们在第四章中讨论过的海森堡测不准原理有关。尽管这并不明显，但结果仍然表明对于这个原理，场的数量值和它的变化速率扮演着与粒子的位置、速度同样的角色。那就是说，把其中一个确定得越为精确，另外一个就越不精确。它的一个重要结果就是不存在真空这种东西。那是因为真空意味着场的大小和它的变化速率两者都恰好为零。(如果场的变化速率不为零，那么空间就不会保持空虚。）由于测不准原理不允许场的大小和它的变化速率两者都是精确的，空间也就绝不会是真空。它可以有一种最小能量状态，称为真空，但是那种状态从属于所谓的量子扰动或者真空波动——粒子和场在存在与不存

在之间来回转换。

我们可以把真空波动想象为几对粒子，它们在某一时刻一起出现，再分开，然后彼此湮灭。根据费恩曼图，它们对应着闭合环路。这些粒子被称为虚粒子。与真实粒子不同，虚粒子不能使用粒子探测器直接观测。不过，它们的间接效应，比如电子轨道能量的微小变化还是能够测量到，并且也在相当精确的程度上符合理论的预测。问题在于，这些虚粒子具有能量，并且由于存在无穷多的虚粒子对，它们就会具有无限的能量。按照广义相对论，这就意味着它们会把宇宙弯曲为无限小的尺寸，这显然是不会发生的！

无穷招致的灾难和强力、弱力、电磁力理论中发生的情形非常相似，除非在重正化的场合中才能够移除。但是，引力费恩曼图中闭合环路产生的无穷并不能通过重正化而吸收，因为，在广义相对论中不存在足够多的可重正化的参数（诸如质量、电荷的大小）来把所有量子论中的无穷从理论中排除。因此，我们只剩下这样一种引力理论，它预测诸如时空曲率的某些量是无穷的，这种理论就无法制约一个适宜居住的宇宙。这也意味着，要获得一个合理的理论只有一种可能，那就是以某种方式将所有的无穷移除，而不需要诉诸于重正化。

1976 年发现了这个问题的一个可能的解决方案。它被称为超引力。“ 超 ”这个前缀不是附加上去的，也并非因为物理学家认为量子引力论事实上能够起效因而是“ 超级 ”的。相反，“ 超 ”指的是这个理论具有的一种对称性，即所谓的超对称。

在物理学中，如果一个系统的性质在某种特定的变换下，例如在空间中旋转或者选取它的镜像，不受影响，这个系统就被认为具有对称性。举例来说，如果你翻转一个面包圈，它看上去也是完全相同的（除非它上面有一个巧克力尖塔让它变得更好吃）。

超对称是一种更微妙的对称，它与通常空间的变换无关。超对称的一个重要含义就是，力粒子和物质粒子因而也就是力和物质本身，事实上是同一个事物的两面。实际说来，那就意味着每一个物质粒子比如夸克应该有与其相配的力粒子，而每一个力粒子比如光子也应该具有与其相配的物质粒子。这就使得解决无穷这一难题成为可能，因为它表明力粒子在闭合环路中的无限是正的，而物质粒子在闭合环路中的无限是负的，因此，在关于力粒子和与它们配对的物质粒子的理论中存在的无穷是倾向于抵消的。不幸的是，这种需要找出超引力中是否会留有不被抵消的无穷的计算是如此的冗长、困难和易于出错，以至于没有人准备去完成它。尽管如此，大多数物理学家还是相信超引力可能是解决引力与其他几种力统一问题的正确方法。

也许，你会认为检验超对称的有效性是一件很容易的事——只需要检测存在着的粒子的性质以及它们是否配成一对。没有观测到这样的配对粒子。但是物理学家已经展开的各种各样的计算表明配对粒子要适合我们的观测，即使无需更重，至少也必须具有相当于质子 1000 倍的大小。对于这样的粒子来说，那太重了以至于不能在迄今为止的任何实验中被观测到，然而这样的粒子还是有望在日内瓦的大型强子对撞机中最终制造出来。

超对称的观念是建立超引力的关键，但这一概念在早些年已经出现了，它起源于理论家研究的一种称为弦论的新兴理论。根据弦论的观点，粒子不是点，而是具有长度但没有高度和宽度的振动样态——就像无限细的弦。弦论也导致穷，但是人们相信在其正确版本中，所有的无穷都将被取消。弦论拥有另外一个不寻常的特征：与通常的四维时空不同，弦论要保持连贯，仅当时空具有十维。十个维度也许听起来太激动人心了，但是它们会引发真实的问题，如果你忘记你把车停在哪儿了。假如它们确实存在，

那为什么我们不能觉察到这些额外的维度呢？按照弦论的说法，它们被卷曲进了一个尺寸非常小的空间。要想象这个情况，你就设想一个二维的平面。我们把平面称为二维是因为你只需要两个数字（例如，水平坐标和垂直坐标）就能在上面定位任何的点。另外一种二维空间是吸管的表面。为了定位这个空间上的一点，你需要知道，这个点在沿着吸管长度的方向上位于何处，以及这个点在环绕吸管圆周的维度上落在何方。然而，如果吸管非常之细，你只需要运用沿着长度的坐标就可以得到点的一个非常近似的位置，因此，你可以忽略掉圆周那一个维度。并且如果吸管的直径大小只有一亿亿亿亿分之一百英寸，你将根本注意不到圆周的维度。这就是对弦论中额外维度的描绘——它们在一个非常小的尺度内高度弯曲或者卷曲，以至于我们看不见它们。在弦论中，这额外的维度被卷曲进了所谓的内部空间，内部空间与我们日常生活中经验到的三维空间相对。我们将会看到，这些内部状态不仅只是被掩盖起来的隐藏维度——它们还具有非常重要的物理意义。

除了维度的问题而外，弦论还遭遇了另外一个尴尬的问题：对于额外维度的卷曲似乎至少存在五个理论和数百万的方式，对于拥护弦论是万物惟一理论的那些人来说，这种可能性的存在非常令人难堪。接着，大约是 1994 年，人们开始发现二象性——不同的弦论以及额外维度不同的卷曲方式，纯粹就是描述四维时空中同一现象的不同方法。此外，人们发现超引力也按照这种方式与其他理论相关。现在，弦论学家已经确信五种不同的弦论和超引力仅仅是一个更基本理论的不同近似，它们每一个都在不同的情形下有效。

正如我们早些时候提及的，那个更为基本的理论称为 M 理论。没有人知道这里的“ M ”究竟代表了什么，不过它可能意味着“ 大



**吸管与直线** 一根吸管是两维的，但是如果它的直径足够小——或者从远处观察它——它看上去就是一维的，像一条直线那样。

成”、“奇迹”或者“神秘”，或者是所有这三者。人们正在尝试去破译 M 理论的本质，然而这也许不太可能。事实可能是，物理学家对有关自然的单一理论的传统期待已经难以为继，并且也不存在这样的单一描述。事实可能是，为了描述宇宙，我们必须在不同的情况下运用不同的理论。每一个理论都可以有其自身关于实在的版本，但是根据依赖模型的实在论，只要当理论重合之处，这些理论都能符合观测，那么它们就都能被接受，那就是说，无论何时它们都能够适用。

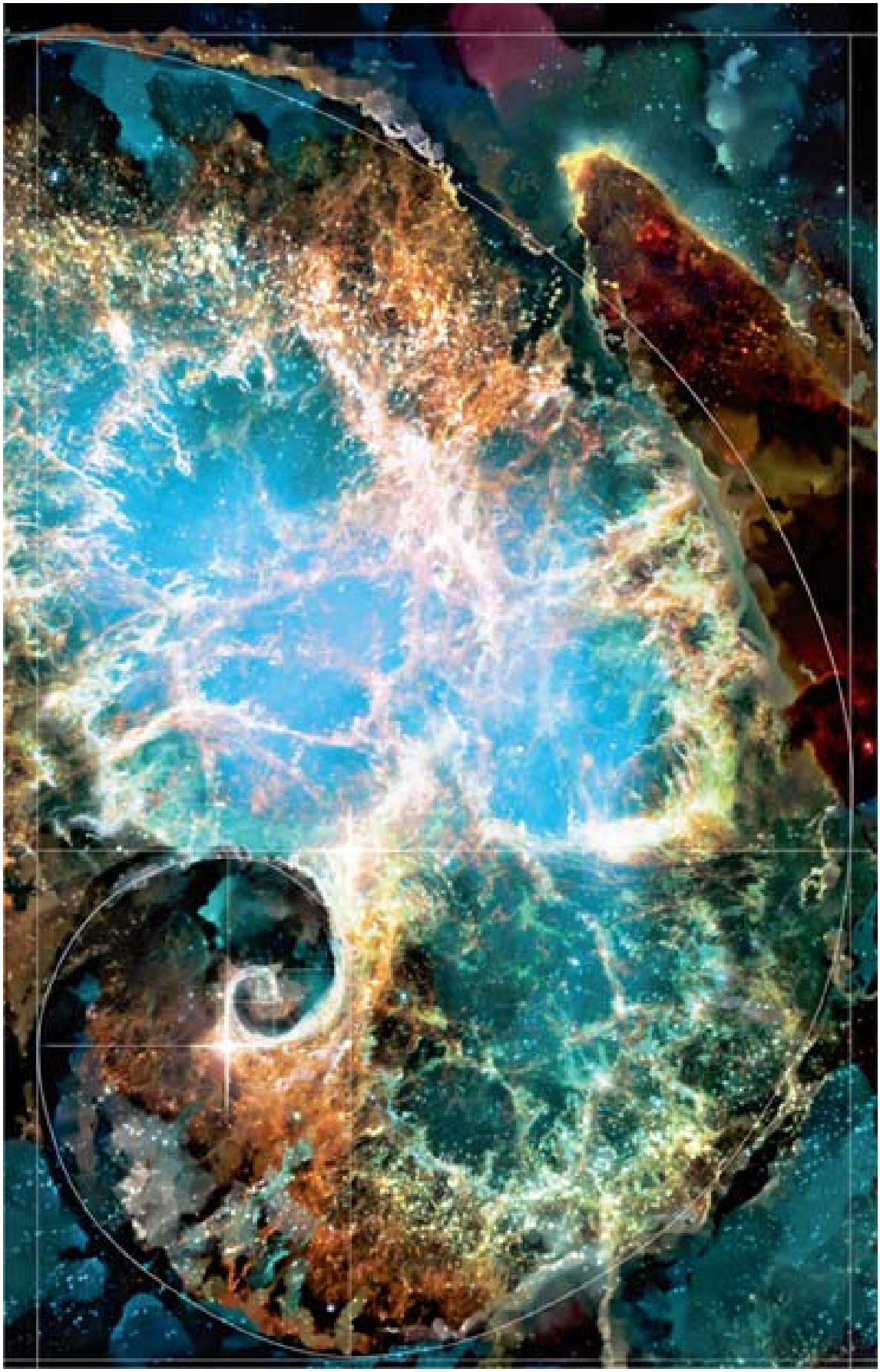
M 理论是一个单独的构想还是只能作为理论网络而存在？我们知道它的一些性质。首先，M 理论有十一个时空维度，而不是十个。长久以来，弦论学家已经猜测到有关十维的预测可能需要修正了，并且目前的研究工作表明有一个需要包括进来的维度被忽视了。并且，M 理论不仅包含有振动的弦而且还包含有点粒子，二维膜、三维块以及其他更难设想的、甚至占据了多达九维的更多维空间的物体。这些物体被称为 p 膜（这里 p 从 0 到 9 取值）。

至于卷曲成微小维度的大量方式，其情况又如何呢？在 M 理

论中，那些额外的空间维度不能以任意方式卷曲。理论的数学依据限制了内部空间维度能被卷曲的方式。内部空间的准确形状既决定了像电子电荷这样的物理常数的取值，也决定了基本粒子之间相互作用的性质。换言之，它决定了自然的表观定律。我们说“表观”是因为意指的是我们在宇宙中观测到的定律——四种力的定律，以及诸如质量、电荷这样的表明基本粒子特征的参数。但是更为基本的定律是 M 理论中那些定律。

因此，M理论中的定律允许**不同宇宙**具有不同的表观定律，这取决于内部空间如何卷曲。M理论给出了许多不同的内部空间的解，可能有 $10^{500}$个之多，这意味着它允许 $10^{500}$个不同的宇宙，每一个宇宙都有其自身的定律。为了体会这个数字有多大，请考虑一下：如果存在某种生物，能够只用 1 毫秒就分析出为每个宇宙做出预测的所有定律，并且从大爆炸起就开始这项工作，那么迄今为止它也只研究了其中的 $10^{20}$个，况且那是在连喝咖啡的时间都不放过的情况下进行了。

几个世纪以前，牛顿证明了数学方程能够为物体相互作用的方式给出令人惊叹的准确描述，无论是在地球还是在天穹。科学家们也因而相信，只要我们知道正确的理论并拥有足够的计算能力，就能预测整个宇宙的未来。后来出现了量子测不准、弯曲空间、夸克、弦以及额外维度，他们研究的最终结果竟然是存在 $10^{500}$个宇宙，各个宇宙拥有各自不同的定律，而其中只有一个对应着我们所知者。物理学家原来希望建立一个单独的理论，凭借它把我们宇宙的表观定律解释为一些简单假设的仅有可能结果，然而这种希望也许不得不放弃了。那我们该怎么办？如果M理论允许$10^{500}$组表观定律，我们为何会落于这个宇宙，并拥有我们自己的表观定律呢？其他那些可能的世界又将如何？



# 第六章　选择宇宙

根据中非波尚果人的说法，太初只有黑暗、水和伟大的天神本巴。一天，本巴胃痛发作，呕吐出了太阳。过了一段时间，太阳把水烤干，露出了陆地。但是本巴胃部仍然疼痛，他不断呕吐出更多的东西。月亮、星星以及一些动物：豹子、鳄鱼、乌龟和最后降临的人类出现了。墨西哥和中美洲的玛雅人讲述了创世前的一个类似时期，那时世界上只存在着海洋、天空和造物者。在玛雅人的传说中，造物者因为无人赞美感到并不快乐，因此他创造了大地、山脉、树林和大多数的动物。然而，动物们不会说话，所以他决定创造人类。起初，造物者用泥土造人，但是这样造出来的人只会胡言乱语。它又把他们溶解，决定再试一次。这次人类从木头里被精工细作地创造了出来，但是这些人又非常呆蠢。造物者打算毁灭他们，但他们逃进了森林，沿途不断的打击使他们发生了些微改变，他们变成了我们今天称为猴子的动物。经历连续惨败之后，造物者最终找到了一种造人的配方，他用白玉米和黄玉米将第一批人类创造了出来。今天，我们用玉米酿造酒精，然而迄今为止，我们的技艺都还不能与造物者创造饮酒之人的壮举匹敌。

如此这般的创世神话都试图解答我们在本书中提出的问题：

宇宙何存在，并且宇宙为何如此？在从古希腊以来的若干个世纪里，我们解答这些问题的能力得到了稳步增长，特别是在过去的上一个世纪得到了最为显著的提升。有了前面章节奠定的基础，现在，我们就准备为这些问题提供一个可能的答案。

即便是在早先的时代，这样的事实也可能是显而易见的，即宇宙是一个非常新近的创造，并且人类存在过的时间只占宇宙历史的很小部分。那是因为人类在智识技术方面的进步是如此迅速，以至于如果人类已经存在了千百万年，那么人类将会伴随着其非凡才能的提升而走得更远。

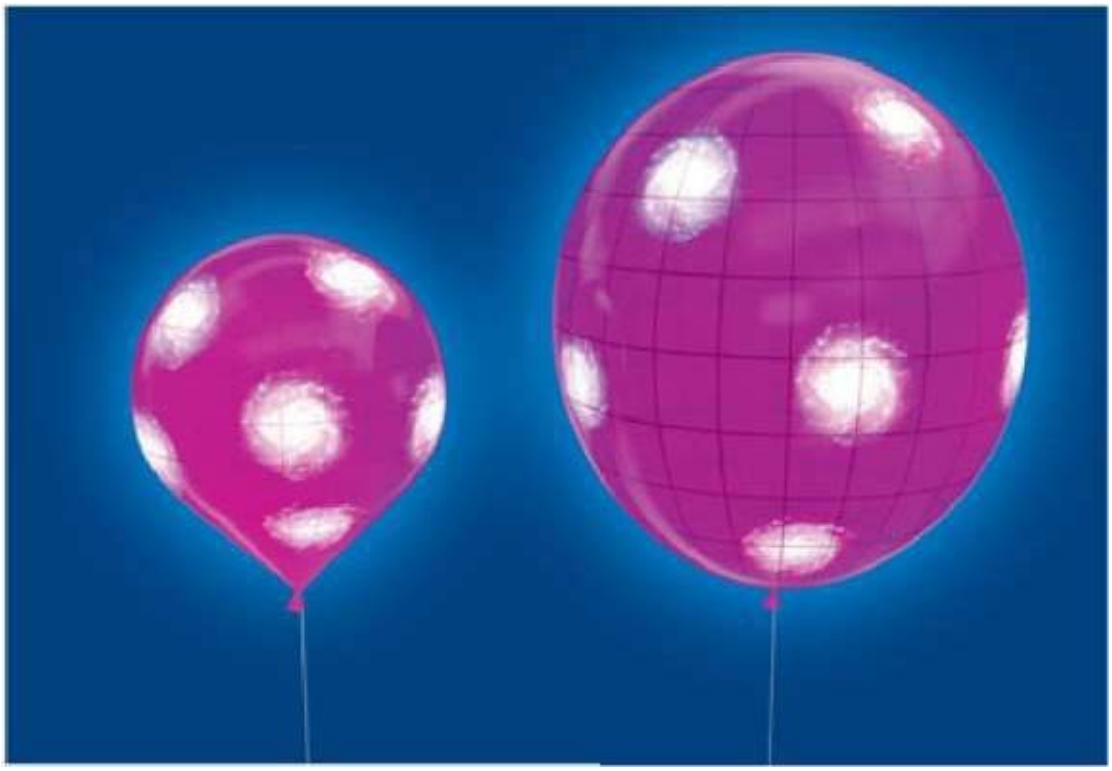
按照旧约的说法，上帝在创世后仅六天就创造了亚当和夏娃。厄舍尔主教，1625 年至 1656 年间全爱尔兰的大主教，他把世界的起源时间确定得甚至更为精准，认为是公元前 4004 年 10 月 27 日早上 9 点。然而，我们将采纳一种不同的观点：人类是一个新近的创造，但宇宙本身却起源得很早，大约于 137 亿年前。宇宙具有开端的第一个实际的科学证据出现于 20 世纪 20 年代。我们曾在第三章中提及，在那个时候大多数科学家都相信宇宙是稳态的并且一直存在着。相反的证据是间接的，它基于埃德温·哈勃凭借在加州帕萨德纳附近威尔逊山上的 100 英寸望远镜所做的观测。通过分析星系放射的光谱，哈勃断定了几乎所有的星系都在远离我们，并且距离我们越远就移动得越快。在 1929 年，他发表了一个涉及星系退移速率和星系距离我们远近两者关系的定律，同时得出了宇宙正在膨胀的结论。如果那是真的，宇宙在过去一定更小。事实上，假如我们逆推到遥远的过去，宇宙中所有的物质和能量将会集中在一个具有无法想象的密度和温度的非常狭小的区域内，同时如果我们回溯得足够远，将会有这样一个时刻，万物在那时开端——现在我们把这个事件称为大爆炸。

宇宙正在膨胀的观点牵涉着一些微妙之处。例如，我们说的

宇宙正在膨胀并不是说它以这样的方式膨胀，比方说，敲掉一堵墙，在曾经摆放着华丽的橡木家具的地方装修一个新浴室，房子扩展了，相反，空间是在延展它本身，宇宙中任何两点之间的距离都在增大。那个观点出现于 20 世纪 30 年代，大量争议也随之而来，使之可视化的一个最好方法仍然是一个比喻，这个比喻是在 1931 年由剑桥大学天文学家亚瑟·爱丁顿阐发的。爱丁顿把宇宙描画成一个正在膨胀的气球的表面，把所有星系看成气球表面上的点。这个图景清晰地说明了远方星系比近处星系退移得更快的原因。举例来说，如果气球半径每小时翻一倍，那么气球上任意两个星系的距离也每小时翻一倍。假设在某个时刻，两个星系相距 1 英寸，一小时后将会相距 2 英寸，它们看起来就像是在以每小时 1 英寸的速度彼此相对运动。然而，如果它们开始时相距 2 英寸，一小时后就会离开 4 英寸，看起来就像是在以每小时 2 英寸的速度彼此分来。那正是哈勃所发现的事实：星系距离我们越远，它就远离我们更快。空间的膨胀并不影响如下这些物质体的尺寸：星系、星星、苹果、原子或其他被各种力束缚在一起的东西，认识到这一点也是非常重要的。比方说，如果我们在气球上画圆圈住一群星系，当气球膨胀后，圆并不会胀大。相反，由于星系是受引力约束的，无论气球如何增大，圆和圆内的星系仍旧保持着它们的尺寸和结构。这相当重要，因为仅当我们的测量仪表具有固定尺度我们才能够探测膨胀。假如万物都自由地膨胀开来，我们和我们的码尺、实验室等等都会成比例地膨胀，那就觉察不到任何差别了。

宇宙正在膨胀，这在爱因斯坦听来是新闻。然而在哈勃论文发表之前，星系正在彼此远离的可能性已经提出好些年了，关于这种可能性的观点正是建立在爱因斯坦自己的方程组立足的理论根据之上。1922 年，苏联数理学家亚历山大·弗里德曼研究了在

基于两条假设的模型宇宙中会出现何种结果，这两条假设简化了数学计算，即假设宇宙从各个方向看上去都是等同的，以及从任何观测点看上去都是如此。我们知道弗里德曼的第一条假设并不符合事实——幸运的恰恰是宇宙并非处处均匀！如果我们从一个方向朝上凝望，会看见太阳；在另一个方向上，会看见月亮或者吸血蝙蝠移居的殖民地。但是，从一个相当大的尺度——比星系间的距离更大的尺度看下来，宇宙在各个方向上却也似乎是大致相同的。假如你靠得足够近，你能分辨出单片的树叶，至少也能分辨出树木以及树木之间的空间。但是如果你站得非常之高以至于你伸出拇指就能遮住 1 平方英里的树林，那么这些森林看上去就是均匀的一片绿荫。我们就可以说，在那个尺度下，森林是均匀的。



**气球宇宙** 遥远的星系退离我们，这就仿佛整个宇宙处于一个巨型气球的表面。

基于他的假设，弗里德曼就得以发现爱因斯坦方程组的一个解，在这个解中，宇宙以哈勃即将证实的那种方式膨胀。特别地，弗里德曼的模型宇宙由零尺寸开始，然后膨胀直到引力吸引使之减缓，最终导致自身坍缩。（结果表明，爱因斯坦方程组还有另外两类解都能满足弗里德曼模型的假设，一类解对应着一个永远持续膨胀的宇宙，尽管它还是会减缓一点儿，另一类解对应着一个膨胀速率会减缓到趋近于零但永不为零的宇宙。）完成这项工作几年后，弗里德曼就去世了，他的观点在很大程度上依然不为人知，直到哈勃的发现。但是，在 1927 年，一位名叫乔治·勒梅特的物理学教授兼罗马天主教牧师提出了一个相似的观点：如果你向后追溯宇宙历史直到过去，宇宙会变得越来越小、越来越小，直到你发现一个创始事件——这个事件我们今天称为大爆炸。

并非所有人都喜欢大爆炸的图景。实际上，“大爆炸”这个术语是 1949 年由剑桥的一位天体物理学家弗雷德·霍伊尔杜撰出来的，他信奉一个永远膨胀的宇宙，并把这个术语用作一个嘲讽的表达。支持大爆炸观点的第一个直接的观测结果要迟至 1965 年才出现，那个观测发现存在着一个暗淡的微波背景遍布宇宙。这种宇宙微波背景辐射，或简称 CMBR，与你微波炉里的辐射是一样的，但是还要更为微弱。打开电视机调到一个不用的频道，你自己就能观察到 CMBR——你在屏幕上看到的雪花点中有百分之几就是它导致的。这种辐射是贝尔实验室的两位科学家偶然发现的，当时他们正试图排除来自微波天线的静电干扰。开始，他们以为这种静电干扰可能缘于栖息在它们实验装置上的鸽子的粪便，但是结果表明他们遇到的问题有一个更加有趣的来源——CMBR 是大爆炸之后不久那个非常炎热和非常致密的早期宇宙的残留辐射。随着宇宙膨胀，温度降低，直到这种辐射刚好变成了我们现在观测到的微弱残余。现在，这些微波只能把你的食物

加热到大约 -270°C——比绝对零度高 3°C，对于爆玉米来说毫无用处。

天文学家也已经找到了其他证据来支持有关一个炎热、狭小的早期宇宙的大爆炸图景。比如，最初的 1 分钟左右，宇宙将会比典型恒星的中央还更热。在那个时间里，整个宇宙就扮演了一个核聚变反应堆的角色。当宇宙充分地膨胀和冷却后，核反应就会中止，但理论预测了那将会留下一个主要由氢构成的宇宙，并且含大约 23%的氦，同时伴有锂的痕迹（所有重元素都是于后期在恒星内部创造出来的）。这个估计结果与我们观测到的氦、氢和锂的丰度符合得很好。

氦丰度的测量和 CMBR 为极早期宇宙的大爆炸图景提供了令人信服的证据，然而，尽管人们可以把大爆炸图景当作宇宙早年的有效描述，但是按照字面意思接纳大爆炸，就是说，认为爱因斯坦的理论为宇宙起源提供了一个真实图景，那就是误解。因为广义相对论预测了存在这样一个时间点，在该时间点宇宙的温度、密度和曲率都是无限，数学家把这种情形称为奇点。对物理学家而言，这就意味着爱因斯坦的理论在该点处崩溃，因而不能用来预测宇宙如何开端而只能预测宇宙随后如何演化。所以，尽管我们能利用广义相对论的方程和天体观测的结果来认识非常早期的宇宙，但是把大爆炸图景一直回退到宇宙开端却是不正确的。

我们马上就会接触宇宙起源这一问题，但首先还是要谈谈宇宙膨胀的第一个阶段。物理学家称之为暴胀。除非你生活在津巴布韦，那里的通货膨胀目前超过了200000000个百分点，这个术语听上去也许不具爆炸性。但是，根据甚至是保守的估计，在宇宙暴胀的过程中，宇宙以每0.00000000000000000000000000000001秒翻1000000000000000000000000000000倍这样的乘数膨胀。这就像一个直径为1厘米的硬币突然就胀大到银河系宽度的一千万倍。

那似乎违反了相对论，因为相对论规定了没有什么运动能比光速更快，但那个速度极限并不适用于空间膨胀本身。

关于宇宙暴胀这一阶段的观点可能是在1980年最早提出的，它的思想基础超越了爱因斯坦广义相对论，并且还把量子论的一些方面考虑了进来。由于我们尚未拥有完备的引力量子论，相关细节仍有待研究，并且物理学家还不确知暴胀如何发生。然而，根据理论，暴胀导致的膨胀不会如传统大爆炸图景所预测那样是完全均匀的。这些不规则性将会造成 CMBR 在不同方向上温度的细微变化。这种变化是如此微小以至于在20世纪60年代还不能观测到，但在1992年被美国国家航空航天总署 NASA 的宇宙背景探测者 COBE 卫星首次发现了，随后也被其继任者2001年发射的威尔金森微波各项异性探测 WMAP 卫星测量到。结果，我们现在已经确信了暴胀真实地发生过。

讽刺的是，尽管 CMBR 的微小变化成为了暴胀的一条证据，但暴胀成为一个重要概念的理由是 CMBR 温度的几乎完全均衡。如果你加热一个物体的局部使其温度高于周边然后等待一段时间，热的地方就会变凉而它周边则会变暖，直到物体的温度达到均衡。类似地，我们也可以设想宇宙最终将有一个均衡的温度。然而，这个过程需要时间，并且如果暴胀没有发生，那么在宇宙历史中将不会有足够的时间让热量在广阔而又分散的区域中实现均衡，这里假定热量传导的速度受光速所限。一个快速膨胀（比光速还更快）的时期对此作了补救，因为在极其微小的前暴胀期宇宙中，这就会有足够的时间来使得均衡发生。

暴胀解释了大爆炸中的爆炸，至少就此意义而言，在暴胀发生的时间段里，它所代表的膨胀比广义相对论的传统大爆炸理论所预测的膨胀还远为极端。问题在于，要使我们关于暴胀的理论模型有效，就必须以非常特殊和非常可能的方式设置宇宙的初始

状态。因此，传统的暴胀理论在解决了一组问题的同时又产生了另一个新问题——需要一个非常特殊的初始状态。我们即将介绍时间零点的问题如何从宇宙创生理论中排除。

由于我们不能用爱因斯坦的广义相对论来描述创生，如果我们想要描述宇宙起源，广义相对论必须被一个更完备的理论所代替。即使广义相对论不会崩溃，我们也期待着一个更完备的理论，因为广义相对论没有把物质的小尺度结构考虑进去，那是量子论统治的领域。在第四章中，我们提到从实用的角度而言，量子论与宇宙大尺度结构的研究没有多少关联，因为量子论适用于描述自然的微观尺度。但是，如果你把时间回溯得足够久远，宇宙就会与普朗克尺度一样大小，十亿亿亿亿分之一厘米，在这个尺度就必须把量子论考虑进来。因此，尽管我们还没有一个完备的引力量子论，我们也的确知道宇宙起源是一个量子事件。结果是，就像我们将量子论与广义相对论结合——至少是临时的——得出了暴胀理论一样，假如我们希望回溯得更远去认识宇宙起源的话，就必须把我们所知的广义相对论和量子论结合起来。

为了理解这如何进行，需要搞懂引力扭曲时间和空间的原理。空间的扭曲比时间的扭曲更容易想象。设想宇宙就是一张平坦台球桌的表面。桌子的表面就是平坦的空间，至少也具有两维。如果你在桌上滚动一个球，他将会沿直线行进。但是假如桌面变得弯曲或是发生凹陷，如下图所示，球将会走曲线。

在这个例子中，我们很容易看到台球桌的扭曲，因为它会弯进一个外在的第三维，这是我们可以看见的。由于我们不能走出自己的时空去观察它的扭曲，所以在我们的宇宙中时空的弯曲是很难想象的。不过，仍然可以探测出弯曲，即使你不能走出去从一个更大的空间来透视它。弯曲可以在空间自身内部探测到。想象一只被关在桌子表面的大蚂蚁。即使不能离开桌子，蚂蚁也可

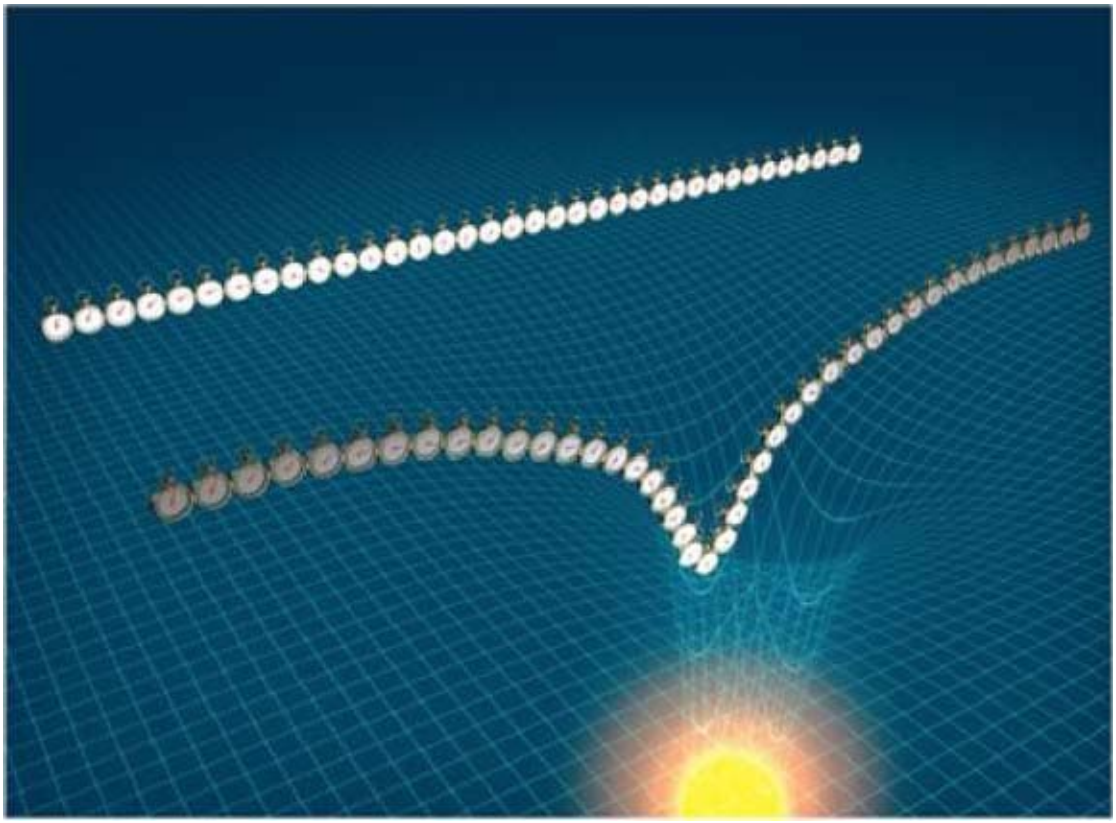
以通过仔细地绘制距离来探测这种扭曲。比如，在平坦空间中圆的周长总是其直径的三倍多一点（准确的倍数是π）。但是如果蚂蚁径直地穿过圈住上图所示桌上那个坑的一个圆，它会发现横穿的距离比预期的大，比圆周的三分之一还要大。事实上，如果这个坑足够的深，蚂蚁还将发现圆周的长度比横穿的距离还要短。这对于我们宇宙中的扭曲同样真实——它通过某种方式拉伸或者压缩空间中两点间的距离，改变它的几何或者形状，这种方式能够在宇宙内部测量出来。时间的扭曲以类似的方式拉伸或者压缩时间的间隔。



**空间扭曲** 物质和能量扭曲空间，改变了物体的路径。

掌握了这些观点，就让我们转向宇宙开端的问题。在涉及低速度和弱引力的情况下，我们可以分别谈论空间和时间，就像我

们已经讨论过的那样。不过，一般来说，时间和空间会纠缠在一起，因而它们的拉伸或者压缩也牵扯着某种程度的混合。这种混合在早期宇宙中是非常重要的，它是理解时间开端的关键。



**时空扭曲** 物质和能量扭曲时间并且引起时间维度与空间维度的“混合”。

时间开端的问题有点像世界边缘的问题。当人们以为世界是平坦的，他们就想知道海洋是否在地球的边缘倾泻。人可以环行世界而不会掉落出去，这已经被实验检验过了。只要人们认识到世界并非一个平板而是一个曲面，世界边缘发生何事的问题就被解决了。然而，时间仿佛就是模型铁轨。如果它有其开端，那必须要有某人（即上帝）去开动火车。尽管爱因斯坦的广义相对论把时间和空间统一为时空并且涉及了空间和时间的某种混合，但是时间仍然与空间不同，它要么有其开端和终结要么是永恒流逝。

不过，一旦我们把量子论的效应和广义相对论结合起来，在极端的情形下，扭曲发生竟然到了如此严重的程度以至于时间表现得就像空间的又一维度那样。

在早期宇宙当中——这时宇宙足够的小使得广义相对论和量子论两者都能制约它——实际上只存在着四维空间而没有时间。那就意味着，当我们谈及宇宙的“开端”时，我们是在规避那个敏感问题，当我们回顾非常早期的宇宙时，时间如我们所知并不存在！必须承认，我们关于空间和时间的通常观念并不适用于极早期的宇宙。那超越了我们的经验，但没有超出我们的想象和数学。假设在早期宇宙中所有四个维度都表现得像空间一样，那么时间的开端又发生了什么？

认识到时间可以表现得像是空间的又一维度，这就意味着我们可以摆脱时间有其开端这一问题，就像我们摆脱有关世界边缘的问题一样。假设宇宙的开端就像地球的南极，纬度就扮演了时间的角色。随着我们向北移动，等纬度圈代表着宇宙的尺度，它会膨胀。宇宙作为处于南极的一点开端，但南极和其他任何一点都非常想象。寻问在宇宙开端之前发生了什么就毫无意义，因为在南极之南无物存在。在这个图景中，时空没有边界——同样的自然定律在南极同样成立，这和在其他地方一样。类似地，当我们把广义相对论和量子论结合起来，提出宇宙开端之前何事发生这一问题就变得毫无意义了。历史应该是无边界的闭合面，这一观点被称为无边界条件。

若干个世纪以来，包括亚里士多德在内的许多人都相信宇宙必定一直存在着，这可以回避它如何创生的问题。其他人相信宇宙有一个开端，并将其作为上帝存在的证明。认识到时间表现得像空间一样，这提供了一种新的选择。它排除了由来已久的对宇宙有其开端的异议，同时还意味着宇宙开端受科学定律的制约而

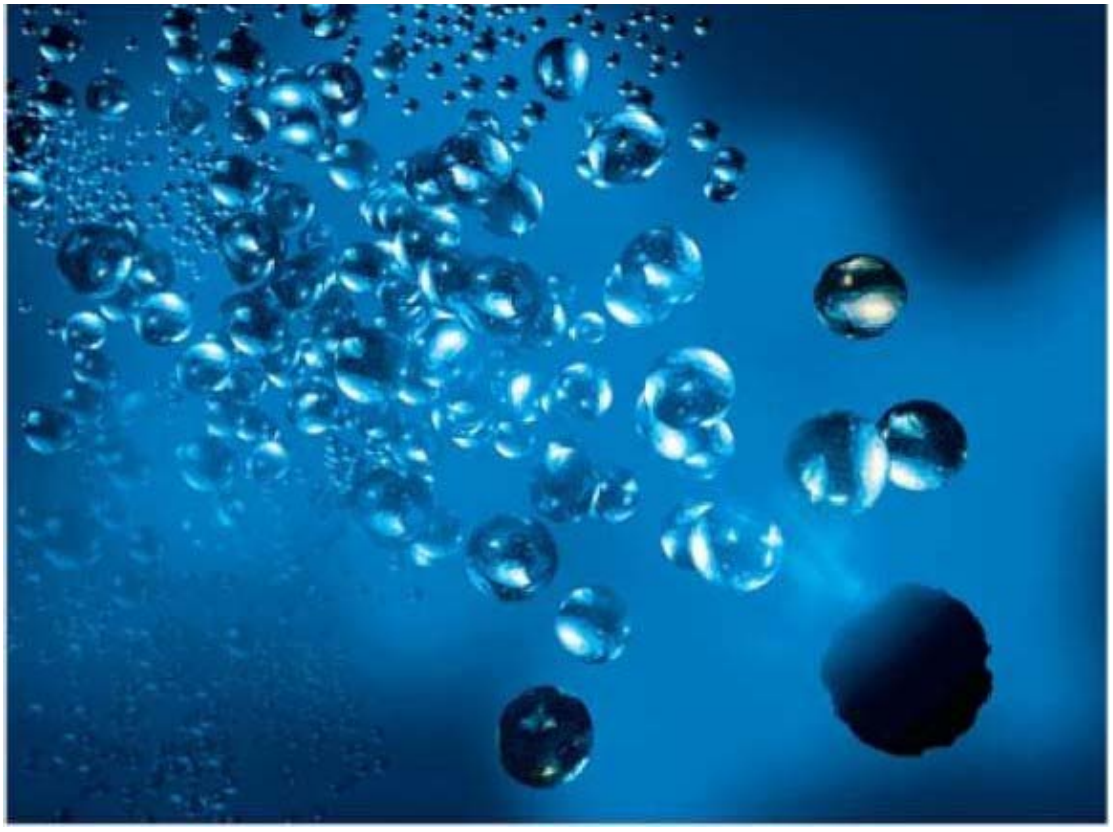
不需要某位神明的发动。

如果宇宙起源是一个量子事件，它就应该能通过费恩曼的历史求和来准确描述。然而，将量子论运用于整个宇宙——这里观测者是正在被观测的系统的一部分——相当棘手。在第四章中，我们了解到射向一个带有双缝的屏幕的物质粒子是如何能像水波一样显示出干涉图样的。费恩曼表明它的发生是由于粒子不具有单一历史导致的。那就是说，在它从起点 A 移动至某个终点 B 的过程中，并不选取一条确定的路径，而是同时选取连接两点的每一条可能的路径。以这种观点看来，干涉就毫不奇怪，因为，举例来说，粒子能够同时穿过双缝并与其自身干涉。将费恩曼的方法运用到粒子运动当中，它就告诉我们，为了计算粒子落到任何给定终点的概率，就需要考虑粒子从它的起点到达那个终点所经过的所有可能的历史。如果把它们运用到作为整体的宇宙当中，那就不存在 A 点，所以我们就把满足无边界条件、终止于我们今天观测到的宇宙状态的所有历史叠加起来。

在这个观点下，宇宙似乎是自发地以每一种可能的方式创生的。大多数的方式对应于其他的宇宙。虽然有一些宇宙与我们的宇宙类似，但大多数都非常不同。这种不同不仅在于细节，比如说猫王是否真的英年早逝，或者芜菁是否作为餐后点心，还在于它们甚至在自然表观定律上都相去甚远。事实上，大量宇宙存在着，它们具有很多组不同的物理定律。一些人故弄玄虚，有时把这称为多重宇宙观，但这些不过是费恩曼历史求和的不同表述而已。

为了想象这个事情，我们来修改一下爱丁顿的比喻，代之以把膨胀的宇宙看作是汽泡的表面。那么，宇宙自发的量子创生图景就有点儿像沸水中蒸汽泡的形成。大量微小的汽泡出现了，然后又再次消失。这些汽泡象征着小型宇宙先是膨胀但又在其仍处

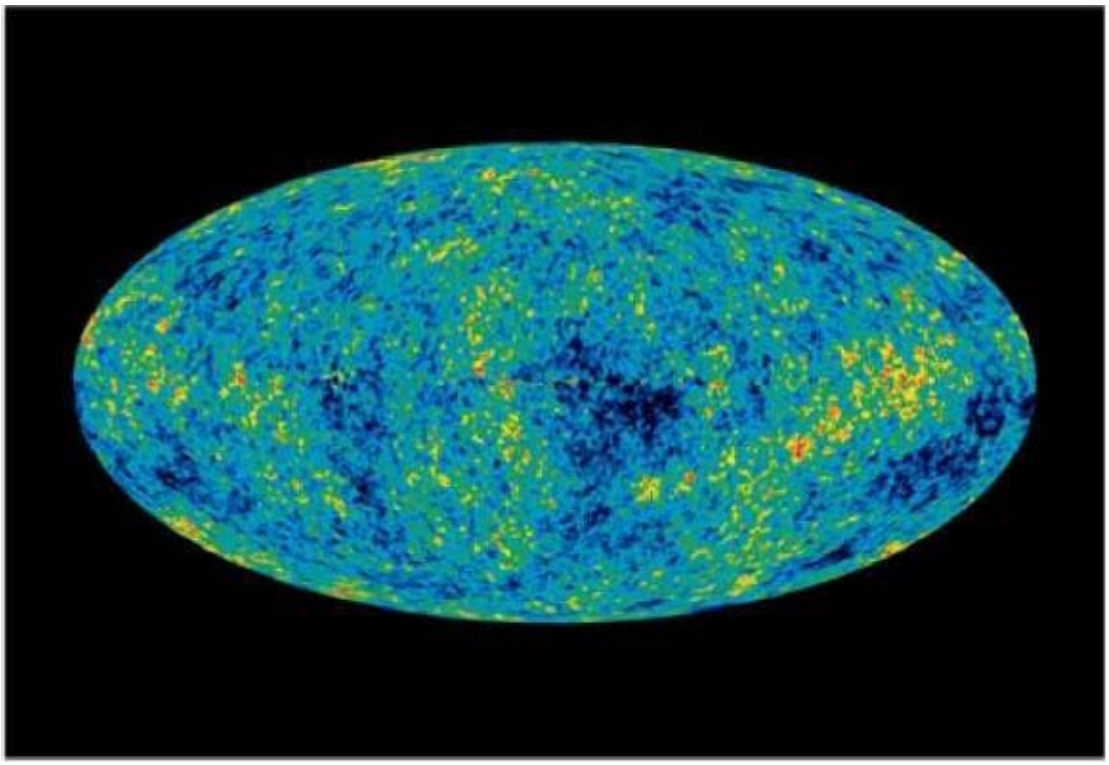
于微观尺度时坍缩。它们代表了可能的可择宇宙，但由于他们并没有维持足够长的时间来生成星系和恒星，更别提生成智能生命了，因此它们并不有趣。不过，这些小汽泡中有一些会增大到足以避免坍缩。他们会以不断增长的速率持续膨胀，将形成我们看得见的蒸汽泡。这些汽泡就对应着那些开始时以不断增长的速率膨胀的宇宙——换言之，就是处于暴胀状态的宇宙。



**多重宇宙** 量子波动导致微型宇宙从虚无中创生。这些宇宙中有的达到临界尺度，然后以暴胀的方式膨胀，从而形成星系、恒星，并且至少有一种情况，形成了像我们这样的生物。

我们说过由暴胀引发的膨胀不会完全均衡。在历史求和过程中，只存在一个完全均衡和规则的历史，它将具有最大的概率，而其他许多的稍微不规则的历史也将具有几乎相同的概率。那就是暴胀预测早期宇宙有可能略不均衡的原因，这对应着在 CMBR

中观测到的温度的细微变化。早期宇宙的不规则对我们来说是幸运的。为什么呢？如果你不想从牛奶中分离出的奶油，那么均衡就是好的，但均衡的宇宙却是一个沉闷乏味的宇宙。早期宇宙中的不规则性是重要的，因为如果某些区域的密度比其他地方稍高，与周围环境相比，这额外的密度带来的引力就会减缓该区域的膨胀速度。随着引力慢慢地将物质吸拢在一起，最终就会使得宇宙坍缩从而形成星系和恒星，也导致了行星的出现，并且至少在有个时候出现了人。因此，请仔细地看一看微波天图吧，它是宇宙所有结构的蓝图。我们是非常早期的宇宙量子波动的产物。如果有人是宗教人士，那么他会说上帝确实是在掷骰子。



**微波背景** 这张天图是根据11年间搜集的 WMAP 数据制作的，发布于2010年。它揭示了可回溯至137亿年前的温度波动——表现为颜色差异。图中绘制的波动对应着小于千分之一摄氏度的温度差异。然而这些差异正是宇宙得以发展形成星系的根源。摄制者：NASA/WAMP 科学团队。

这个想法导致了与传统观念极为不同的宇宙观，这要求我们去调整思索宇宙历史的方法。为了做出宇宙学中的预测，我们需要计算目前整个宇宙不同状态的概率。在物理学中，人们通常假定某个系统的初始状态，然后利用有关的数学方程式去预测它随时间向前演化的过程。给定一个系统在过去的状态，人们就试着去计算该系统后来将步入的某种状态的概率。在宇宙学中，通常假定宇宙具有单一而明确的历史。人们可以使用物理定律去计算这个历史随时间如何发展。我们把这称为“自下而上”的宇宙学方法。但是由于我们必须考虑宇宙的由费恩曼历史求和所表达的那种量子性质，宇宙目前处于一个特定状态的概率幅度是通过将满足无边界条件并终结于讨论中的这种状态的所有历史的贡献叠加而得的。换句话说，在宇宙学中，人们不应该自下而上地跟从宇宙历史，因为那假定了存在着一个有明确的起点和演化过程的单一历史。相反，我们应该自上而下地从当前时刻向后去追溯历史。一些历史会比其他的历史更为可能，所求之和通常也将由一个单一历史所支配，这个单一历史始于宇宙的创生并终于所考虑的这种状态。然而，目前宇宙存在着不同的可能状态，也将存在着不同的历史。这导致了宇宙学中激进的不同观点和因果关系。为费恩曼求和作出贡献的那些历史并不是独立的存在，而是取决于正在被测量的对象。我们通过我们的观测创造了历史，而不是历史创造了我们。

宇宙并不具有独立于观测者的唯一历史，这个观点似乎与我们了解的某些事实相矛盾。可能有这样一个历史，其中月亮由罗克夫特奶酪构成。但是，我们已经观测到了月亮并不是奶酪构成的，这对老鼠来说真是坏消息。因此，这种涉及月亮由奶酪构成的历史对我们宇宙的目前状态毫无贡献，尽管它也许对其他的宇宙有所贡献。那听起来好像科幻小说，但并非如此。

自上而下方法的一个重要内涵就是，自然的表观定律依赖于宇宙的历史。许多科学家相信存在着一个既能解释所有定律又能解释自然的物理常数的单一历史，诸如电子质量或者时空维度。然而，自上而下的宇宙学要求，不同的历史具有不同的自然表观定律。

考虑一下宇宙的表观维度。根据 M 理论，时空有十个空间维度和一个时间维度。其观点是说，有七个空间维度被卷曲得如此之小以至于我们不能注意到它们，这就留给我们一个错觉，仿佛存在的一切就是我们熟悉的那三个剩余的大维度。M 理论中一个悬而未决的核心问题是：在我们的宇宙当中为什么不存在更多的大维度，并且为什么有一些维度发生了卷曲？

许多人愿意相信，存在某种机制导致了除三个以外其他的空间维度都自发地卷曲。也有可能是，所有维度或许在起始时都很小，然而由于某种未知的原因，有三个空间维度发生了膨胀，其余的则没有发生。不过，似乎并不存在使宇宙显现为四维的动力学原因。相反，自上而下的宇宙学预测了大的空间维度的数量并非是由任何物理原则确定的。对于从零到十的大的空间维度的每一个数量都会有一个量子概率幅度。对于宇宙每一种可能的历史，费曼和允许所有这一切，但是，观测到我们的宇宙具有三个大的空间维度，这择取出了具有正被观测到的性质的历史的子集。换言之，宇宙具有多于还是少于三个大的空间维度，其量子概率是不相关的，因为我们已经确定了我们处于一个具有三个大的空间维度的宇宙中。只要对于三个大的空间维度的概率幅度不完全为零，那么，与其他维度数量的概率幅度相比较，无论它多么小都没有关系。这就好像是在问现任教皇是中国人的概率幅度一样。我们知道他是德国人，即使由于中国人比德国人多，他是中国人的概率幅度会更高。类似地，我们知道我们的宇宙展现的是三个

大的空间维度，那么即使大空间维度的其他数量也许具有更大的概率幅度，我们也只对三维的历史感兴趣。

卷曲的维度又是怎么回事呢？回想一下，在M理论中，其余的卷曲维度的精确形状即内部空间，既决定了诸如电子电荷这类物理量的值，也决定了基本粒子之间的相互作用的性质，亦即自然力的性质。如果M理论仅只允许卷曲维度具有一种形状，或者，可能会有一些形状，其中除了一种以外其他的都被以某种方式排除，只给我们留下关于自然表观定律的一种可能性，那么，事情就会被解决得很漂亮。然而，几乎多达$10^{500}$种不同的内部空间都存着概率幅度，每一个都导致了不同的定律以及物理常数不同的值。

假如我们自下而上地构建宇宙的历史，就没有理由认为宇宙应该终结于我们精确观测到的粒子相互作用的内部空间，即（关于基本粒子相互作用的）标准模型。但是在自上而下的方法中，我们接受了具备所有可能内部空间的宇宙存在。在某些宇宙中，电子具有高尔夫球的重量，并且引力比电磁力还更强。但在我们的宇宙中，标准模型以及它所有的参数也是适用的。我们可以为在无边界条件基础上导致标准模型的内部空间计算概率幅度。正如具有三个大的空间维度的宇宙的存在概率一样，由于我们已经观测到标准模型描述了我们的宇宙，那么无论该概率幅度比其他的概率幅度相比是如何地小都毫无关系。

我们在本章中描述的理论是可检验的。在早先的例子中，我们强调了对于极端不同的宇宙来说，诸如具备不同数量的大的空间维度这类的相对概率幅度是无关的。然而，对于邻近的（即相似的）宇宙来说，相对的概率幅度则是重要的。无边界条件暗示了宇宙完全平滑地起始的历史具有最高的概率幅度。当于那些较不规则的宇宙，这一幅度就会降低。这意味着早期宇宙曾是几乎

平滑的，但也存在轻微的不规则性。我们已经提到，我们可以从天空中来自不同方向的微波的细小变化观测到这些不规则性。人们已经发现，它们与暴胀理论的一般要求完全相符；不过，我们需要更为精确的测量来把自上而下理论与其他理论完全区分出来，并且要么支持它要么驳倒它。这些在将来很可能通过卫星实施。

几百年以前，人们以为地球独一无二并且处于宇宙中心。今天我们知道在我们的星系中存在着几千亿的恒星，它们中很大部分都伴有行星系统，同时也存在着几千亿的星系。本章中描述的结果表明，我们的宇宙本身也只是众多宇宙中的一个，并且它的表观定律不是唯一地被确定的。对于那些期待着用一个终极理论、万物理论来预测日常物理性质的人来说，这一定非常令他们失望。我们不能预测诸如大的空间维度的数量或者决定我们观测到的物理量（比如，电子和其他基本粒子的质量和电荷）的内部空间这样的离散特征。相反，我们使用那些数量来选择哪些历史会为费曼和作出贡献。

我们似乎正处于科学史的转捩点，此刻我们必须转变观念，这些观念关乎目标也关乎使得一个理论成为可接受理论的条件。看起来，自然表观定律基本的数量甚至形式都不能由逻辑或物理原理来确定。参数可以自由地赋予数值，定律可以赋予能达致一个自洽数学理论的任何形式，并且在不同的宇宙中，它们被赋予不同的数值和不同的形式。也许那并不能满足我们人类特殊的愿望，或者说不能满足我们发现一个包括所有物理定律的优雅集合的愿望，不过，那或许才正是自然之道。

似乎存在着可能宇宙的广阔景象。但无论如何，在接下来的一章中我们将会看到，存在着像我们这样的生命的宇宙是非常稀有的。我们居住在这样的一个宇宙中，在这个宇宙中生命是可能

的，但是只要宇宙稍微不同，我们这样的生物就不会存在。从这种微调中，我们能悟出什么呢？它是不是宇宙终究由一位仁慈的造物者设计的证据呢？或者，科学能提供另外的解释吗？



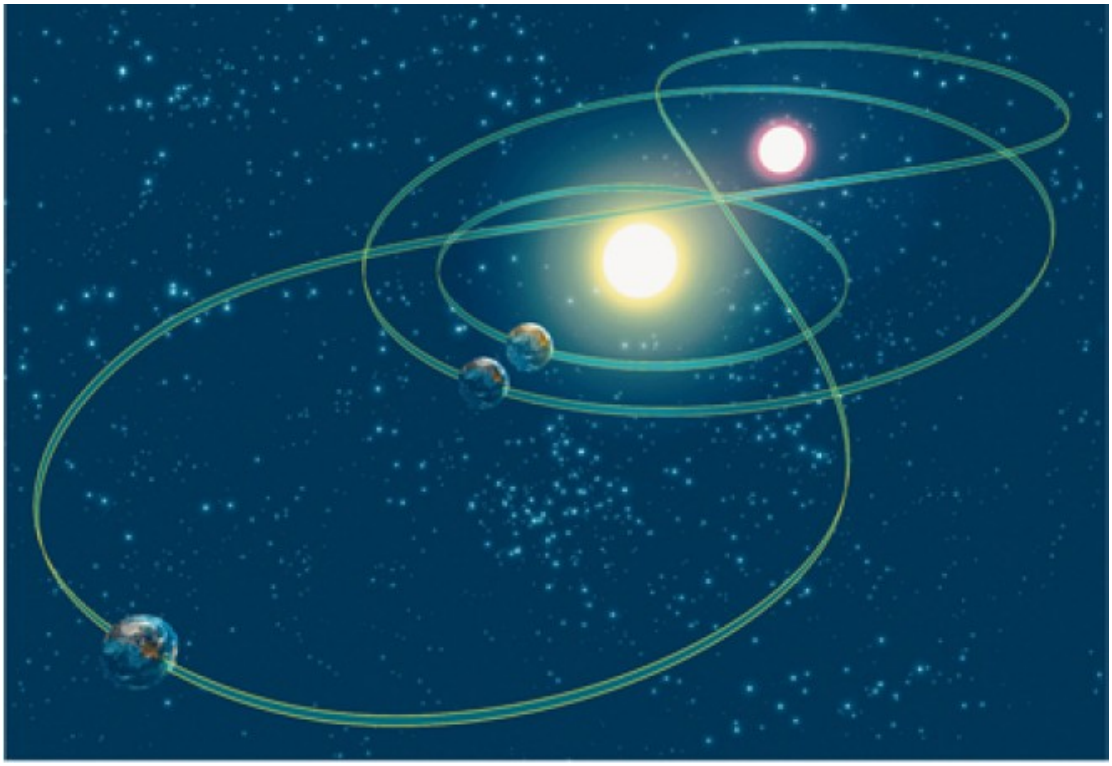
# 第七章 表观奇迹

中国人讲述了在夏朝（约前 2205 年~约前 1782 年）的时候，我们的宇宙环境突然发生改变。天空中出现了十个太阳。地面上的人们被酷热折磨得苦不堪言，因而帝王命令一位有名的弓箭手射落了多余的太阳。这位弓箭手获得一种长生不老的药丸作为奖赏，但是他的妻子却盗走了药丸。由于那种罪过，她被放逐到了月亮之上。

中国人认为具有十个太阳的太阳系对人类生活不友好，这是正确的。今天，我们知道，这也许会给皮肤提供大量的日晒机会，但具有多个太阳的太阳系可能绝不会允许生命的发展。其原因并不像中国传说中想象的灼热那么简单。事实上，当行星在轨道上环绕多恒星旋转时，它至少也在一段时间内经历舒适的温度。但是对于生命必需的境况而言，它却不太可能获得长期均衡的热量。为了理解其原因，让我们来看看在最简单类型的多恒星系统中会出现什么情况，这种最简单的多恒星系统伴有两个太阳，称为双星系统。天空中约有一半的恒星是这种系统的成员。然而，即使是简单的双星系统也只能保持某种类型的稳定轨道，下图中就展示了其中一种轨道类型。在每一个这样的轨道中，可能有一段时期，行星要么很热要么很冷，以至于无法维系生命。对于具有很

多恒星的星团来说，境况甚至还更糟糕。

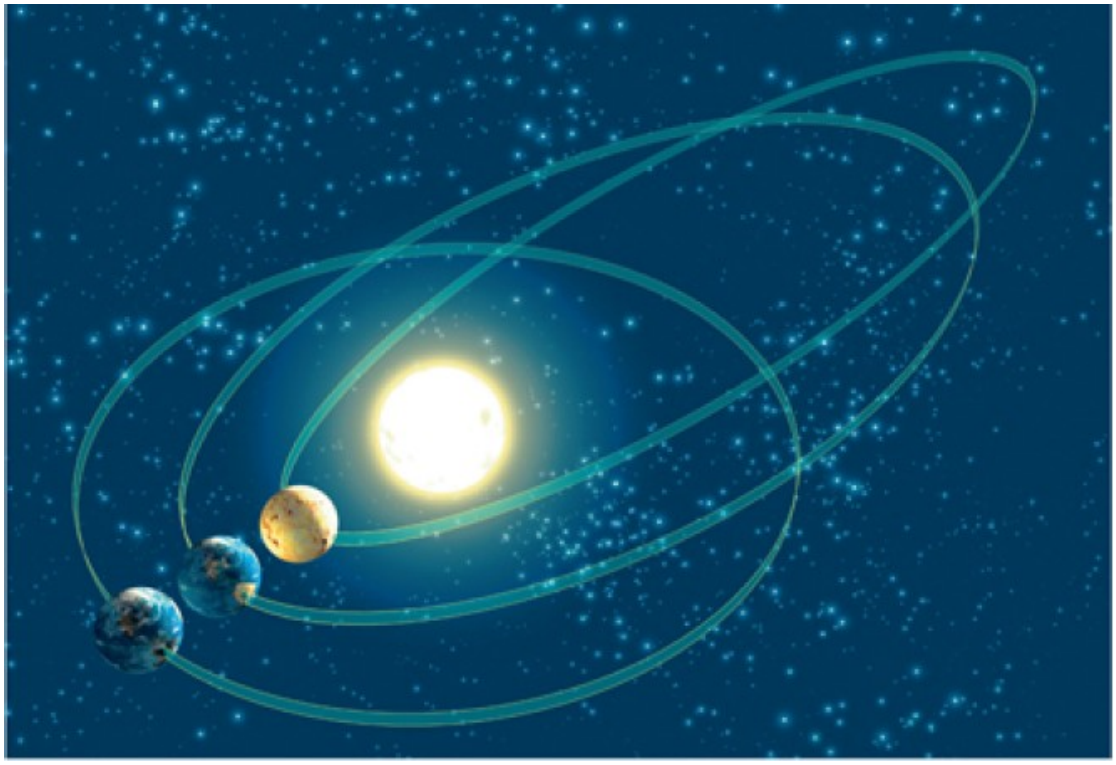
我们的太阳系还拥有其他“幸运的”性质，如若丧失这些性质，高级的生命形式也许就绝无可能进化出来。举例来说，牛顿定律允许恒星轨道或是圆形或是椭圆（椭圆是压扁的圆，沿着一条轴较宽，沿着另一条轴则较窄）。椭圆被压扁的程度用所谓的离心率来表示，离心率是介于 0 到 1 之间的一个数值。离心率接近 0 就意味着椭圆近乎于圆，反之，离心率接近 1 则意味着椭圆被压得非常扁平。开普勒对于行星并不沿完美的圆周轨道运行感到沮丧，但是，地球轨道离心率仅有 2%左右，这意味着它非常接近圆形。结果表明，那是我们撞上的大好运气。



**双星轨道** 围绕双星系统旋转的行星可能会有荒凉的天气，在某些季节太过炎热，在另一些季节又太过寒冷。

地球上的季候模式主要取决于地球自转轴相对于它环绕太阳的公转轨道面的倾角。举例来说，当北半球进入冬季，北极朝着

远离太阳的方向倾斜。事实上，在那时地球离太阳很近——只有 0.915 亿英里之远，与此相比，在七月之初，地球距离太阳也只有大约 0.945 亿英里之遥——这个效应对于温度而言与倾角造成的效应相比可以忽略不计。然而，在具有大轨道离心率的行星上，离太阳远近的距离变动就起着更大的作用。比如，在水星上，它有 20%的离心率，它运行到距离太阳最近（近日点）时的温度要比它距离太阳最远时的温度高 200 华氏度以上。事实上，如果地球轨道的离心率接近于 1，那么当我们到达近日点时，海洋就会被煮沸，当我们到达远日点时，海洋就将会冻结，这使得无论暑假还是寒假都极不宜人。大轨道离心率对生命来说是无益的，因而我们拥有一颗轨道离心率近于 0 的行星，这就无比幸运。

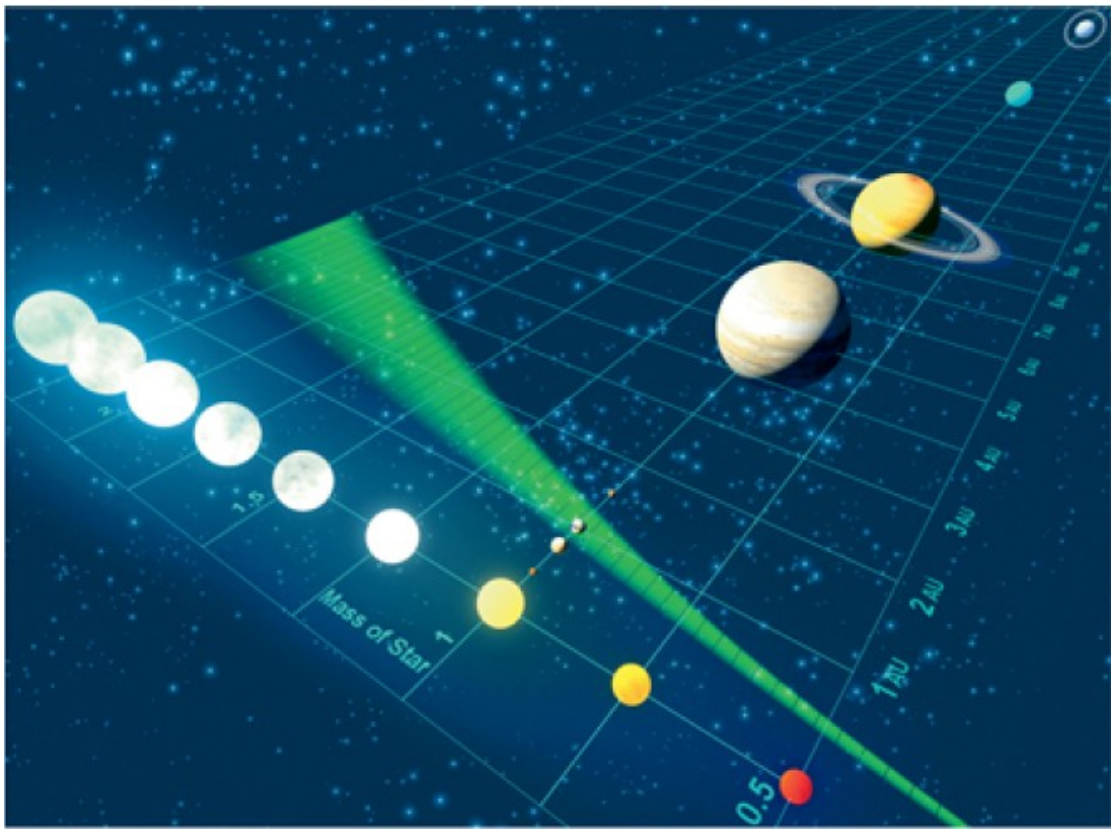


**离心率** 离心率是对椭圆接近于圆的程度的度量。圆周轨道对生命友好，而十分扁长的轨道则会导致剧烈的季节性温度波动。

在太阳质量与我们距离太阳远近两者的关系上，我们也是幸

运的。那是因为恒星的质量决定了它释放能量的总量。最大的恒星具有的质量约为我们太阳的 100 倍，而最小的则只有太阳的 1% 左右。并且还有，假设地日距离给定，如果我们的太阳其质量仅仅减小或者增大 20%，地球就将会比目前的火星更冷或者比目前的金星更热。

在传统上，给定任何恒星，科学家们就把宜居地带定义为环绕在恒星周围温度恰好使得液态水得以存在的狭窄区域。宜居地带有时称为“ 金凤花带 ”，因为要求液态水存在就意味着，正如金凤花一样，智能生命的发展也需要行星温度“ 恰合其宜 ”。如下图所示，我们太阳系中的宜居地带是非常狭小的。幸运的是，对于我们这样的智慧生命形式来说，地球恰处其间！




**金风花带** 如果把金凤花作为样本植物进行调查，她会发现只有那些绿色的区域内适宜生命存在。黄色和恒星代表我们的太阳。更白的恒星更大更热，更红的恒星则更小更冷。与绿色区域相比，如果行星比它们离太阳更近，对生命来说就太热，如果比它们离太阳更远就太冷。对于较冷的恒星，其宜居地带就更小了。

牛顿相信，我们奇特的宜居太阳系并非是“仅由自然定律从混沌中产生的”。相反，他坚持认为，宇宙秩序是“上帝首先创造的并且维持着同样的状态和条件直至今天”。很容易理解人们为何会有那样的想法。大量不太可能的事件协同发生使我们得以存在，而且我们的世界仿佛出自人类友好型的设计，如若我们所处的是宇宙间仅有的太阳系，这些的确就太令人困惑了。但是在 1992 年，人类第一次确认观测到了环绕我们太阳之外其他恒星运转的行星。现在，我们已经获知了数百颗这样的行星，并且毫无疑问的是，在我们宇宙数以亿计的恒星当中，还存在着数不胜数的类似行星。那使得我们行星条件的诸多巧合——单一太阳、地日距离和太阳质量的幸运组合——显得远非特殊，也远远不是地球专为取悦人类精心设计的引人注目的证据。各种各样的行星存在着。一些——或者至少有一个——支持生命。显然，当一个支持生命的行星上的生物开始调查他们周围的世界时，他们必然会发现他们所处的环境满足了他们生存所需的条件。

我们可以将最后一句陈述转化为一条科学原理：正是我们的存在赋予我们规则，这些规则决定了我们从何处以及在何时观测宇宙方是可能。那就是说，我们的存在限制了我们所处环境的种类特征。那个原理称为弱人存原理。（我们马上就会看到为什么会附加上形容词“弱”。）比“人存原理”更好的术语将会是“选择原理”，因为这个原理指的是我们自身关于我们存在的知识是如何赋予规则的，这些规则从所有可能的环境中将那些具有允许生命存在这一特征的环境挑选出来。

尽管弱人存原理听上去太哲学了，但它能够用于科学预测。比如说，宇宙年龄多大？我们马上就会看到，为了我们能够存在，宇宙必须含有碳之类的元素，这是通过烧煮恒星内部更轻的元素产生的。然后，碳必须在超新星爆炸的过程中扩散到空间里，最

终凝缩成新一代太阳系中行星的组成部分。1961 年，物理学家罗伯特·迪克主张说，这个过程需要耗费大约 100 亿年的时间，所以我们存在于此就意味着宇宙至少要有那么老。另一方面，宇宙也不能比 100 亿年更老，因为在遥远的未来恒星的所有燃料都将耗尽，而我们需要热的恒星来维持生命。因此，宇宙的年龄一定是 100 亿年左右。那并非是一个极其精确的预测，但却是真实的——根据目前的数据大爆炸就发生于 137 亿年前。

与预测宇宙年龄的情况相似，人存的预测也常常为某一考虑中的物理参量生成一个取值范围，而不是精确地指定它的大小。那是因为我们的存在虽然并不需要某一物理参量的特定值，但通常也依赖于那些离我们事实上发现的范围变动得不是太大的参量。此外，我们还料想我们所处世界的真实状况在人存允许的范围内是特具典型性的。举例来说，如果只有适当的轨道离心率，譬如 0 到 0.5 之间，才能允许生命存在，那么 0.1 的离心率就不应该让我们觉得惊讶，因为在宇宙间的所有行星中，有相当大比例的行星都可能具有小离心率的轨道。然而，假如结果是地球在近乎正圆的轨道上运行，比如其离心率为 0.00000000001，那会使得地球成为一个的确非常特殊的行星，并激励我们尝试去解释我们为何会居于如此异乎寻常的家园。那个观念有时被称为平庸原理。

关于行星轨道形状、太阳质量等等的幸运巧合被认为是环境的因素，因为它们来自我们周边环境的意外赐予而并非源于自然基本定律中的侥幸偶然。宇宙的年龄也是一个环境的因素，尽管宇宙历史中存在着更早和更晚的时期，但我们必须生存于这个时代，因为这是有助于生命的惟一时代。环境的巧合极易理解，因为我们的星球仅只是宇宙中存在的众多栖居地之一，并且我们显然必须存在于支持生命的居所当中。

弱人存原理并没有引起太多的争议。但人存原理还有一个更

强的形式，尽管它遭遇到了某些物理学家的鄙薄，但我们还是想在此讨论一下它。强人存原理认为我们存在这一事实不仅为我们的环境赋予了约束条件并且还强加进了**宇宙定律本身**可能**形式和内容**方面的限制。之所以会出现这个观点，是因为它不只是我们太阳系独具的特征，太阳系似乎非常奇妙地有助于人类的生存发展，还是我们整个宇宙的特征，那是更加难以解释的事情。

含有氢、氦和微量的锂的太初宇宙如何演化形成其中至少有一个世界存在着我们这样的智能生命的宇宙，要讲清这个故事需要很多篇幅。正如我们早先提及的，自然力必须使得更重的元素——特别是碳——能够从太初元素中产生，并且要保持稳定至少几十亿年。那些重元素是在我们称之为恒星的熔炉里生成的，因而自然力首先要能允许恒星和星系得以形成。早期宇宙中轻微的不均衡性孕育了恒星和星系萌芽的种子，尽管早期宇宙几乎是完全均衡的，但所幸仍然含有大约 1/100000 的密度变动。然而，有了恒星，有了恒星内部构成我们人类的元素，这还不够。恒星的动力必须要使得某些恒星最终发生爆炸，而且还要精确地按照可以向空间散射更重元素的方式爆炸。此外，自然定律还要能限定爆炸的残余物可以重新凝缩形成新生代的恒星，这些恒星被行星环绕，行星吸收了新近形成的重元素。正如早期地球必须发生某些事件以便我们人类得以发展，这个条件链上的每一个环节也为我们的存在所必需。但是，对于导致宇宙演化的这些事件，其发展是受自然基本力的平衡制约的，为了我们的存在，这些基本力的相互作用必须恰到好处。

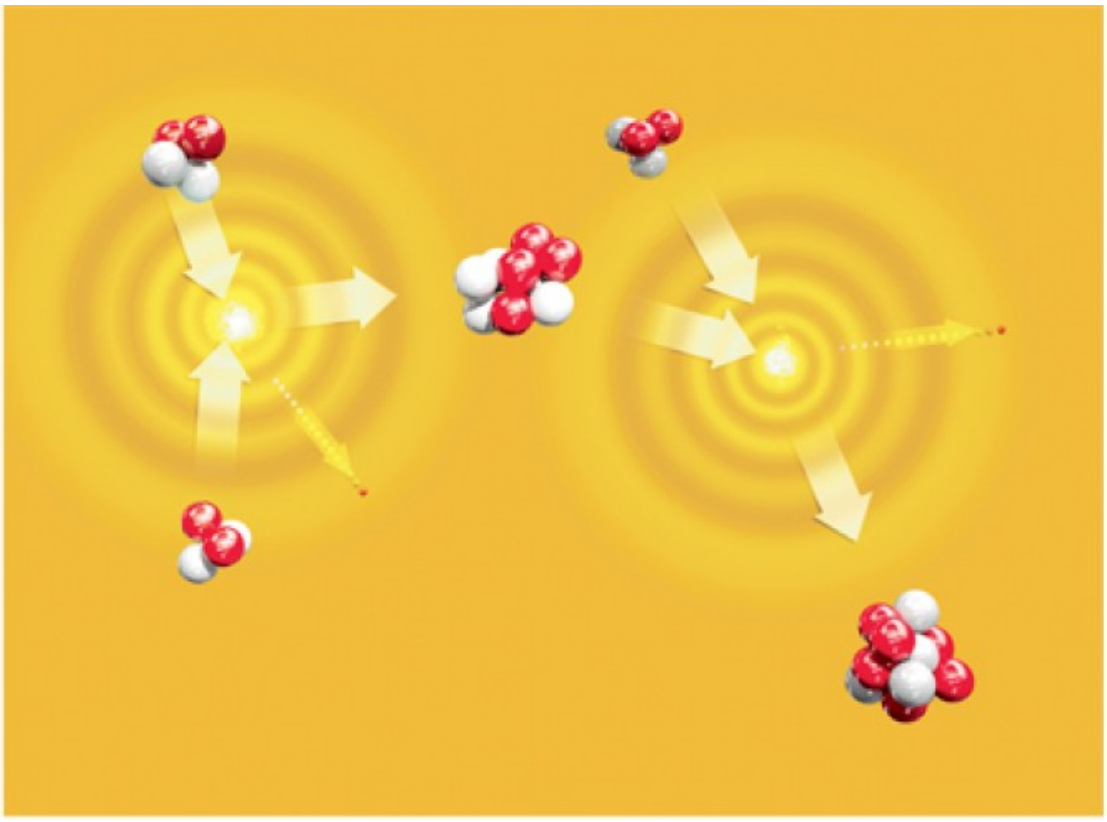
20 世纪 50 年代，弗雷德·霍伊尔最早意识到这可能牵涉到大量的幸运事件。霍伊尔相信所有化学元素最初都是由氢形成的，他感觉氢是真正的太初物质。氢具有最简单的原子核，氢核只有 1 个质子，这个质子要么单独存在，要么与 1 个或者 2 个中子结

合在一起。（氢的不同形态或者任何含有同样质子数但不同中子数的核素称为同位素。）今天，我们知道氦和锂这两种核中分别含有 2 个和 3 个质子的原子也是在太初之时合成的，它们的含量极低，大约形成于宇宙创生 200 秒之后，另一方面，生命依赖于更复杂的元素。碳就是最重要的复杂元素，它是一切有机化学的基础。尽管我们可以设想由其他元素生成的“有生命”的有机体，比如由硅构成的智能计算机，但深可怀疑的是生命是否能够在缺乏碳的条件下自发进化。个中原因是技术性的，也与碳和其他元素结合的独特方式有关。举例来说，二氧化碳在室温下呈气态，在生物学上非常有用。由于硅在元素周期表中位于碳的正下方，因而具有与碳相似的化学性质。尽管如此，二氧化硅即石英在岩石堆中要比在有机体的肺里更为有用。生命形式也可能进化到去享受一顿硅的盛宴以及在液氨的池子里摇曳尾巴。但即使是那样的外星生命也不能仅就从太初元素中进化出来，因为那些元素只能形成两种稳定的化合物，氢化锂，一种无色晶体，和氢气，这两种化合物都不太可能繁殖，更别提谈情说爱了。所以，实际上我们仍然是碳的生命形式，这引发了在我们身体里核内含有 6 个质子的碳元素和其他重元素如何生成的问题。

第一步发生于老恒星开始累积形成氦的时刻，当两个氢核彼此碰撞融合在一起就形成了氦。这种融合就是恒星制造能量温暖我们的方式。两个氦原子能够依次碰撞形成铍，一种核内含有 4 个质子的原子。铍一旦形成，它原则上就可以与另一个氦核融合形成碳。但那并没有发生，因为所生成的铍的同位素几乎马上就会衰变还原为氦。

当恒星里的氢快要耗尽时，情况发生了变化。这时恒星的核心坍缩直至其中心温度上升到大约 1 亿开氏度。在那样的条件下，核子邂逅得如此频繁以至于一些铍核子和氦核子碰撞在一起而没

有机会发生衰变。这样铍就能够与氦融合形成稳定的碳的同位素。然而，碳要形成能品尝波尔多酒、能玩弄燃烧保龄球瓶以及能追问宇宙之谜的那种化合物的有序聚集体则还需要经过漫漫长途。为了人类这样的生命得以存在，碳必须从恒星内部释放到更为友好的邻近环境。我们曾经说过，那完成于这样的时刻，当恒星走到生命周期的尽头就作为超新星爆炸，喷射出的碳和其他的重元素随后凝缩进入了行星。



**三阿尔法过程** 碳是在恒星内部由三个氦核子碰撞形成的，若非核物理定律具有一种特殊性质，这个事件发生的可能性极小。

生成碳的过程称为三阿尔法过程，因为“阿尔法粒子”是氦同位素相关核子的另一种称谓，也因为这个过程需要三个阿尔法粒子（最终）融合到一起。通常的物理学预测了通过三阿尔法过程生成碳的速率应该相当之低。请注意这个事实，霍伊尔在 1952

年预测了一个铍核子与一个氦核子能量的总和应当几乎精确地等于所形成的碳同位素某一量子态的能量，该情形称为共振，这极大地加快了核反应的速率。在那个时期，人们还并不知晓这样的能级，但是根据霍伊尔的建议，加州理工学院的威廉·福勒通过寻找发现了它，这有力地支持了霍伊尔关于复杂核子如何生成的观点。

霍伊尔写道，“我不相信任何考察过证据的科学家会得不出这样的结论，核物理定律是根据它们在恒星内部产生的结果而被有意设计的。”在那个时代，没有谁足够了解核物理学以至于人们不能理解导致这些精密的物理定律的那种幸运和巧合的程度。但是，审查了强人存原理的有效性，在最近的年月物理学家已经开始反问自己，如果自然定律变得不同，宇宙将会如何。今天，我们可以建立计算机模型，它能告诉我们三阿尔法过程的速率是如何依赖于自然基本力的大小。这样的计算表明，如果强核力的大小发生了一个小到 0.5%的变化或者电力的强度出现了一个 4%的改变，都会摧毁所有恒星上几乎全部的碳和全部的氧，因而也会如我们所知的那样消灭生命存在的可能性。即使我们宇宙的那些规则仅仅发生些微改变，我们生存的条件也将消失不在。

在物理定理以某些方式发生改变的情况下考察我们制造的模型宇宙，人们能够采用系统的方法来研究物理定律变动产生的影响。结果表明，不管是强核力还是电磁力其强度都好像是为我们的存在量身定制的。对于我们理论中的大多数常量，如果它们被作了有限程度的改动，宇宙就将会有质的不同，并且在许多情形下都不适宜于生命的发展，就这个意义而言，这些常量似乎是经过了微调。举例来说，如果另外一种核力即弱核力更弱一些，在早期宇宙中所有的氢都将全部转变成氦，因而就不会有通常的恒星；如果它变得更强一些，爆炸的超新星就不能将它们的外围大

气层喷射出去，因而也就不能在星际空间播撒下行星赖以孕育生命的重元素的种子。如果质子再重 0.2%，它们就会衰变成中子，从而动摇原子的根基。如果构成质子的那种夸克的总质量发生了哪怕小到 10%的改变，作为我们组成成分的稳定的原子核就将会更少；事实上，夸克质量的总和似乎就是为了最大数量的稳定核子能够存在而被大致优化过的。

如果人们假设几亿年处于稳定轨道对于行星上生命的进化来说是必需的，那么空间维度的数目也是由我们的存在而决定的。那是因为根据万有引力定律，只有在三维空间，稳定的椭圆轨道方有可能。圆周轨道在其他的维度中也有可能，但是正如牛顿担心的那样，那样的轨道不稳定。在除了三维以外的其他维度中，即使是一个很小的扰动，比如其他行星引力造成的干扰，都会把行星带离它的圆周轨道，使得它要么旋转落向太阳要么飞离太阳，因而我们就会要么被烧焦要么被冻结。此外，在多于三维的维度中，两个物体之间的引力会减小得比在三维中还快。在三维空间中，如果距离加倍，引力就减小至 1/4。而在四维空间中，它就要减小到 1/8，在五维空间中，就减小到 1/16，以此类推。结果是，在多于三维的空间维度中，太阳将不能处于一个以内部压力平衡引力吸引的稳定态。它要么土崩瓦解，要么坍缩形成黑洞，这两种情形都会摧毁你的生活。在原子尺度上，电力的行为方式和引力相同。那就意味着，原子里的电子也会要么逸散开去要么旋入核内。在这两种情况下，原子都不可能如我们所知的那样存在。

能够支持智能观测者的复杂结构的出现似乎是非常脆弱的。自然定律形成了一个微调得极其精密的系统，并且自然定律中任何微小的变动都会如我们所知的那样摧毁生命发展的可能性。若非物理定律的精微细节存在着一系列令人惊讶的巧合，人类和类

似的生命形式都似乎无法形成。

令人印象最为深刻的微调巧合与爱因斯坦广义相对论方程组中的宇宙学常数有关。我们曾经说过，当爱因斯坦于 1915 年建立广义相对论时，他相信宇宙是静态的，也就是说宇宙既不膨胀也不收缩。由于所有物质都与其他物质相互吸引，他在理论中引入了一种新的反引力来抗衡宇宙自我坍缩的趋势。这种力不像其他类型的力，它没有任何的特殊来源，仅仅是被嵌入时空结构当中。宇宙学常数就用来描述那种力的强度。

当人们发现宇宙并非静态时，爱因斯坦将宇宙学常数从他的理论中剔除了，并声称理论中包含宇宙学常数是他一生中最大的错误。然而，在 1998 年对非常遥远的超新星的观测揭示了宇宙正在以加速度膨胀，如果没有某种作用遍及空间的斥力，就不可能出现这种效应。宇宙学常数又复活了。由于我们现在知道它的值不为零，剩下的问题就是，它为什么会具有这样的值？物理学家已经找到证据来解释它是如何由量子力学效应产生出来的，但是他们计算出来的值比通过观测超新星获得的实际值几乎要大 120 个数量级（1 后面跟着 120 个 0）。那意味着要么是计算中运用的推理错了，要么是还存在着某种别的效应奇迹般地抵消了计算出来的数值而只留下了小得难以想象的部分。有一个事实是明确的，那就是如果宇宙学常数的值比它现在的值大得多，宇宙在星系得以形成之前就会飘散开来，同时生命将——再一次——如我们所知的那样不复存在。

我们怎么来理解这些巧合呢？在基本物理定理的精妙形式和性质中存在的那种运气不同于我们在环境因素中发现的运气。它并不那么容易解释，而且还具有更为深刻的物理学和哲学的内涵。我们的宇宙以及宇宙的定理似乎有一个设计，两者都像是为支持我们而量身定制的，如果我们想要存在，它们就没有多少变动的

余地。那是很难解释的，同时也引发了它为何如此这样自然的问题。

许多人想让我们利用这些巧合作为上帝工作的证据。宇宙被设计来供人类居住的观念出现在从几千年前直至现在的神学和神话中。在玛雅人波波武经的神话式历史叙事当中，神宣告说，“ 我们不接受来自我们创造和形成的一切事物的荣耀和尊敬，直到被赋予感知能力的人类出现。” 可以追溯到公元前 2000 年的一份典型的埃及文本叙述道，“ 人，上帝的牲畜，已经得到了很好的供养。他（太阳神）为他们创造了天和地。” 中国道家哲学家列御寇（约前 400 年）就通过故事中一个人物之口表达了这种观点，“ 天之于民厚矣！殖五谷、生鱼鸟以为之用。”

在西方文化中，旧约在它的创世故事里包含了神意设计的思想，但是传统的基督教观点也受到了亚里士多德的很大影响，亚里士多德信奉 “ 一个根据某种有意设计而运转的智能的自然世界 ”。中世纪基督教神学家托马斯·阿奎那利用亚里士多德关于自然秩序的观点来论证上帝的存在。在 18 世纪，另一位基督教神学家甚至走得更远，他说兔子之所以有白尾巴是为了便于我们射杀。几年前，红衣主教克里斯多夫·舍本恩，维也纳的总主教，为基督教观点作了一个更为现代的诠释，他写道，“ 现在，处于 21 世纪的开端，我们面临着诸如新达尔文主义和宇宙学中多重宇宙（许多个宇宙）假说这样的科学主张，它们是发明来回避现代科学中发现的目的和设计的压倒性证据的，天主教将宣告自然的固有设计是真实的，以之来再次捍卫人性。” 这位红衣主教提及的存在于宇宙学中目的和设计的压倒性证据就是我们前面表述过的物理定律的微调。

在科学中拒绝以人类为中心的宇宙观，这是以哥白尼的太阳系模型为转折点的，在这个模型里，地球不再居于中央位置。具

有讽刺意味的是，哥白尼自己的世界观却是神人同形同性论，甚至到了这种程度，为了安慰我们，他指出尽管有了他的日心模型，但地球**几乎**还是位于宇宙的中心：“虽然（地球）并不位于世界的中心，但它（离开中心）的距离微乎其微，特别是与恒星间的距离比起来更是如此。”随着望远镜的发明，17 世纪的观测结果，比如我们的地球不是被卫星环绕的唯一行星的事实，强化了我们并不处于宇宙特许位置这样的原则。在后续的若干世纪里，我们对宇宙发现得越多，似乎就越显得地球可能只是一颗普通行星。然而，在相当新近的时代，我们发现了那么多的自然定律都存在着如此极端的微调，这使得至少我们中有些人还是会回退到这种伟大设计是某位伟大设计者作品的旧观念。在美国，由于宪法禁止在学校里传授宗教，那类观点就被改称为智能设计，虽不明说但却暗示了设计者就是上帝。

那不是现代科学的回答。在第五章中，我们看到我们的宇宙似乎只是众多宇宙中的一个，这众多的宇宙中每一个都有其不同的定律。那种多重宇宙的观念不是发明来解释微调奇迹的。它是无边界条件以及现代宇宙学中其他许多理论导致的结论。然而，如果它是正确的，强人存原理就会被认为在实际上等同于弱人存原理，物理定律的微调也将被置于与环境因素等同的立足点上，因为它意味着我们的宇宙居所——现在是可观测的整个宇宙——只是众多宇宙之一，正如我们的太阳系只是许多个中的一个。那意味着，只要认识到存在着数以亿计的类似太阳系的系统，我们太阳系中环境的巧合就会变得非常平凡，同样的道理，自然定律的微调也可以通过多重宇宙的存在来加以解释。长期以来，许多人把自然的美和复杂性归因于上帝，在他们的时代这似乎得不到科学的解释。然而，正如达尔文和华莱士不用至高存在的干预就能解释表面上看似奇迹的生命形式的出现，多重宇宙的观念也无

需诉诸为我们创造宇宙的仁慈造物主就能解释物理定律的微调。

爱因斯坦曾经诘问他的助手恩斯特·斯特劳斯一个问题，“上帝在他创造宇宙之前有得选择吗？”在 16 世纪末期，开普勒确信上帝按照某种完美的数学原理创造了宇宙。牛顿表明适用于大地的定律也同样适用于天穹，并且发明了表述那些定律的数学方程。方程是如此优美，几乎激发出 18 世纪许多科学家的宗教热情，他们似乎决心要以此来证明上帝是一位数学家。

自从牛顿特别是爱因斯坦以来，物理学的目的就是发现像开普勒预想的那种简洁的数学原理，并以此来建立解释我们在自然界中观测到的物质和力的每个细节的万物统一理论。在 19 世纪末 20 世纪初，麦克斯韦和爱因斯坦统一了电、磁和光的理论。在 20 世纪 70 年代，标准模型建立起来，这是一个关于强核力、弱核力和电磁力的单独理论。后来，弦论和 M 理论也出现了，试图去包罗剩下的力，即引力。物理学的目的是找到不仅能解释所有的力而且能解释我们一直在讨论的诸如力的强度以及基本粒子的质量和电荷等基本数量的单独理论。正如爱因斯坦所言，希望在于能够说“自然界是这样构成的：可以合乎逻辑地建立非常确定的规律，在这些规律中只有那些被合理地、完全地确定的常数存在（因而就不是那些在不破坏理论的前提下仍可改变其数值的常数）”。一个唯一的理论不大可能具备允许我们存在的微调。但是如果根据目前的进展，我们将爱因斯坦之梦解释为找到解释这个和其他宇宙及其不同定律的整个谱系的唯一理论，那么 M 理论可能就是那个理论。然而，M 理论是惟一的吗，或者说它是任何简单的逻辑原则所要求的吗？我们能否回答这个问题，**为什么是 M 理论而不是其他？**



# 第八章 伟大设计

在本书中，我们已经描述了诸如太阳、月球和行星这类天体的运行规律是如何表明它们受制于确定的规律而非取决于专断恣意、反复无常的神明和恶魔的。在早期，这类定律的存在仅仅从天文学（或称占星术，它被视作等同于天文学）中显露出来。事物的行为毕竟如此复杂而且受制于如此之多的影响作用，以至于早期文明不能够辨识出这些现象的任何清晰模式或者制约这些现象的定律。然而，新的定律逐渐在天文学以外的其他领域发现，这导致了科学决定论的观念：给定宇宙在某一特定时刻的状态，就一定存在着一组能够详细说明宇宙从那时起将会如何向前发展的完备定律。这些定律无论何时何地都应当成立；否则它们就不是定律。毫无例外也没有奇迹。神明或者恶魔都不会干预宇宙的运行。

在科学决定论首次提出的那个时期，牛顿的运动定律和万有引力定律是仅有的已知定律。我们已经描述了这些定律是如何被爱因斯坦在广义相对论中加以扩展的，也描述了别的定律是如何被发现来制约宇宙其他方面的。

自然定律告诉我们宇宙是**如何**行为的，但并没有回答我们在本书开篇时提出的宇宙**为何**如此行为的问题：

为何有物存在而非虚无？

为何我们会存在？

为何是这一组特殊的定律而非其他？

有些人声称，这些问题的答案就是存在着一位上帝，他选择以那种方式创造了宇宙。追问是谁或者是什么创造了宇宙，这是合理的，然而如果答案是上帝，那就仅仅是把问题转换成谁创造了上帝。在这种观点下，人们接受存在着某种实在它不需要创造者，那种实在就被称为上帝。这就是众所周知的关于上帝存在的第一动因证明。然而，我们声明这些问题是可以完全在科学领域内予以回答的，不需要援引任何的神圣存在。

根据第三章介绍的依赖模型的实在论的观点，我们的大脑通过建立一个外部世界的模型来解译我们的感官输入。我们形成家庭、树木、别人、来自墙壁插座的电流、原子、分子以及其他宇宙的心智概念。这些心智概念就是我们能够获知的全部实在。没有不依赖于模型的实在检测。因此，一个建构合理的模型就自发地创造了一个实在。有个例子可以帮助我们思考实在和创造的问题，这就是 1970 年由剑桥大学年轻的数学家约翰·康威发明的生命游戏。

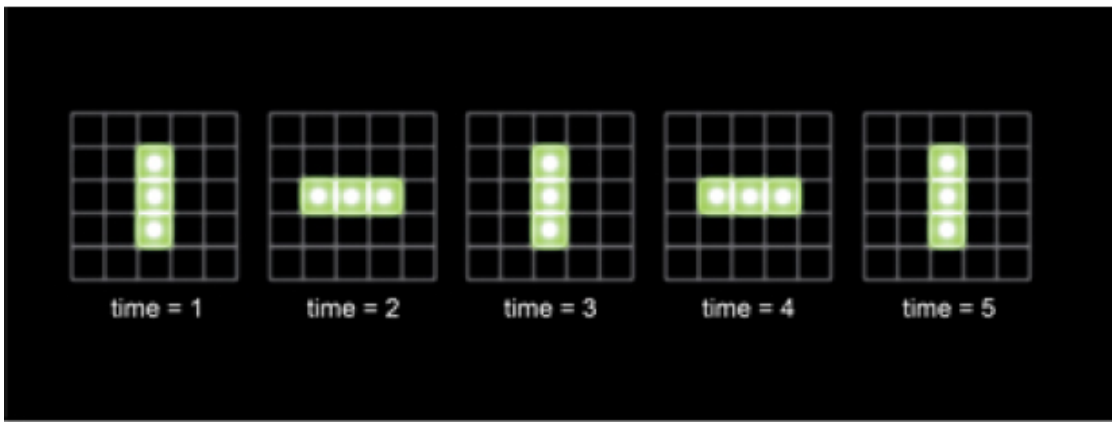
生命游戏中“游戏”这个词容易让人误解。这个游戏中不存在赢家和输家；实际上，它没有玩家。生命游戏不是真正意义上的游戏，而只是一组制约二维宇宙的定律。这是一个被决定的宇宙：你一旦设置好起始图形或者说初始条件，定律就决定了未来有何事发生。

康威构想的世界是一个方格阵列，就像各个方向无限延展的

棋盘。每个方格的状态在以下二者中必居其一：活（表现为绿色）或者死（表现为黑色）。每个方格有 8 个邻居：上方、下方、左方、右方以及 4 个对角点处的邻居。这个世界中的时间是不连续的，按照离散的步骤向前发展。给定方格死和活的一组安排，根据下述规则，活邻居的数量就决定了下一步将如何发生：

1. 如果活方格周围有 2 或 3 个活邻居，它就存活（存活）。
2. 如果死方格周围恰有 3 个活邻居，它就变成活细胞（出生）。
3. 在其他所有情形中，细胞死去或者保持死亡状态。如果一个活方格周围有 0 或 1 个邻居，这种情况称为死于孤独；如果它有多于 3 个的邻居，就称为死于拥挤。

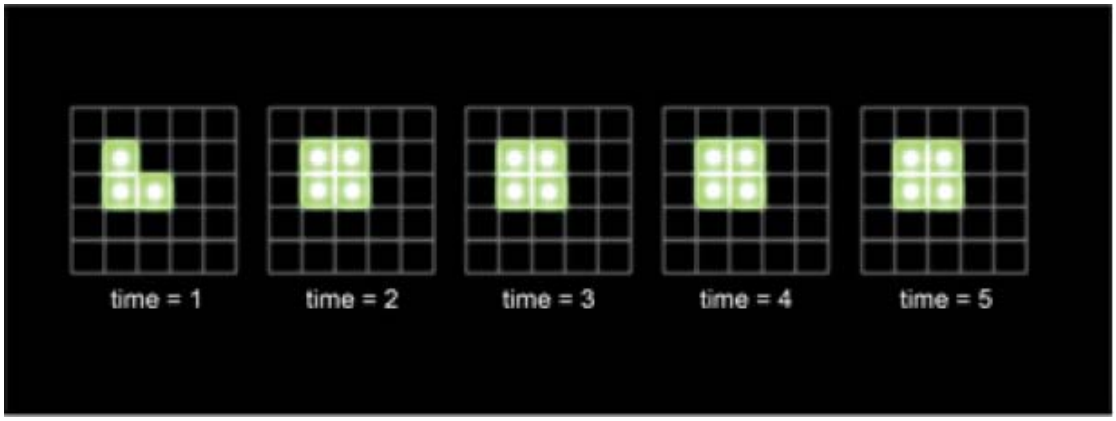
那就是事情的全部：给定初始条件，这些定律就一代接一代地生成图形。1 个孤立的方格或者 2 个毗连的方格在下一代中死去，因为它们没有足够的邻居。沿着对角线的 3 个活方格则会存活更长一点儿时间。在第一步以后，两端的方格死了，只剩下中间的那个方格，这个方格在下一代也要死去。所有沿对角线排列的方格都以这样的方式“蒸发”了。但是，如果 3 个活方格水平排成一行，那么中间那个方格因为有 2 个邻居就得以存活，同时




**闪光灯** 闪光灯是生命游戏中简单类型的复合物体。

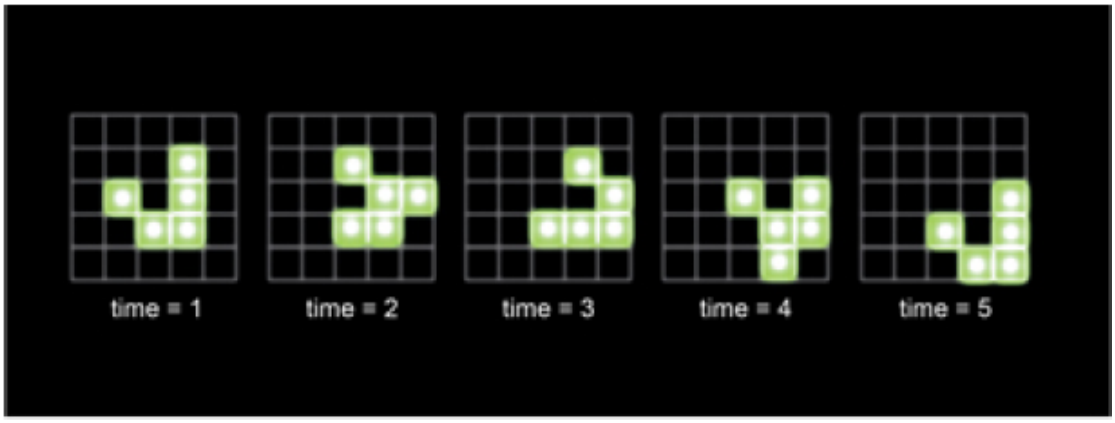
两端的方格死去，然而在这种情况下，只有位于中央方格正上方和正下方的方格会经历出生。这个横行因而转换成了一个纵列。相似地，在下一代这个纵列又会变回横行，如此往复。这样的振荡图形称为闪光灯。

假如 3 个活方格排成 L 形，新的行为样态又出现了。在下一代，L 怀抱着的那个方格将会出生，形成一个 2×2 的方块。这个方块属于称为静物的那类图样，因为它经过一代又一代却不会改变。存在着许多这类的图样，它们在较早的世代会有改变，但不久就要么转变成静物，要么死亡，要么返回它们的初始形式，然后重复这个过程。



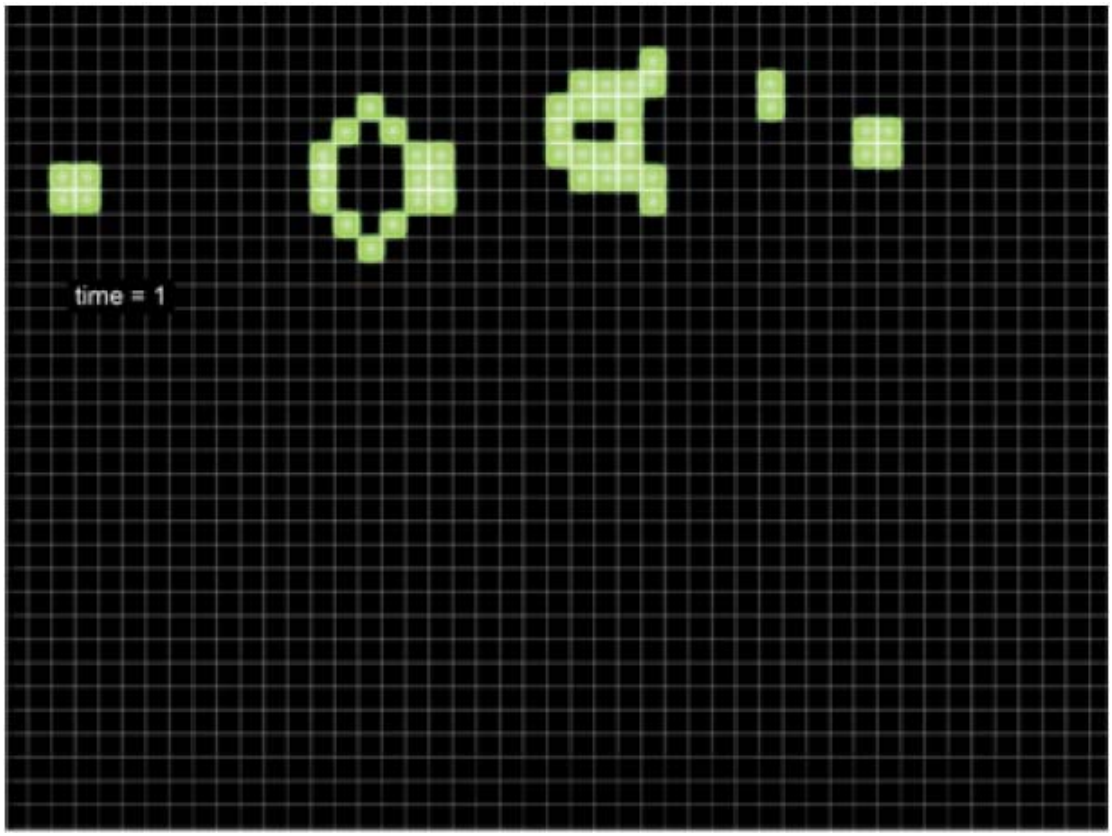

**通向静态生命的演化** 在生命游戏中有一些复合物体会演化成这样一种形态，游戏规则限定了这种形态不再改变。

还存在着称为滑翔机的图样，它在早期会变成其他形状，但经过几个世代以后就返回原初形式，只不过其位置沿着对角线方向下移了 1 格。如果你对这些发展变化观察良久，它们就好像是在沿着阵列爬行。当这些滑翔机撞在一起，奇异的行为样态就会发生，这取决于每一个滑翔机在碰撞当时的形状。




**滑翔机** 滑翔机经过这些中途形变后回归到原初形态，并沿着对角线移动一个方格。

这个宇宙的有趣之处在于，尽管这个宇宙的基本“物理”是简单的，但它的“化学”却会非常复杂。那就是说，在不同的尺度上存在着不同的复合物体。在最小的尺度，基本的物理学告诉我

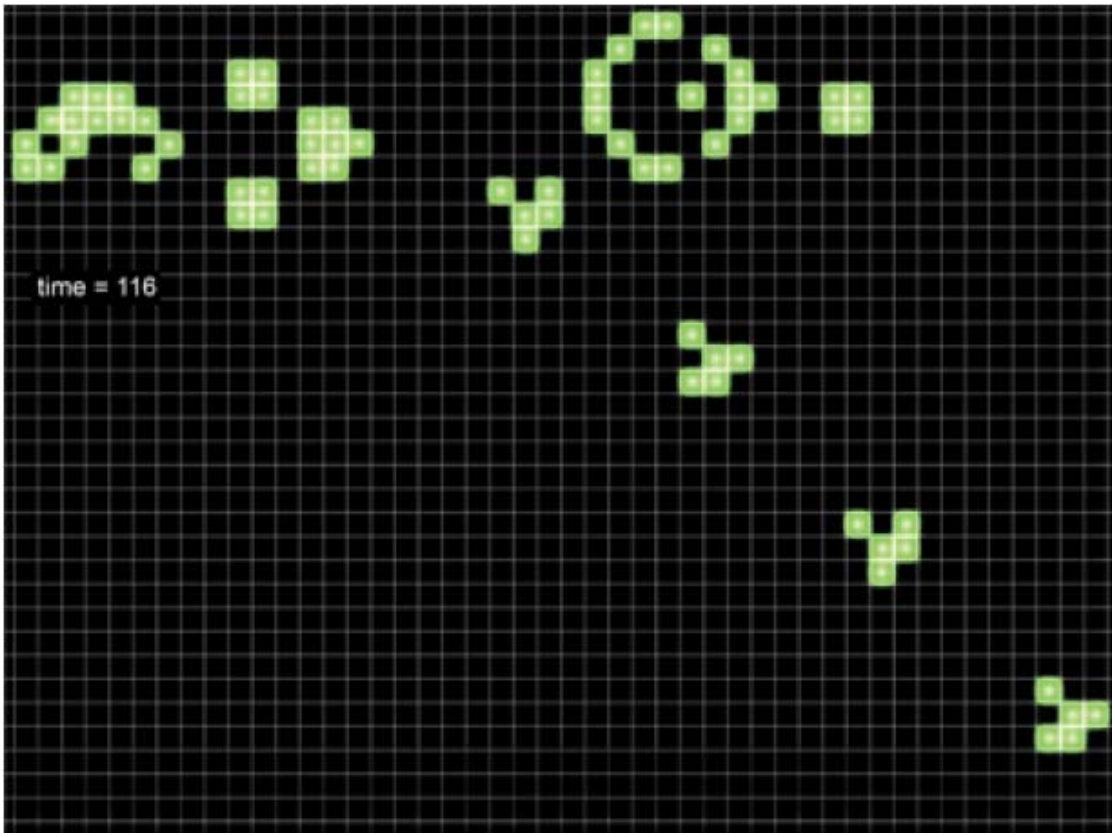



**滑翔机枪的初始形状** 滑翔机枪差不多是滑翔机的 10 倍大。

们只有活的和死的方格。但对于大的尺度，则会有滑翔机、闪光灯和静物方块。在更大的尺度，甚至还存在更为复杂的物体，比如滑翔机枪：一种稳态图样，它周期性地生成新的滑翔机，这些滑翔机离开它的巢窝沿着对角线方向射出。

假如你对生命游戏的宇宙在任何特定的尺度上观察片刻，你会推断出在那个尺度中制约物体的定律。比如，在只由几个方格构成的那种物体的尺度下，你也许会得出诸如“方块不动”、“滑翔机沿对角线行进”这样的定律以及当物体碰撞时决定何事发生的各种定律。你可以在复合物体的任何水平建立整门物理学。这些定律会需要一些在原初定律中并不存在的实体和概念。比如，在原初定律中就没有诸如“碰撞”或者“移动”这样的概念。原初定律仅仅描述单个静止方格的活与死。就像在我们的宇宙中一样，在生命游戏中你的实在也依赖于你使用的模型。

康威和他的学生创造了这个世界，是因为它们想知道具备像他们规定的那样简单的基本规则的宇宙是否能包括复杂得足以自我复制的物体。在生命游戏的世界里，是否存在着这样的复合物体，它仅仅服从那个世界的定律却能在几个世代以后产生出其他同类之物？康威和他的学生不仅能够证实这种可能性，它们甚至还证明了这样的物体在某种意义上是智能的！我们对此如何理解呢？准确地说，他们表明了这种自我复制的方格群就是“宇宙图灵机”。对我们来说，那就意味着我们物理世界中的计算机原则上能够执行任何计算，如果机器被载进了适当的输入信息——那就是说，提供合适的生命游戏世界环境——那么经过几个世代以后，这个机器就会到达一个状态，可以从中读出与计算机运算结果相符的输出信息。




**116 代后的滑翔机枪** 滑翔机枪随时间改变形状，发射出滑翔器，然后回归到它的原初形态。它无限地重复这个过程。

为了稍微感悟一下这是怎么回事，我们来考虑当滑翔机被射向一个简单的由活方格组成的 2×2 方块时发生的事情。如果滑翔机径直靠近一直静止着的方块，方块就会要么朝着滑翔机源头移动要么背离他。按照这种方式，方块就能模拟计算机的记忆。事实上，现代计算机的所有基本函数，诸如与门和非门都能用滑翔机建立。在此情况下，正如电信号运用于物理计算机那样，滑翔机的流束也能利用来发送和处理信息。

在生命游戏中与在我们的世界中一样，自我复制的图样是复杂的物体。基于数学家约翰·冯·诺依曼的早期工作，人们估计要在生命游戏中放置最小尺度的自我复制图样需要十万亿个方格——大致等于单个人体细胞中分子的数量。

我们可以把生物定义为具备有限尺度、稳定的并能自我复制

的复杂系统。前面描述的那种物体满足了自我复制这一条件但可能不太稳定：一个外来的微小干扰就可以破坏这种脆弱装置。然而，容易设想只要定律再稍微复杂一些就能允许具备所有生命属性的复杂系统存在。想象一个那样的实体，一个康威式世界中的物体。这样的物体会对环境刺激作出回应，因而似乎也能做决定。这样的生命能感觉到它自己吗？它有自我意识吗？这是一个歧见纷呈的问题。一些人声称自我意识是人类独有的。它赋予人们自由意志以及从不同行为过程中作出选择的能力。

我们怎么知道一个存在是否有自由意志呢？如果我们邂逅了一个外星人，我们怎么知道它只是一个机器人或者是拥有自我意识的存在？机器人的行为是被完全决定的，这不同于拥有自由意志的生命的行为。这样我们原则上就可以把机器人当作一种能够预测其行为的存在来加以考察。正如我们在第二章中所言，如果这个存在大且复杂，要预测其行为就异常困难。我们甚至不能精确地求解有关三个或者更多粒子之间相互作用的方程式。即使外星人是机器人，如果它具备人类的尺度，那也会含有一千亿亿亿个粒子，我们就不可能去求解这些方程也不可能去预测它的行为。因而，我们不得不认为任何复杂的存在都拥有自由意志——这不作为一种基本特征，但却作为一种有效理论，承认了我们没有计算能力去预测存在的行为。

康威生命游戏中的例子表明即使是非常简单的一组定律也能导致类似于智能生命那样的复杂特征。一定存在着具备这种性质的许多组定律。那么又是什么选择了制约我们宇宙的基本定律（与表观定律相对）？和康威宇宙中一样，只要给定任何一个时刻的状态，我们宇宙中的定律就决定了系统如何演化。在康威的世界里我们是创造者——我们在游戏开始时详细地指明了物体及其位置以此选定了宇宙的初始条件。

在物理宇宙中，对应于生命游戏中滑翔机之类物体的东西就是孤立的物质体。描述像我们这样的连续世界的任何一组定律都将含有能量的概念，这是一个保守量，意思是它不随时间变化。真空中的能量是一个与时间和位置无关的常数。我们可以通过测量相当于同体积真空的能量的任何体积的空间能量来减去这个恒定的真空能量，因此我们也可以认为这个常数是零。任何自然定律必须满足的一个要求就是它要能指明真空中一个孤立物体的能量为正，意思就是人要聚合这个物体必须做功。那是因为如果孤立物体的能量为负，它就能在运动状态中被创造出来以便它的负能量恰好可以被运动的正能量平衡。假如那是真的，那么物体就没有理由不出现于任何地方和所有地方。真空因而就会变得不稳定。但是，如果创造一个孤立的物体需要消耗能量，这样的不稳定性就不存在了，因为正如我们说过的宇宙的能量必须保持恒定。那就是使得宇宙局部稳定——事物不能处处从虚无中出现的原因。

如果宇宙的总能量必须一直保持为零，并且创造物体需要消耗能量，那整个宇宙又是如何从虚无中创生出来？那就是必须存在着引力定律这样的定律的原因。由于引力是吸引的，所以引力能量为负：要分离诸如地球和月球这类受引力束缚的系统必须做功。这个负能量可以平衡创生物质所需的正能量，但事情没这么简单。举例来说，地球具有的负的引力能量比组成地球的物质粒子的正能量的十亿分之一还小。恒星这类天体会有更多的负引力能量，并且天体越小（它不同的部分彼此靠得越近），这个负引力能量就越强。但是在它变得比物质正能量更大之前，恒星将会坍缩成黑洞，黑洞具有正能量。那就是真空稳定的原因。诸如恒星和黑洞这样的天体不能无中生有地出现。但是整个宇宙却能。

因为引力塑造了空间和时间，所以它允许时空在局部稳定而

整体不稳定。在整个宇宙的尺度，物质的正能量可以被引力的负能量平衡，所以整个宇宙的创生毫无限制。由于存在着引力之类的定律，宇宙能够也将会按照第六章描述的那种方式从虚无中创造自身。自发创生就是有物存在而非虚无、宇宙存在以及我们存在的原因。毫无必要援引上帝点燃蓝色导火索来使宇宙运行。

为什么基本定律会像我们描述过的那样呢？终极理论必须一致而且要能对我们测量的量预测出有限的结果。我们已经看到，必须存在引力定律这类定律，而且我们在第五章中看到，对于预测有限量的引力论，该理论必须具有在自然力和自然力作用于其上的物质之间存在的所谓超对称。M 理论是最一般的超对称引力论。由于这些原因，M 理论是宇宙完备理论惟一的候选者。如果它是有限的——这还有待证明——那它就是一个自我创生的宇宙的模型。我们必须是这个宇宙的部分，因为不存在其他一致的模型。

M 理论是爱因斯坦希望找到的统一理论。我们人类——我们自身只不过是自然基本粒子的聚集体——已经能够这样接近对制约我们和我们宇宙的定律的理解了，这个事实就是一项伟大胜利。但真正的奇迹也许在于，逻辑的抽象思考达成了一个能够预言和描述我们看到的令人惊异的千姿百态的浩瀚宇宙的唯一理论。如果该理论被观测证实，它就将是以往 3000 多年来智力探索的成功终结。我们就将找到伟大设计。

# 术语表

**可择历史**

量子论的一种表述，其中任何观测结果的概率由能达致该观测结果的所有可能历史构成。

**人存原理**

我们基于我们存在的事实得出有关物理表观定律的结论的思想。

**反物质**

每种物质粒子都有相应的反粒子。如果它们相遇，就彼此湮灭，留下纯粹的能量。

**表观定律**

我们在我们的宇宙中观察到的自然定律——4 种力的定律以及表征基本粒子性质诸如质量和电荷的参数——与允许具有不同定律的不同宇宙的 M 理论的更基本定律形成对照。

**渐近自由**

是强力的一个性质，导致强力在短距离下会变弱。因此，虽然夸克在核子中被强力束缚，它们在核中仍可运动，仿佛它们根本没有感受到力那样。

**原子**

通常物质的基本单元，包含一个具有质子和中子的核，核被绕其旋转的电子包围。

**重子**

诸如质子和中子的一类基本粒子，由 3 个夸克构成。

**大爆炸**

宇宙致密、灼热的开端。大爆炸理论假定，在大约 137 亿年前，我们今天看到的宇宙的部分只有几毫米那么宽。现在宇宙变得非常大非常凉，然而我们能在弥漫于整个空间的宇宙微波背景辐射中观察到那个早期宇宙的残余。

**黑洞**

时空的一个区域，由于它极大的引力而与宇宙的其余部分隔离。

**玻色子**

携带力的基本粒子。

**自下而上的方法**

在宇宙学中依赖如下假设的思想，即存在宇宙单独的历史，该历史具有定义明确的起点，并且现在宇宙的状态是从那个起点演化而来的。

**经典物理**

假设宇宙具有单独的、定义明确的历史的任何物理理论。

**宇宙学常数**

爱因斯坦方程中为时空赋予内在膨胀倾向的一个参数。

**电磁力**

自然的 4 种力中第二强的力。它在带电粒子之间作用。

**电子**

物质的一种基本粒子，它具有负电荷，而且负责元素的化学性质。

**费米子**

物质类型的基本粒子。

**星系**

由引力束缚在一起的恒星、星际物质和暗物质组成的大系统。

**引力**

自然的 4 种力中最弱的力。具有质量的物体正是用它来相互吸引。

**海森堡测不准原理**

量子论中的一个定律，它表述的是某些物理性质的对不能同时在任意精度上被测知。

**介子**

一类基本粒子，它是由夸克和反夸克构成的。

**M 理论**

物理学中的基本理论，它是万物理论的一个候选者。

**多重宇宙**

一组宇宙。

**中微子**

一种极轻的基本粒子，只受弱核力和引力的作用。

**中子**

一类电中性的重子，与质子一起形成原子核。

**无边界条件**

宇宙历史是无边界闭合面所应满足的要求。

**相位**

在波周期中所处的位置。

**光子**

携带电磁力的玻色子。光的量子粒子。

**概率幅度**

量子论中的一种复数，其绝对值平方给出概率。

**质子**

一类带正电的重子，它与中子一起构成原子核。

**量子论**

一种理论，在其中物体不具有单独明确的历史。

**夸克**

受强力作用的带有分数电荷的基本粒子。质子和中子各由 3 个夸克组成。

**重正化**

设计来理解量子论中产生的无限的数学技巧。

**奇点**

时空中的点，在该处物理量变成无穷大。

**时空**

一种数学空间，它的点必须既指明空间坐标又指明时间坐标。

**弦论**

物理学的理论，其中粒子被描述成振动的样态，振动具有长度却无高度或宽度——就像一根无限细的弦。

**强核力**

自然的 4 种力中最强的力。这种力在原子核中把质子和中子束缚在一起。他还把质子和中子自身束缚住，这是必需的，因为它们是由更微小的夸克组成。

**超引力**

引力论中的一种，它拥有一种称作超对称的对称性。

**超对称**

一种微妙的对称，它不能和通常空间的变换相关。超对称的一个重要含义就是，力粒子和物质粒子因此也就是力和物质，实际上只是同一事物的两个方面。

**自上而下的方法**

宇宙学的方法，在这方法中人们自上而下亦即从现在往过去追溯宇宙历史。

**弱核力**

自然的 4 种力中的一种。弱力负责放射性，并在恒星以及早期宇宙的元素形成中发挥至关重要的作用。