

· 第 1 章 ·

思索宇宙

我们生存在一个奇妙无比的宇宙中。只有凭借非凡的想象力才能鉴赏其年龄、尺度、狂暴甚至美丽。在这个极其广袤的宇宙中，我们人类所处的地位似乎微不足道。因此我们试图理解这一切的含义，并且了解我们在宇宙中的角色。几十年前，一位著名的科学家（有人认为是伯特兰·罗素）作了一次天文学讲演。他描述地球如何围绕太阳公转，而太阳又如何围绕着一个巨大的恒星集团的中心公转，我们把这个集团称做银河系。讲演结束之际，坐在屋子后排的一位小个子老妇人站起来说道：“你讲的是一派胡言，实际上，世界是驮在一只巨大乌龟背上的平板。”这位科学家露出高傲的微笑，然后答道：“那么这只乌龟站在什么上面呢？”你很聪明，年轻人的确很聪明，”老妇人说，“不过这是一只驮着一只，一直驮下去的乌龟塔啊！”

当今大多数人会觉得，把我们的宇宙喻为一个无限乌龟塔的图象相当荒谬。但是我们凭什么就自认为了解得更好呢？暂时忘却你所知道的——或者认为你所知道的有关空间的知识。然后抬头凝视夜空。你对所有那些光点做何解释呢？它们是微小的火焰吗？它们究竟是什么？真是难

以想象，因为这远远地超出了我们的日常经验。如果你是一位定期的观星者，你也许见到过，在晨昏时刻徘徊于地平线附近的闪烁光点。它是一颗行星，即水星，但是它和我们自己所在的这颗行星毫不相像。水星的一天相当于该行星年的 $\frac{2}{3}$ 。太阳出来时，水星表面温度高达 400 摄氏度，而在深夜它几乎降到 -200 摄氏度。尽管水星和我们地球的差别如此之大，但更不可思议的是一个典型的恒星，恒星是一个每秒燃尽几十亿磅（1 磅 = 454 克）物质的巨大火炉，而它的核心温度达到几千万摄氏度。

行星和恒星究竟离我们多么遥远？这是另一桩难以想象的事。古代中国人建筑石塔以便更近地观测星空。以为恒星和行星比它们在实际上离我们更近得多是很自然的事——在日常生活中，我们毕竟没有和巨大空间距离打交道的经验。它们离我们的距离是如此之遥远，用我们测量大多数长度的办法，即用英尺或者英里去度量，是没有什么意义的。取而代之，我们使用光年，那是光在一年中行进的距离。一束光在一秒钟内行进 186 000 英里（1 英里 = 1.6093 千米），这样，一光年便是一个非常长的距离。除了我们的太阳，最近的恒星叫做比邻星（也叫半人马座 α 星），大约在 4 光年之外。这是那么遥远，甚至利用当今正在设计的最高速的宇宙飞船，也需要花费大约 10 000 年才能到达那里。

古人曾努力尝试理解宇宙，但是他们还没有发展出我们所知道的数学和科学。今天我们拥有强有力的工具：诸如数学和科学方法的智力工具，以及电脑和望远镜等技术工具。科学家借助这些工具把大量关于空间的知识拼凑在一起。但是关于宇宙，我们究竟知道什么，并且我们何以得到这些知识呢？宇宙从何处来？它又向何处去？宇宙有一个开端吗？如果有的话，在此之前发生了什么？时间的

本质是什么？它会到达一个终点吗？我们能在时间中返回到过去吗？物理学中最新的突破，使我们有可能为其中一些悬而未决的问题提供答案，而新技术是实现这些突破的部分原因。对我们而言，这些答案有朝一日会变得和地球围绕太阳公转那么显而易见——或许变得和乌龟塔一样荒谬，只有时间（不管其含义如何）才能裁决。

· 第 2 章 ·

宇宙演化的图象

尽管迟至克里斯托弗·哥伦布时代，人们还普遍认为地球是平坦的（甚至至今仍有人这么认为），我们可以把现代天文学溯源到古希腊。公元前 340 年左右，希腊哲学家亚里士多德便撰写了一部题为《论天》的著作。在该书中亚里士多德对地球是一个圆球而不像一块板子那样平坦的信念进行了有力的论证。

一个论证是基于月食。亚里士多德意识到，月食的产生是地球运动到太阳和月球之间引起的，这时地球把它的影子投射到月球上，导致月食发生。亚里士多德注意到，地球的影子总是圆的。如果地球是一个圆球，这正是你所预料的结果，如果它是一个圆盘，就不会这样。如果地球是一个平坦的圆盘，则只有当月食发生在太阳位于圆盘中心的正下方的时刻，它的影子才能是圆的。而在其余的时候影子将会被拉长成椭圆的形状（椭圆是拉长的圆）

关于地球是圆的，希腊人还有另一个论证。如果地球是平坦的，你可以料想到，从地平线驶来的船首先表现为一个看不清特征的小点。然后，随着它的驶近，你将能够

逐渐识别出更多细部，诸如它的帆和船身。但事实并非如此，当一艘船呈现在地平线上的时候，你首先看到的是船帆，船身随后才进入视线。高耸在船身上的桅杆首先露出地平线是地球为球状的一个证据。

对于夜空，希腊人也给予了极大的关注。直到亚里十多德时代，人们已经在几个世纪里记录了光点在夜空中如何运动。他们注意到，虽然他们看到的成千上万的光点几乎全部似乎一起穿越天穹，但是其中的 5 个（还不算月亮）例外，它们有时离开由东向西的规则轨道逆行，然后又



海船出现在地平线上

因为地球是一个球体，所以一艘从地平线上驶来的海船，它的桅杆和船帆先显露出来，随后才是船体

循原路倒退。这些光点被称做行星——希腊语的意思是“漫游者”。希腊人之所以只观测到 5 颗行星，是因为肉眼只能观察到这 5 颗行星：水星、金星、火星、木星和土星。现在我们知道行星们为何沿着这种不寻常的路径穿越天空：尽管恒星和我们的太阳系相比较几乎完全不动，而行星围绕着太阳公转，这样它们在夜空中的运动轨迹比遥远的恒星远为复杂。

亚里士多德认为地球是静止的，而太阳、月亮、行星以及恒星沿着圆形的轨道围绕着地球运动。他之所以有这个信念，是因为他觉得由于一些神秘的原因，地球是宇宙的中心，而圆周运动才是最完美的。公元 2 世纪，另一个希腊人托勒密将这个观念转变成一个完备的宇宙模型。托勒密对他的研究极度狂热，他写道：“当我快乐地追随着做圆周运动的无数恒星群时，我觉得飞上了天空。”

在托勒密的模型中，8 个旋转的圆球围绕着地球，每一个圆球依次比前一个圆球更大，这有点像俄罗斯套娃。地球处于这圆球的中心，而位于最远的圆球之外为何物，从未弄得很清楚，但是它肯定不是人类可观测到的宇宙部分。于是对于宇宙而言，最外面的圆球是某种边界或者容器。恒星在该球面上占据固定的位置，所以当它旋转时，恒星间的相对位置不变，它们作为一个整体，一起旋转着穿越天穹，正如我们所观测到的。内部的圆球携带着行星，它们不像恒星那样被固定在它们各自的圆球上，而是沿着它们的圆球面上的小圆周运动，小圆周又称为本轮。由于行星球旋转，行星本身又在它们的圆球面上运动，因此相对于地球，它们的轨道就显得复杂。托勒密正是以这种方法解释这个事实，即观测到的行星轨道比穿越天穹的简单圆周要复杂得多。

托勒密模型为预言天体在天空的位置提供了一个相当

精确的系统但是为了正确预言这些位置，托勒密不得不假定月亮沿着这样一条轨道前进，在这一轨道上，月亮和地球的距离有时是其他时刻的一半这就意味着，月亮在某些时刻看起来应当显得是其他时刻的 2 倍！托勒密承认这是个瑕疵，但是尽管如此，他的模型仍然被普遍地，虽然并非无异议地接受它在固定的恒星球之外为天堂和地狱留下了大量的空间，由于这一极大优势，基督教会把它当成和《圣经》相符的宇宙图象

然而，1514 年波兰教士尼古拉·哥白尼提出了另一个



伊萨克·牛顿

在托勒密模型中，地球位于宇宙的中心，8 个携带当时已知天体的圆球围绕着它

模型。（起先，也许哥白尼害怕被教会谴责为异教徒，所以将他的模型匿名地流传。）哥白尼拥有革命的观念，即并非所有天体都必须围绕地球公转。事实上，他的观念是太阳静止地位于太阳系的中心，而地球和行星在围绕着太阳的圆周轨道上运动。和托勒密模型一样，哥白尼的模型相当成功，但是它和观测并不完全符合。由于它比托勒密模型简单得多，人们也许以为它会被欣然地接受。然而，这个观念几乎花了一个世纪才被认真接受。此后，两位天文学家——德国的约翰斯·开普勒和意大利的伽利略·伽利雷开始公开支持哥白尼理论。

伽利略于 1609 年开始使用刚发明的望远镜观测夜空。当伽利略观测木星时，他发现几个围绕着它公转的小卫星或月亮伴随着它。这意味着，事情并不像亚里士多德和托勒密所认为的那样，一切都必须直接地围绕着地球公转。在同一时期，开普勒改进了哥白尼理论，提出行星沿着椭圆而非正圆运行。由于这种改进，理论预言一下子就 and 观测符合起来。这些事件宣告了托勒密模型的死亡。

尽管椭圆轨道改善了哥白尼模型，就开普勒而言，这还仅仅是权宜的假设。那是因为开普勒关于自然的观念不是基于任何观测，而是先人之见：正如亚里士多德一样，开普勒朴实地相信椭圆不如正圆完美。他觉得行星沿着如此不完美的轨道运行的思想太丑，不可能是最后的真理。还有一件使开普勒烦恼的事，他认为磁力迫使行星围绕太阳公转，而椭圆轨道无法和他的这个思想保持一致。尽管他的行星轨道起因于磁力的观念是错误的，我们还是应该把必须有一个力才能引起运动这一认识归功于他。1687 年，当艾萨克·牛顿爵士发表了《自然哲学的数学原理》，这部很可能是物理科学中有史以来仅有的最重要的著作之后，才正确地解释了行星围绕太阳公转的原因，不

过那已是很晚的事了。

牛顿在《自然哲学的数学原理》中提出一个定律，这个定律陈述道，除非有一个力作用在静止的物体上，否则所有这些物体自然地保持在静止状态。牛顿还描述了力的效应如何使物体运动或者改变物体的运动。那么，为何行星以椭圆轨道围绕太阳运行呢？牛顿说，这是由一种特别的力引起的，并且宣称这和你释放物体时，使之下落到地面上而不保持静止的力相同。他把那种力命名为引力（牛顿之前，引力这个词的意思要么是严肃的情绪，要么是庄重的品质，而没有别的意思）。他还发明了一种数学，它在数值上可以算出当一个力，比如引力，拉拽物体时后者的反应，而且他解出获得的方程。他能够用这种方法证明，由于太阳的引力，地球和其他行星应该在一个椭圆轨道上运行——正如开普勒所预言的那样！牛顿宣称，他的定律适用于宇宙中的任何东西，从正在下落的苹果直至恒星和行星。这在人类历史上首次按照定律，既解释了行星的运动，也确定了地球上的运动。它既是现代物理学，也是现代天文学的开端。

抛弃了托勒密球的概念，就不再有任何理由去假定宇宙有一个自然的边界，最外面的球面。而且，因为地球围绕自己的轴自转，恒星就显得似乎在进行穿越天穹的旋转，除此之外，恒星看来是固定不动的，那么认为恒星是像我们太阳一样的，但却非常遥远的物体，就顺理成章了。我们不仅放弃了地球是宇宙中心的思想，而且，甚至认为太阳，也许我们的太阳系在宇宙中都不占有独特的地位。世界观的这一改变象征着人类思想的深刻转变：这是我们现代科学对宇宙理解的开端。

·第3章·

科学理论的本性

为了谈论宇宙的本性，并且讨论诸如它是否有起始或终结的问题，你必须弄清楚什么是科学理论。我们将要采用素朴的观点，即理论只不过是宇宙或者它受限制的一部分的一个模型，以及一组规则，这组规则把这个模型中的量和我们进行的观测相联系。它只存在于我们的头脑中，而不具有任何其他真实性（不管其含义如何）。如果一个理论满足如下两个要求，即是一个好理论。在一个只包含一些任意要素的模型基础上，该理论应能精确地描述大量的观测，而且它还应能明确预言未来的观测结果。例如，亚里士多德相信恩贝多克的理论，万物都是由4种元素：土、空气、火和水组成。这是足够简单了，但是它不能够做出任何明确的预言。另一方面，牛顿引力论基于更简单的模型，在该模型中物体相互吸引，其吸引力和称做它们质量的量成正比，和它们之间的距离的平方成反比。然而牛顿引力论以很高的精确度预言了太阳、月亮和行星的运动。

任何物理理论都只不过是一个假设，在这个意义上，它只能是暂时的：你永远不能证明它。不管实验的结果多

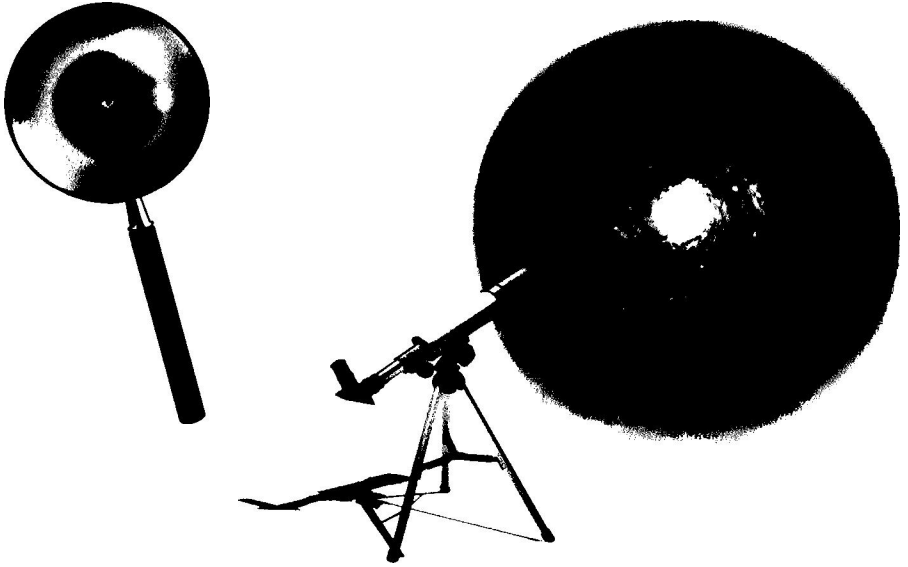
少次和某种理论相一致，你永远不能断定下一次的结果不和该理论相冲突。另一方面，一旦找到哪怕一个单独的理论和预言不一致的观测，就足以将该理论证伪。正如科学哲学家卡尔·波普强调过的，一个好的理论应以下面的事实为特征：它做出一些在原则上可被观测证伪的预言。每一回观察到和预言相一致的新实验，则该理论存活，而我们就增大对它的信赖；但是一旦发现和预言不一致的新观测，我们就必须抛弃或者修正该理论。

人们认为这迟早总会发生，但是你总可以质疑进行该观测人员的能力。

在现实中经常发生的是，设计出的新理论实际上是原先理论的一个扩展。例如，非常精确地观测水星，发现它的运动和牛顿引力论的预言之间有一个微小的差异。爱因斯坦的广义相对论预言了和牛顿理论预言稍微不同的运动。爱因斯坦的预言和观测到的相符合，而牛顿理论做不到，这一事实是对新理论的一个关键性的证实。然而，因为在我们正常处理的情形下，牛顿理论和广义相对论的预言之间差异非常微小，所以在所有实用的场合，我们仍然使用牛顿理论。（牛顿理论还有一个巨大的优势，用它计算比用爱因斯坦理论简单多了！）

科学的终极目的是提供一个描述整个宇宙的统一理论。然而，大多数科学家实际采取的手段是把问题分成两部分。首先，存在告诉我们宇宙如何随时间变化的定律。

（如果我们知道宇宙在任一时刻的状态，这些物理定律就告诉我们它在未来任何时刻的状态。）其次，存在宇宙初始状态的问题。有些人觉得科学只应该关心第一部分；他们将初始状态的问题看做玄学或者宗教的事体。他们会说，无所不能的上帝可以随心所欲地启始宇宙。那也许是真的，但是在那种情形下，上帝还可以使宇宙以完全任意



从原子到星系

20 世纪上半叶，物理学家把理论的领域从艾萨克·牛顿的日常世界扩展到宇宙的最小和最大的两个极端

的方式发展。然而，似乎上帝决定让它根据一定的定律，以一种非常规则的方式演化。所以似乎可以同等合理地假定，也存在着制约初始状态的定律。

毕全功于一役地设计一种能描述宇宙的理论，实际上是非常困难的。换一种方法，我们可将这个问题分成一些小块，并发明一些部分理论。其中每一种部分理论描述并预言某些有限种类的观测，而忽略其他的量的效应，或者将这些效应用简单的数的集合来代表。这样的方法也可能全错了。如果宇宙中任何事物都以一种基本的方式依赖于其余事物，用隔离法来研究问题的部分也许不可能接近完整的答案。尽管如此，我们过去正是用这种方法取得进展。最好的例子仍然是牛顿引力论，它告诉我们两个物体之间的引力只依赖和每个物体相关的一个数，即它的质

量，但和物体的构成无关。这样，我们为了计算太阳和行星的轨道，不需要它们的结构和成分的理论。

当今科学家按照两个基本的部分理论——广义相对论和量子力学来描述宇宙。它们是 20 世纪上半叶伟大的智慧成就。广义相对论描述引力和宇宙的大尺度结构，也就是从仅仅几英里到大至 1 亿亿亿（1 后面跟 24 个零）英里的可观测宇宙的结构。另一方面，量子力学处理尺度极端微小的，比如一万亿分之一英寸（1 英寸 = 2.54 厘米）的现象。然而不幸的是，人们知道，这两个理论不能相互协调——它们不可能都正确。当今物理学的一个主要抱负，以及本书的主要论题，便是寻求一种把两者结合在一起的新理论——量子引力论。我们还没有获得这个理论，寻找它的路途也许还相当遥远，但是我们已经知道它必须具有的许多性质。我们在后面的章节中将会看到，关于量子引力论应做出的预言，我们已经知道得相当多了。

现在，如果你相信宇宙不是任意的，而是被明确的定律制约的，你最终必须把部分理论结合成一个完备的统一理论，它描述宇宙中的万物。但是，在寻找这样一个完备的统一理论时，存在一个基本矛盾。在上述有关科学理论的思想中，假定我们是理性的生物，可以随心所欲地观测宇宙，并且从看到的事物中得出逻辑结论。在这样的方案中可以合理地假定，我们可能不断地趋近制约我们宇宙的定律。然而，如果的确存在一个完备的统一理论，它也很可能决定我们的行动——于是，理论本身会决定我们寻求它的结果！而为什么它必须决定我们从这些证据得到正确的结论？难道它不会同样地决定我们得出错误的结论吗？或者根本没有结论？

对于这一诘问，我们仅能给出的回答是基于达尔文的自然选择原理之上的。其思想是，在任何自我繁殖的有机

组织群体中，不同个体的遗传物质和成长存在变异。这些差别意味着，某些个体比其他个体更能得出有关它们周围世界的正确结论并相应地行为。这些个体就更可能存活并繁衍，这样他们的行为和思想模式就会处于优势。下面这一点在过去肯定是真的，我们称做智慧和科学发现的东西传递存活的优势。这种情况是否仍然如此，就不清楚了：我们的科学发现可以轻而易举地把我们所有人都消灭掉，而且即使它们没有这样，一个完备的统一理论对我们存活的机会并没有多大影响。然而，假如宇宙以规则的方式演化至今，我们可以预料，自然选择赋予我们的推理能力，对于我们寻找完备的统一理论方面也会有效，因此，这样就不会误导我们去得到错误的结论。

因为我们已经拥有的部分理论，对除了最极端之外的所有情形都可以做出精确的预言，为了实用的原因，似乎没有太多的理由去寻求宇宙的终极理论。（值得注意的是，虽然类似的议论也可以用来反对相对论和量子力学，然而这些理论给我们既带来了核能，又带来微电子学革命。）因此，发现完备的统一理论也许无助于我们人种的存活。它甚至对我们的生活方式毫无影响。但是自从文明肇始以来，人们总是不满足于把事件视做互不相关和神秘莫测的。我们渴求理解世界的根本秩序。今天我们仍然渴望知道，我们为何在此，以及我们从何而来。哪怕仅仅出于人类对知识的最深切渴求，我们就应该继续探索。而我们的目标不多不少，正是完整地描述我们生活于其中的宇宙。

· 第 4 章 ·

牛顿之宇宙

我们现在有关物体运动的观念，可以追溯到伽利略和牛顿。在他们之前，人们相信亚里士多德。他说物体的自然状态是静止的，只有当它受到力或冲量的作用时才运动。因为更重的物体受到更大的朝向地面的拉力，由此推断出，相对于较轻的物体，更重的物体下落得更快。亚里士多德传统还持有这样的观点，人们可以单凭思维即能得出制约宇宙的所有定律：没有必要用观测去检验。所以在伽利略之前，没人费功夫去检查不同重量的物体是否的确以不同速度下落。据说伽利略从意大利的比萨斜塔释放重物，用来证明亚里士多德的信条是错误的。这个故事几乎可以肯定不是真的，但是伽利略确实做了某些等效的事：他让不同重量的球从光滑的斜面上滚下。这情形和重物垂直下落相似，但是由于速度比垂直下落更小，所以更容易观测。伽利略的测量表明，不管每个物体的重量为多少，它们都以相同的速率增加速度。例如，如果你在一个沿着每走 10 米下降 1 米的斜面上释放一个球，不论该球有多重，1 秒之后它沿斜面运动的速度大约为每秒 1 米，2 秒之后为每秒 2 米，等等。当然一个铅球比一片羽毛会下落

得更快，但是这仅仅是因为空气阻力减缓了羽毛下落的速度。如果你释放两个没有受太大空气阻力的物体，比如两个不同的铅球，它们就会以同样的速度下落（我们很快就会明白它的原因）。在月球上没有空气减缓物体下降的速度，航天员大卫·R·斯各特进行过羽毛和铅球实验，并且发现它们的确同时落到月面上。

牛顿将伽利略的测量当做他的运动定律的基础。在伽利略实验中，当物体沿着斜坡滚下时，总是受到同样的力（它的重量），而该力使它恒定地加速。这表明，力的真正效应总是改变物体的速度，而不像早先以为的那样仅仅是使之运动。这还意味着，只要物体不受到任何力的作用，它就会以相同的速度保持直线运动。1687年牛顿在《自然哲学的数学原理》首次明确地陈述了这个思想，它称做牛顿第一定律。牛顿第二定律指出，当力作用到一个物体上时会发生什么。该定律陈述道，物体将会加速，或者改变其速度，其改变率和力成正比。（例如，如果力加倍，则加速度就加倍。）物体的质量（或者物质的量）越大，则加速度就越小。（同样的力作用于具有2倍质量的物体将产生一半的加速度。）小轿车可以提供一個熟知的例子：发动机越强有力，则加速度就越大；但是对于同样的发动机，小轿车越重，则加速度就越小。

除了描述物体对力如何反应的運動定律之外，牛顿引力论还描述了如何确定一种特殊种类的力，即引力的强度。正如我们说过的，该理论陈述，任何两个物体都相互吸引，其引力与每一物体的质量成正比。这样，如果其中一个物体（比如说，物体A）的质量加倍，则两物体间的力就变成2倍强。这是可以预料得到的，因为人们可以把这新物体A认为由两个物体组成，每个物体都具有原先的质量。其中的每个用原先的力来吸引物体B。于是，A

和 B 之间的总力应该是原先的力的 2 倍。而且，比如讲，如果其中一个物体具有 6 倍质量，或者，一个具有 2 倍质量而另一个具有 3 倍质量，那么它们之间的力就有 6 倍强

现在你可以看到，为何所有物体以同样速度下落。根据牛顿引力定律，具有 2 倍重量的物体将受到往下拉的 2 倍的引力。但是它也有 2 倍的质量，这样按照牛顿第二定律，每单位力的加速度将被减半。根据牛顿定律，这两个效应刚好相互抵消掉因此，不管物体的重量多少，它的加速度相同。

牛顿引力定律还告诉我们，物体相离越远，引力就越



复合物体的引力吸引

如果物体的质量加倍，它的引力也加倍。