01
地　球

1.1 人类如何确定地球的形状和大小？

这场漫游太阳系的旅程，始于一张尽人皆知的图片。它就是我们打开微信时看到的那张初始图片的背景图。这是一张相当有名的太空摄影照片，名叫“蓝色弹珠”，是由阿波罗 17 号的宇航员于 1972 年 12 月 7 日在太空中拍摄的。显然，图中的那个蓝白相间的大圆球，就是我们的家园——地球（图 1.1）。

图 1.1　蓝色弹珠

质量：5.972×10^{24} 千克

体积：1.083×10^{21} 立方米

与太阳的平均距离：1.496×10^{8} 千米

在太空中，很容易看出我们的家园是球形的。不过在压根去不了太空的古代，人们最早是如何得知大地是球形的?

很多中小学教科书中都是这么说的：1519 年 9 月 20 日，航海家麦哲伦率领着一支船队，从西班牙的塞维利亚港扬帆起航；他们一直向西航行，花了近 3 年的时间，又返回了塞维利亚港，从而首次证明大地其实是球形的。

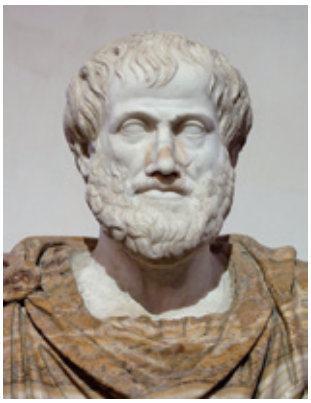


图 1.2　亚里士多德

但我要告诉你，历史并非如此。早在麦哲伦环游地球的 1800 多年前，古希腊人就已经知道大地是一个大圆球了。世界上第一个科学论证出大地必然呈球形的人，是古希腊大哲学家亚里士多德（图 1.2）。

亚里士多德是历史上最博学的人，或许没有之一。

公元前 384 年，亚里士多德出生在古希腊北部的一个叫马其顿的小国。他爸爸是马其顿国王的宫廷御医，但在他很小的时候就去世了。17 岁那年，亚里士多德进入了雅典的柏拉图学院。在那里，他得到了古希腊著名哲学家柏拉图的赏识，并被后者称为“学院之灵”。

不过亚里士多德是一个很有主见的人，对柏拉图的学术观点并未全盘接受。有一次学院集会，亚里士多德甚至当着众人的面毫不客气地批驳了柏拉图的观点。有些人跳出来指责他不尊敬老师。没想到，亚里士多德直接回应了一句千古名言：“吾爱吾师，更爱真理。”

柏拉图去世后，亚里士多德离开他生活了 20 年的雅典，在马其顿找了一份教书的工作。他有个学生是一个矮个子的 13 岁男孩。过了没几年，全世界都将在这个男孩的脚下颤抖，因为他就是威名赫赫的亚历山大大帝。

此后的数年时间，亚里士多德一直陪伴在亚历山大的身边。除了向这个男孩传授科学文化知识，亚里士多德还致力于培养他征服世界的野心。事实上，他甚至教导亚力山大要成为“希腊人的领袖和野蛮人的暴君，把前者视为亲朋好友，而把后者视为飞禽走兽”。

8 年后，亚历山大继承了马其顿的王位，并且很快就征服了古希腊的所有

城邦。不久之后，亚里士多德作为国王的特使重返雅典，并在那里建立了自己的学院。

在雅典，亚里士多德很快就确立了在学术界泰斗的地位。基于自己的讲课笔记，他撰写了大量的学术著作；这些著作覆盖了当时人类所能涉及的一切领域，这也让亚里士多德成为世界上最博学的人。在其中一部名叫《论天》的著作中，亚里士多德第一次科学论证了为什么大地是一个圆球。

他是怎么发现这件事的呢？其实很简单。众所周知，在有太阳的日子里，我们总能在地面看到自己的影子。这是由于我们的身体挡住了太阳光，让它无法照射到我们身后地面的缘故。更重要的是，我们影子的形状和我们身体的形状差不多。换句话说，只要能知道一个物体影子的形状，就能大致推断出这个物体本身的形状。亚里士多德就想了，既然我们看不到整个大地的形状，那我们能不能看到大地影子的形状呢？答案是可以。只要发生了月全食，我们就能看到大地的影子。

图 1.3 就展示了其中的原理。如果地球运行到太阳和月球之间，就能挡住太阳光直接射向月球的路线。这样一来，地球的影子就会投射到月球之上。

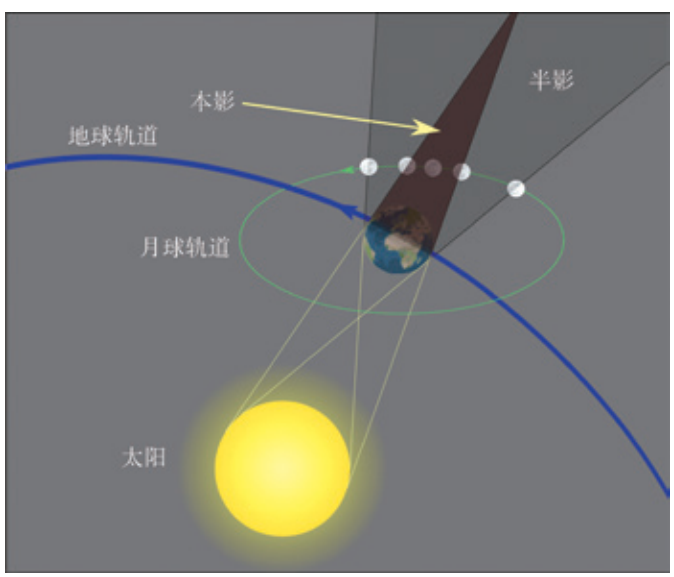


图 1.3　月食原理图

2018 年 1 月 31 日的晚上，就发生了一场中国绝大部分地区都能看到的月

全食。图 1.4 是一位网友用多台摄像机的素材拼合而成的。图中红色的圆球是月全食，而白色的圆球是月偏食。在这张图片的正中间可以看到一个黑色的圆形区域，那就是地球的影子。很明显，它是圆形的。

图 1.4　2018 年 1 月 31 日观测的月全食

在亚里士多德的时代，当然拍不出这么清晰的照片。但观察了数次月全食之后，亚里士多德还是发现了一件很有意思的事情：在发生月全食的时候，遮住月球的黑斑，其边缘总是呈圆弧形。据此，他推断出大地的影子应该是圆的；换言之，地球本身应该是球形的。

在接着游览地球之前，不妨说几句题外话。看了月全食的图片后，可能你会产生这样的疑问：“在月全食期间，太阳光已经被地球挡住了，那就应该完全看不到月球。但实际上，我们会看到一个红色的月球。这是怎么回事呢？”

为了回答此问题，让我们先从正常情况下看到的月球说起。众所周知，月球本身是不发光的，只能反射太阳光。太阳光的频率覆盖了可见光的所有频率区间。

换句话说，无论是红橙黄绿青蓝紫，太阳光里都应有尽有。平时，这些不同频率的可见光，会经过月球的反射后射入我们的眼里；因为所有频率的可见光混合之后会变成白光，所以我们就会觉得月球发出的是白光。

那为什么在月全食期间，月球会变成红色的呢？奥秘在于地球的大气层。在日常生活中，我们经常能看到光的折射现象。它说的是，光从一种媒介进入另一种媒介以后，其运动方向会发生改变。比如说，光要是从空气中进入水中，其运动方向就会改变（图 1.5）。同样的道理，太阳光从真空中进入地球的大气层以后，也会发生折射。这样一来，原本照不到月球的太阳光，就会向地球阴影区域内发生偏折；等它照到月球上以后，又会反射到我们的眼睛里。这就解释了为什么在月全食的时候还能看到月球。

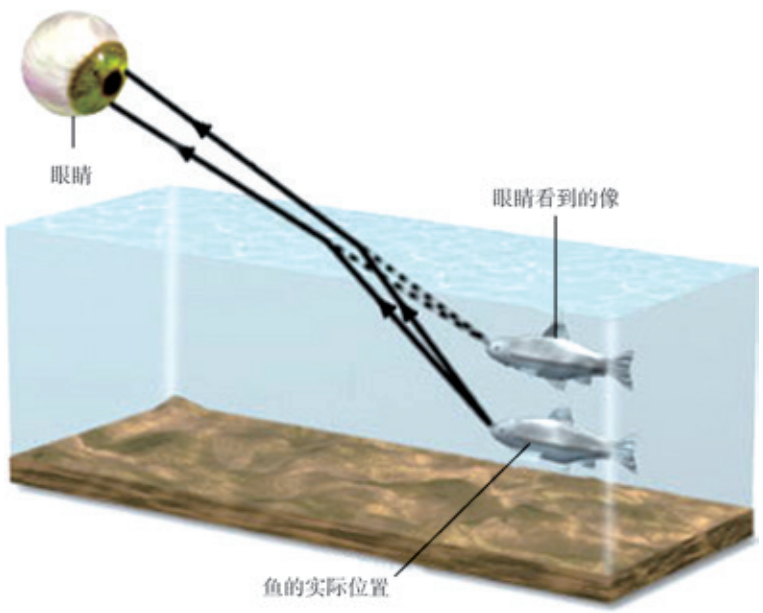


图 1.5　光的折射

除了能让太阳光发生折射，地球的大气层也能让太阳光发生散射。说得简单一点，地球的大气层会吸收部分太阳光，然后再把它们射向四面八方。很明显，被散射掉的太阳光就无法再照到月球上了。至于入射光是否会被散射，与它的波长密切相关：波长较短的蓝光，很容易就会被散射掉（这就是为什么我们看到的天空是蓝色的）；而波长较长的红光，则几乎不会受到影响。所以，当太阳光在

地球大气层中穿行的时候，波长较短的蓝光会被散射掉，只留下波长较长的红光。这些红光会向地球阴影区域发生偏折，被月球反射后又射入我们的眼里。这样一来，在月全食期间，我们自然就会看到红色的月球了。

图 1.6 埃拉托色尼

说完了地球的形状，下面我们再来聊聊人类如何测出地球的大小。事实上，世界上第一个准确测出地球大小的人也是一个古希腊人，他就是著名哲学家埃拉托色尼（图 1.6）。

与亚里士多德一样，埃拉托色尼也是一个全才，在包括数学、物理、天文、诗歌、戏剧在内的诸多领域都作出了举足轻重的贡献。更重要的是，他最早提出了地理学这个名词，与大家熟知的经度、纬度的概念，因而被后世称为“地理学之父”。

这样的顶级大牛，人生之路肯定顺风顺水吧？错了。在雅典求学的时候，埃拉托色尼一直被别人戏称为“千年老二”。不过这个绰号一点也没有冤枉他。因为那个始终胜他一筹的人，就是被后世称为“力学之父”的阿基米德。

眼看自己超不过阿基米德，埃拉托色尼选择远走他乡，去埃及做了亚历山大图书馆的馆长。在那里，他终于找到了自己的用武之地。

埃拉托色尼上任之初，世界上藏书最多的图书馆还在古希腊。当然，在那个尚未发明印刷术的年代，所有的书都是手稿。在埃及法老的支持下，埃拉托色尼向古希腊的那些大图书馆付了很多钱，把它的藏书都借到埃及，好让自己的馆员抄写副本。这些副本临摹得特别好，完全达到以假乱真的程度。所以还书的时候，埃拉托色尼就特别奸诈地只还了那些书的副本，而把真品都留在了自己的图书馆里。靠着这样的手段，亚历山大图书馆很快成了当时全世界最大的图书馆。

在管理图书馆之余，埃拉托色尼也会利用图书馆的资源进行学术研究。他一生中最有名的研究工作，就是测出了地球的周长。

公元前 2 世纪的埃及南部，有一个叫赛伊尼的城市；它今天叫阿斯旺，是著名的阿斯旺大坝的所在地。在赛伊尼，有一口很有名的深井；在夏至日的正午时

分，太阳光恰好可以直射井底。这意味着，此时此刻太阳正好处于赛伊尼的正上方；换言之，太阳与地球球心的连线恰好与这口井的井口垂直（用今天的眼光来看，之所以会有这样的现象，是因为西恩纳位于北回归线的缘故）。这个现象很有名，每年夏至日都能吸引不少的游客。而埃拉托色尼发现，还可以用它来测量地球的周长。

听起来似乎很玄幻，是吧？其实只要用一点最简单的几何学知识，就可以把它说清楚。

图 1.7 就是埃拉托色尼测量地球周长的原理图。此图展示了夏至日的正午时分，太阳光照射埃及的情况。

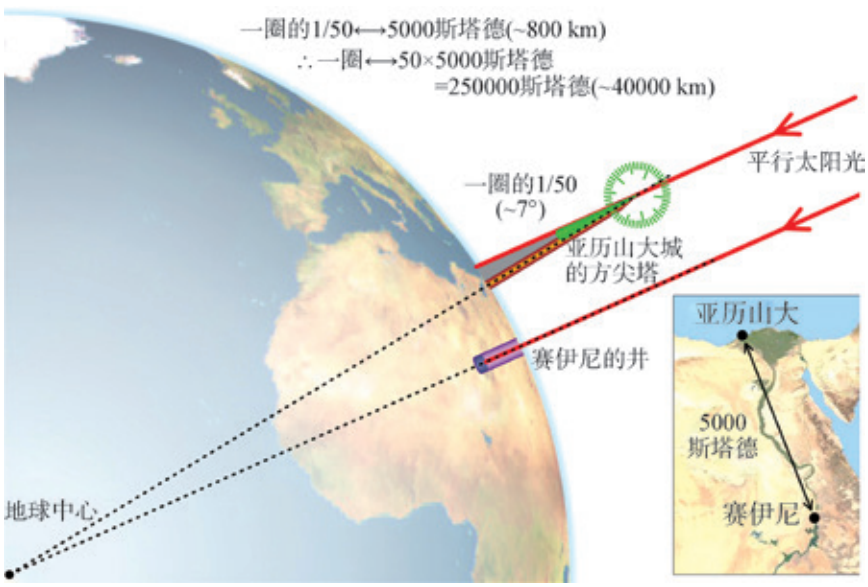


图 1.7　测量地球周长原理图

图中的紫色圆柱就是赛伊尼的那口深井。前面说过，在夏至日的正午时分，红色平行线所代表的太阳光可以直射到这口深井的井底。这意味着，这束直射井底的太阳光可以穿过地球的球心。与此同时，埃拉托色尼在亚历山大城测量一个很高的方尖塔（即橙色长条）的阴影长度，并以此算出这个方尖塔与太阳光之间的夹角（即绿色夹角）约为 7.2 度。运用简单的初中几何知识，可以知道此夹角恰好等于赛伊尼与亚历山大市之间的那段圆弧相对于地球球心的角度。因为环绕

地球一圈的圆弧的角度是 360 度，所以这两座城市之间的距离约为地球总周长的 1/50。

然后，埃拉托色尼派出了一个埃及商队，用尺子一点点地量出赛伊尼和亚历山大城之间的距离，结果大概是 5000 斯塔德。这样一来，埃拉托色尼就测出了地球的周长，约为 25 万斯塔德。

古埃及人的 1 斯塔德，相当于现代人的 157 米。所以埃拉托色尼的测量结果，换算成今天的长度单位，就是 39 250 千米。不妨拿它和今天的结果做一下对比。根据地球卫星的测量结果，地球的周长是 40 076 千米。换言之，2200 多年前埃拉托色尼用尺子测出的地球周长，与今天科学家用卫星测出的结果，只有区区 2% 的误差。

我们来做个总结。早在 2300 多年前，亚里士多德就通过对月全食的观察，发现了地球的影子是圆形的，进而推测出地球本身是球形的。而在 2200 多年前，埃拉托色尼则利用尺子和一点基本的几何学知识，测出了地球的周长是 39 250 千米，这与今天用地球卫星测出的结果只有 2% 的误差。显然，即使在什么观测条件都没有的古代，人类依然可以靠智慧创造出令人难以置信的奇迹。

前面我已经介绍了人类如何确定地球的形状和大小。下一节要讲一个在科学史上更有影响力的问题，即人类如何测出地球的质量。

1.2 人类如何测量地球的质量？

地球质量的测量，在科学史上具有举足轻重的地位。为了讲清楚此事的来龙去脉，让我先从一次著名的打赌事件说起。

1683 年的一天，三位英国皇家学会的院士在伦敦聚会，然后约在一起吃晚饭。这三人分别是埃德蒙多·哈雷、罗伯特·胡克和克里斯托弗·雷恩。

前两人的名字可能会让你觉得颇为耳熟。埃德蒙多·哈雷就是哈雷彗星的那个哈雷，而罗伯特·胡克则是胡克定律的那个胡克。这两人都是科学史上的巨人，其科学成就远远不止于此。在后面的旅程中，我会详细地介绍他们的科学贡献。

而名气较小的克里斯托弗·雷恩，早年是牛津大学的天文学教授。但在 1666 年，伦敦发生了一场大火，把整个伦敦城区都付之一炬。在英国国王的任命下，雷恩主持了灾后重建的工作；从那以后，他就转行当了一名建筑师。英国有很多有名的建筑，例如圣保罗大教堂、格林尼治天文台和剑桥图书馆，都是雷恩的作品。虽然雷恩后来已经不怎么做天文学方面的研究了，作为英国皇家学会的元老，他还是于 1680 年当选为英国皇家学会的会长。

晚饭期间，三位院士聊到了太阳系天体的运动。早在 17 世纪初，大天文学家开普勒就已经发现太阳系的各大行星都在沿椭圆轨道绕太阳旋转。但大半个世纪过去了，一直没人能解释为什么它们的运动轨道会是椭圆形的。雷恩就在这个饭局上发起一个赌约：要是有人能解释行星为何会沿椭圆轨道运动，他就奖励那人 40 先令，这相当于当时一个大学教授半个月的薪水。

顺便说一句。以今天的眼光来看，这完全是个搞笑性质的赌约。要别人解决全世界最大的科学难题，所给的奖励竟只有一个大学教授半个月的薪水。

胡克是个吹牛大王，当场表示他已经解决了这个问题。不过，他不愿意立刻公布这个问题的答案。他的理由是，要是太早公布答案，就会剥夺别人寻找答案的乐趣。当然，这次晚饭之后，胡克就把要公布答案的事给“忘了”。

但哈雷对这个问题着了迷。他不相信胡克能找到问题的答案，但他知道这世

上确实有一个人，有能力破解其中的奥秘。所以在1684 年 8 月的一天，哈雷专程前往剑桥大学，去拜访这个神龙见首不见尾的绝世高人。想必你已经猜到了，这个注定要改变历史进程的高人，就是大名鼎鼎的艾萨克·牛顿（图 1.8）。

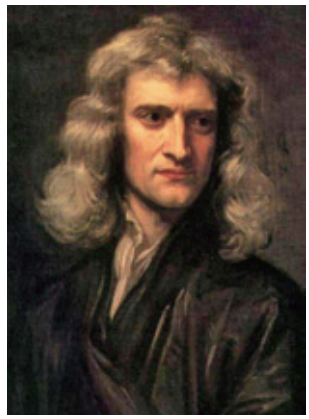


图 1.8 艾萨克·牛顿

牛顿是有史以来最伟大的两位科学家之一。他是世界上第二个被册封为爵士的科学家（第一个是弗朗西斯·培根），也是世界上第一个享受国葬待遇的科学家。法国启蒙思想家伏尔泰目睹了牛顿的葬礼，并在回忆录中写道：“英国人悼念牛顿就像悼念一位国王。”后世对牛顿有数不清的赞美。其中流传最广的是英国诗人亚历山大·蒲柏的一首诗：Nature and nature's laws lay hid in night; God said “Let Newton be” and all was light.（道法自然，旧藏玄冥；天生牛顿，万物生明。）

世界上有很多惊天动地的大事，都源于一些相当不起眼的小事。牛顿之所以能获得如此的盛名，很大程度上就源于哈雷的这次拜访。

在继续讲故事之前，让我们先来简单地回顾一下 17 世纪人们对引力的研究。现在我们已经知道，任意的两个物体间都存在引力，且引力的大小与这两个物体的质量成正比，而与它们距离的平方成反比，这就是引力的平方反比律。

现在很多教科书都说，引力的平方反比律是牛顿提出的。事实上，这种说法是错的。早在 1645 年，也就是牛顿出生后的第 3 年，法国天文学家布利奥（图 1.9）就提出了这个平方反比律。不过布利奥犯了一个很大的错误：他误以为两个物体之间有时存在引力，有时又存在斥力。

随后，意大利物理学家博雷利（图 1.10）也在自己的书中猜测，太阳系的所有行星都受到了太阳的引力，且太阳的引力满足平方反比律。

到了 17 世纪 70 年代，胡克也开始大力宣扬平方反比律；他甚至在一封私人通信中，向牛顿大力宣扬了这个理论。但类似于布利奥和博雷利，胡克同样无法证明平方反比律的正确性。

为什么胡克等人都无法证明平方反比律是正确的呢？答案其实很简单。前面说过，早在 17 世纪初，开普勒就提出了著名的开普勒三定律，揭示了太阳系的

图 1.9　布利奥

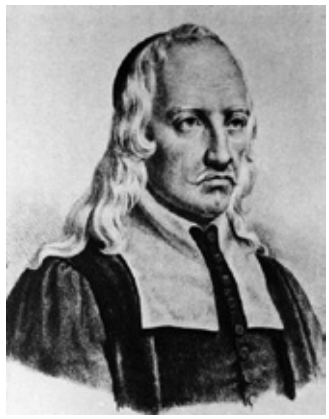


图 1.10　博雷利

各大行星都在沿椭圆轨道绕太阳旋转。要想证明引力的平方反比律，就得证明受到这种引力的行星，其运动轨道一定是一个椭圆。换句话说，就是要从平方反比律出发，最后推导出开普勒三定律（图 1.11）。但问题在于，要想达到这个目的，就必须使用当时还不存在的一种数学工具，那就是微积分。

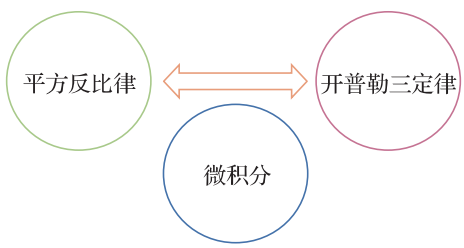


图 1.11　科学史上最有名的难题

说到这里，你就能明白牛顿的特殊之处了。作为微积分的发明者，牛顿是当时全世界唯一一个有能力破解这个超级世纪难题的“天选之人”。

但牛顿有一个怪癖：他不喜欢发表自己的研究成果。因此，尽管他早已破解了这个科学史上大名鼎鼎的世纪难题，却一直秘而不宣。要是没有意外，它很可能会被当成一个秘密，被牛顿带进坟墓。

因此，1684 年 8 月的这次哈雷和牛顿的会面，就成了一个真正意义上的历史转折点。整个人类科学史，甚至是整个人类文明史，就此改写。

寒暄了几句后，哈雷就开门见山地问牛顿：“如果太阳与其他行星间的引力满足平方反比律，那么这些行星的运动轨道将会是什么样的？”

牛顿不假思索地回答道：“当然是个椭圆。”

哈雷大为惊讶，马上追问：“你是怎么知道的？”

牛顿泰然自若地回答道：“我早就算过了。”

激动不已的哈雷，马上要求看牛顿的计算过程。而牛顿在故纸堆里翻了半天，什么也没有找着。不过，他答应哈雷，会重新计算一遍，并把它写成一篇论文。

两年后，牛顿兑现了自己的诺言。事实上，他所做的比他承诺的要多得多。他交给哈雷的不是一篇论文，而是一本书，那就是《自然哲学的数学原理》（图 1.12）。在这部有史以来最伟大的学术著作（没有之一）中，牛顿基于欧几里得开创的公理化体系，提出了牛顿力学三定律和万有引力定律，从而完成了物理学史上的第一次革命。

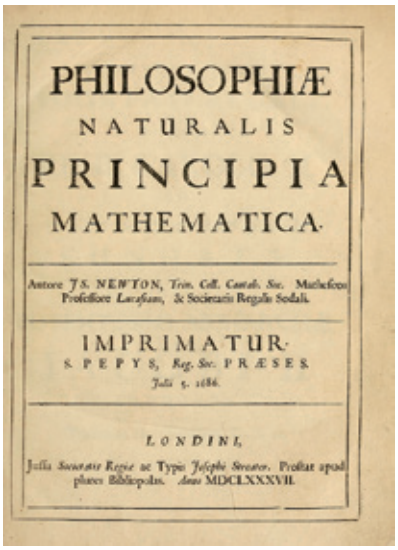

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA
Autore IS. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.
IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.
LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

图 1.12 《自然哲学的数学原理》

这本书让哈雷佩服得五体投地。此后他逢人便说，牛顿是这个世界上最接近神的人。持类似观点的人还有后来与牛顿争夺微积分发明权的大数学家莱布尼茨。他曾说过，牛顿在科学上的贡献超过以前所有人的总和。

事实上，哈雷对人类文明最大的贡献就是促成了《自然哲学的数学原理》这本书的出版。英国皇家学会本来已经同意出版这本书，但没过多久又变卦了。这是因为皇家学会刚刚在一本叫《鱼类志》的书上赔了很多钱，怕在一本极度晦涩难懂的书上继续赔钱。所以哈雷干脆自掏腰包，垫付了这本书的全部出版费用。1687 年，这部划时代的科学巨著正式出版。这让牛顿立刻名满天下，从而直接登上了科学的神坛。

一次饭局上的打赌，最后竟然促成了有史以来最伟大的学术著作的出版。这应该算是蝴蝶效应的最佳例证了。

顺便说件比较搞笑的事情。皇家学会由于在《鱼类志》上赔钱太多，无力支付哈雷为学会当秘书的工资，所以就把一些卖不出去的《鱼类志》寄给他当薪水。

言归正传。知道了万有引力的概念以后，我们就可以讲讲该如何测量地球的

质量了。

众所周知，地球上的所有物体都会受到重力的作用，而这个重力源于整个地球对它的万有引力。这可以用一个非常简单的公式来描述：

$$\frac{GMm}{R^2} = mg$$

这个公式的左边是物体受到的万有引力，右边则是它受到的重力。其中的 m 是物体的质量，化简时可以消掉；g 是重力加速度，约等于 9.8 米 / 秒 ^{2}；R 是地球的半径，约等于 6400 千米（上一节已经讲过如何测量地球的周长，由此可以推算出地球的半径）。这样一来，不知道的物理量就只剩两个：牛顿引力常数 G 和地球质量 M。换言之，只要能用别的办法测出牛顿引力常数，就可以算出地球的质量。

而世界上第一个测出地球质量的人，是英国物理学家亨利·卡文迪许（图 1.13）。

图 1.13　亨利·卡文迪许

卡文迪许有两个非常鲜明的特点。第一，他完全不追求任何名利，不管做什么事都是从个人兴趣出发。这倒不奇怪，因为他本身就是全英国最富有的大贵族之一，根本用不着再去追求什么名利了。

第二，他患有非常严重的社交恐惧症。严重到什么地步呢？他不愿意与任何人见面，就连他的管家也只能通过书信的方式来和他交流。卡文迪许只参加一个社交活动，那就是在博物学家班克斯家里举行的每周一次的科学界聚会。但所有想和他交流的人，都必须使用对待“隐形人”的交流方式。也就是说，你得漫不经心地晃悠到他的附近，在不看他的情况下，对他身边的空气讲话。要不然，卡文迪许就会尖叫一声，然后逃到没人的地方。

这两个特点导致了一个非常诡异的后果：卡文迪许一生中做出了一大堆相当重要的科研成果，但只是把它们写进手稿，而没有写成论文发表。在不愿发表论文这件事上，他比牛顿还要极端。结果这些科研成果后来又被其他人重新发现，然后被冠以那些人的名字。比如说，大家在中学物理课本上学过的库仑定律、欧

姆定律和道尔顿定律，其实都是卡文迪许最早发现的。

当然，凡事总有例外。卡文迪许一生中做过的最有名的科学实验，也就是对引力常数 G 的精确测量，最初的创意却不属于他，而属于一个名叫约翰·米歇尔的牧师。

由于米歇尔没有留下任何画像，没人知道他具体长什么样；只有一些文字记载告诉我们，他是一个身材矮小、皮肤黝黑的胖子。但这个其貌不扬的人，却有一段不平凡的过往。他曾在剑桥大学皇后学院任教多年，还曾当上了这个学院的学监。但由于一些意外的变故，他不得不辞去剑桥大学的职位，跑到外地去做了一个教堂的主管。

米歇尔最早提出，有可能存在一种质量特别大的恒星，其引力强到就连光也无法从它的周围逃逸。这样一来，人们就永远看不到它。米歇尔把这种看不见的恒星称为“黑星”。这就是著名的“黑洞”概念的起源。

他也自己做了一套实验装置，想要用它测量引力常数 G 的大小。可惜的是，米歇尔还没来得及做这个实验，就因病去世了。这套装置几经辗转，就到了卡文迪许的手里。1797 年，卡文迪许对它进行了改进，然后用它完成了著名的卡文迪许扭秤实验。

图 1.14 就是卡文迪许扭秤实验的原理图。可以看到，此装置有一个倒 T 形的轻杆，它下面的两端连着两个质量相同、均为 m 的小球，而从中间伸出去的那端则连着一个小平面镜。把这套装置悬挂起来，然后用一束光去照那个平面镜；这束光会被平面镜反射，然后打到旁边的一把尺子上。

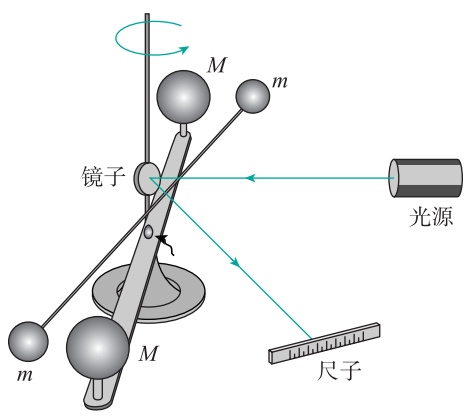


图 1.14　卡文迪许扭秤实验

接下来，在这两个小球的旁边，再放置两个质量一样、均为 M 的大球。由于大球的引力，悬挂着的倒 T 形杆会发生一个微小的偏转。这样一来，入射光与平面镜之间的夹角会发生一个微小的改变，从而使光线打到尺子上的位置发生一定的偏移。通过测量这个位置的偏移，就可以计算出大球与小球之间的引力大小，进而测出牛顿引力常数 G。

这个实验的精妙之处在于，它把非常难测的引力大小，转化成了容易测的位置变化，从而让牛顿引力常数的精确测量成为可能。

利用这套装置，卡文迪许测得的牛顿引力常数是 6.754×10^{-11} 牛・米^2・千克$^{-2}$。而今天，最新的引力常数测量值是 6.674×10^{-11} 牛·米^2·千克$^{-2}$。换言之，卡文迪许在 200 多年前测出的结果，与目前最新的结果相比，只有区区 1% 的误差。

用这个牛顿引力常数的测量值，可以算出地球的质量大概是 6×10^{24} 千克。

我们来做个总结。由于一场饭局上的赌局，哈雷于 1684 年 8 月来到剑桥大学，拜访了离群索居的牛顿。此次拜访就像第一张倒下的多米诺骨牌，最终促成有史以来最伟大的学术著作，即《自然哲学的数学原理》，在 1687 年正式出版。在这本巨著中，牛顿提出了万有引力定律，从而为测量地球的质量带来了曙光。1797 年，卡文迪许通过扭秤实验，相当精确地测出了牛顿引力常数的大小，进而算出地球的质量大概是 6×10^{24} 千克。

早在 18 世纪末，人类就已经测出了地球的质量。你可能会觉得，那么下一个课题，也就是地球年龄的测定，应该就不是什么难事了吧？大错特错。事实上，一直要等到 1955 年，也就是人类发明计算机和原子弹的 10 年后，才有人准确地测出了地球的年龄。

1.3 人类如何测出地球的年龄?

关于地球年龄的测量，让我们从一个著名物理学家被打脸的故事说起。

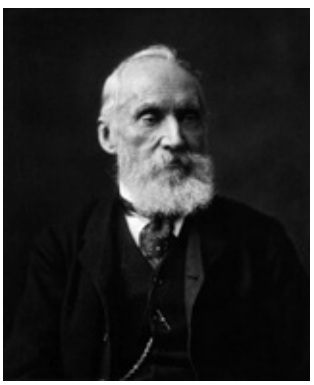


图 1.15 开尔文勋爵

在所有的自然科学中，最“硬”、最能揭示世界本质的，无疑是物理学。换言之，如果物理学家与其他学科的科学家就某个科学问题发生争执，一般都是物理学家笑到最后。但凡事总有例外。物理学家也曾被其他学科的科学家狠狠地打过脸。其中最典型的被狠狠打脸的例子，就是英国著名物理学家开尔文勋爵 (图 1.15)。

开尔文勋爵原名威廉·汤姆森，1824 年出生在英国一个知识分子的家庭。他是一个神童，10 岁就考上了格拉斯哥大学，22 岁就当上格拉斯哥大学的教授。终其一生，他发表了 660 多篇科学论文。更重要的是，他是热力学的开创者之一，对热力学第一定律和第二定律的建立作出了重大的贡献；此外，他还发明了后来以他自己名字命名的绝对温标。这让他成为 19 世纪最有名的物理学家之一。

除了在学术界享有盛名，汤姆森也是一个非常成功的企业家。他成立了一家公司，专门生产和销售自己发明的一种航海罗盘；很快地，这家公司就成为英国海军最大的供应商，让他赚了很多钱。此外，他还成立了一家电力公司；所以他的家，就成为整个格拉斯哥市第一栋装上电灯的房子。更有影响力的是，他领导着一家公司，成功地铺设了第一条跨越大西洋的海底电缆。

由于在学术界和工业界的杰出贡献，1892 年威廉·汤姆森被英国皇室册封为第一代开尔文男爵 (“开尔文”原本是一条流经格拉斯哥大学的河流的名字)。不过，人们更习惯称他开尔文勋爵。

当然，金无足赤，人无完人。开尔文勋爵也曾摆过两次乌龙。最有名的一次

乌龙发生在世纪之交的 1900 年。在那年的一次演讲中，开尔文勋爵公然宣称物理学的大厦已经建成，剩下的只是一些修修补补的简单工作。虽然他提到在物理学的天空上还飘浮着两朵乌云，但是他认为那只是两个用不了多久就能彻底解决的小问题。事实证明他大错特错。在 20 世纪初，那两朵乌云变成了两座全新的物理学大厦，即相对论和量子力学。这件糗事甚至被写进了不少国家的初中课本，让开尔文勋爵至今还受世人的嘲笑。

开尔文勋爵摆过的另一次乌龙就是他对地球年龄的错误估算。他是用热力学的方法估算地球年龄的：假设地球最初是一个巨大的火球，随着时间的推移，这个火球就由外向内逐渐冷却，从而变成今天的样子；而这个冷却的时间，就是地球的年龄。1862 年，他发表了一篇论文，宣称地球的年龄在 2 亿年到 4 亿年之间。而到了 1897 年，他又发表了一篇论文，宣称地球年龄其实是 2400 万年左右。

可能你会觉得奇怪：为什么两篇论文的结果会有天壤之别？这是因为开尔文勋爵中途意识到，基于当时的物理学理论，太阳最多只能燃烧几千万年。所以他就修改了自己的理论模型，从而大幅减小了地球的年龄。

不过，很快就有一群意想不到的人跑了出来，毫不留情地打了开尔文勋爵的脸。

著名美剧《生活大爆炸》的谢耳朵（谢尔顿，Sheldon），一位相当自负的理论物理学家，很喜欢贬损除理论物理以外的学科。他特别瞧不起地质学，甚至公然宣称地质学根本就不是一门真正的科学。很明显，他不太了解物理学史。因为跑出来怼开尔文勋爵的人，就是一群地质学家。

可能你要问了：“这群地质学家是怎么计算地球年龄的呢？”答案是：通过观察一些古老的沉积岩（图 1.16）。

在地球上，有一种很重要的岩石类型，叫作沉积岩。沉积岩的结构是一层层的，越下层的沉积岩，年代就越久远。通过研究某层岩石的沉积速度，就能计算出形成该层岩石所花费的时间；再把各层岩石的形成时间都加起来，就可以估算出形成整个沉积岩地形所花费的时间。那些地质学家就把这个时间，近似看成是地球的年龄。

图 1.16 沉积岩

很多地质学家都用这种办法估算过地球的年龄，而他们算出来的数字明显大于开尔文勋爵公布的结果。举两个例子，查尔斯·达尔文曾在第一版的《物种起源》中宣称，地球的年龄至少在 3 亿年以上；而剑桥大学三一学院的地质学家塞缪尔·霍顿更是宣称，地球的年龄高达 23 亿年。

这样一来，关于地球的年龄，就有了势不两立的两派观点。开尔文勋爵认为，地球的年龄大概只有2400万年。而地质学家则认为，地球的年龄至少有好几亿年。双方一直公说公有理，婆说婆有理。但到了 1907 年，一个人的出现，彻底打破了天平的平衡。

为了说清楚其中的道理，我要先讲一讲什么是“放射性”。所谓的放射性，就是指一些不稳定的原子核会自发地放出某些射线，然后衰变成一些稳定的原子核的现象。1896 年，法国物理学家安东尼·贝克勒尔率先发现铀元素具有放射性。两年之后，皮埃尔·居里和玛丽·居里发现钋元素的放射性更强。这三人也因此共享了 1903 年的诺贝尔物理学奖（图 1.17）。

安东尼·贝克勒尔

皮埃尔·居里

玛丽·居里

图 1.17　1903 年诺贝尔物理学奖得主

顺便多说一句。本来，评奖委员会只打算把这个奖颁发给安东尼·贝克勒尔和皮埃尔·居里两人。但皮埃尔·居里非常爱他的妻子，坚决要求把居里夫人也列为获奖者，否则他就不去瑞典领奖。在征求了贝克勒尔的意见以后，评奖委员会做出了以下的决定：贝克勒尔独得 1/2 的奖金，而居里夫妇各得 1/4 的奖金。幸好由于皮埃尔·居里的坚持，居里夫人才没有被历史埋没。

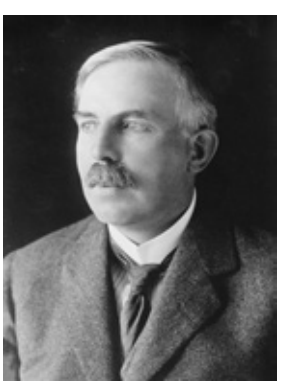


图 1.18　欧内斯特·卢瑟福

到了 1907 年，打破天平平衡之人，终于登场了。他就是英国著名物理学家欧内斯特·卢瑟福（图 1.18）。

在物理学界，卢瑟福以看不起其他学科而出名。他曾说过这样一句名言：“世界上所有的科学，不是物理学，就是集邮。”言下之意是，与物理学相比，其他自然科学都和集邮一个档次。这句话得罪了很多其他学科的科学家，其中反应最激烈的是化学家。事实上，他们甚至对卢瑟福进行了“报复”，给他发了一个诺贝尔化学奖。

在 20 世纪初，人们已经知道，对于含有放射性的元素，其部分的原子核会自发地衰变成其他元素的原子核，从而使放射性元素的质量减小。1907 年，卢瑟福发现了一个非常奇妙的现象：对所有放射性元素而言，其原子核衰变到只剩一半时所花费的时间（科学上称为半衰期）是固定不变的。比如说，100 千克的

某种放射性元素衰变得只剩 50 千克，与 50 千克的同种放射性元素衰变得只剩 25 千克，两者所花的时间完全相同。

卢瑟福的发现有很大的实用价值。比如说，如果某件古董里含有一种放射性元素，我们就可以通过测量这种放射性元素与它最后衰变成的那种元素之间的比例，来确定古董的年代。换句话说，我们可以把放射性元素的半衰期当成一个标准的时钟，来测量古老物体的年龄。事实上，要是比测量精度，无论是开尔文勋爵的热力学方法，还是地质学家的沉积岩方法，都比这种用放射性元素半衰期的方法差得远。

通过研究了一些古老矿石的衰变情况，卢瑟福发现地球的年龄至少有 7 亿年。这个结果宣告了地质学家的胜利。

更重要的是，卢瑟福的发现为地球年龄的测量指明了方向。只要能找到地球上最古老的岩石，然后再利用某种放射性元素的半衰期来计算它的年代，就可以估算出地球的年龄。当然，具体该用哪种放射性元素来测，还是一个悬而未决的问题。

下一个作出重要贡献的人是英国地质学家阿瑟·霍姆斯。霍姆斯主要关注铀元素的一种同位素铀 235。大家对铀 235 应该并不陌生，因为它后来成了制造原子弹的主要原料。铀 235 具有放射性，可以自发地衰变成铅 207；更关键的是，铀 235 的半衰期长达 7 亿年。所以它可以作为一个很理想的时钟来测量地球年龄。通过测定古老岩石中铀 235 和铅 207 的比例，霍姆斯在 1927 年发表了一篇文章，宣称地球的年龄介于 16 亿年到 30 亿年之间。而到了 1946 年，他又发表了一篇文章，宣称地球的年龄应该在 30 亿年以上。

1948 年，芝加哥大学地质学教授哈里森·布朗也对地球的年龄产生了浓厚的兴趣。但他意识到这是一个大坑，不想自己傻乎乎地往里跳。因此，布朗就把测定地球年龄的课题交给了自己的博士研究生克莱尔·彼得森（图 1.19）。为了让彼得森来跳这个坑，布朗忽悠他说这个课题“易如反掌”。结果，彼得森就这么被忽悠了进来。

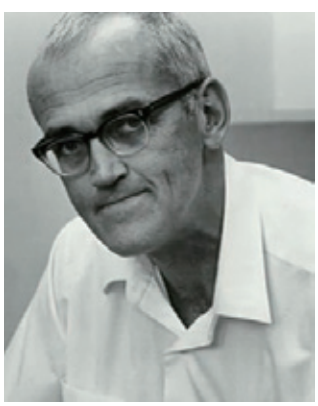


图 1.19 克莱尔·彼得森

这个世纪难题的终结者，就此登上了历史的舞台。

以前人们测量地球的年龄，都是去寻找一些特别古老的岩石。但问题在于，那些所谓的古老岩石，其实都是在地球诞生很久之后才形成的。换句话说，如果只是研究地球上的岩石，可能会大幅低估地球的年龄。

彼得森另辟蹊径，提出了一个非常大胆的猜想：从太空中掉下来的那些陨石，其实是太阳系形成初期剩下来的建筑材料，它们的内部还保留着太阳系最原始的化学组分。换句话说，这些陨石其实和地球一样古老。这样一来，只要用霍姆斯的办法，准确测出这些陨石到底存在了多少年，就能推算出地球的年龄。这个宛如天外飞仙般的奇思妙想，为解决地球年龄这个世纪难题带来了真正的曙光。

当然，通往成功的道路往往都不平坦。在实际测量过程中，彼得森遇到了一个很大的麻烦：陨石样品只要一接触到空气，样品中铅的含量立刻会显著上升；换言之，这些样品很容易受到空气中铅的污染。为了对付这个麻烦，彼得森在自己工作的加州理工学院建立了世界上第一个无菌实验室。他在无菌实验室里仔细挑选古老陨石的样品，并精确测定其中铀和铅的比例。他的努力，终于在 7 年之后获得了回报。

1955 年，彼得森在一次学术会议上正式宣布，地球的确切年龄是 45.5 亿年。这个结果，一直到现在也没有发生大的改变。在经过近百年的努力之后，人类终于测出了地球的年龄。

关于彼得森，不妨再多说几句。因为测出了地球的年龄，并不是彼得森人生的顶点。

成名之后，彼得森开始关心另一个问题：为什么大气中会含有这么多的铅？通过研究格陵兰岛上不同年代的积雪层，他发现大气中铅的含量是在 1923 年突然暴增的。而那一年，美国的三家巨无霸公司（通用汽车公司 、杜邦公司和新泽西标准石油公司）成立了一个叫作乙基汽油公司的合资企业，并开始向全世界出售含铅汽油。

从那以后，彼得森就开始了一场致力于保护环境的漫长斗争。他经常公开抨击乙基汽油公司，并呼吁政府尽快立法，以禁止含铅汽油的销售。

乙基汽油公司的反扑非常凶猛。它动用各种关系，让彼得森无法再获得任何科研经费。此外，它还向加州理工学院的董事会不断施压，想让彼得森丢掉饭碗。

这几乎是一个不可能完成的任务：一个普通人，要孤身对抗一个庞大的利益集团。幸好，彼得森没有放弃。在他的不断呼吁下，环保意识逐渐在美国民众的心中觉醒。1970 年，美国国会提出了《洁净空气法》；1986 年，美国政府禁止了一切含铅汽油的销售。在经历了几十年艰难的抗争，彼得森终于笑到了最后。

我们来做个总结。在 19 世纪末，基于热力学的研究，开尔文勋爵宣称地球的年龄应该是 2400 万年。但很快地，他就被一群地质学家打了脸；他们通过观察一些古老的沉积岩，算出地球的年龄至少有好几亿年。到了 1907 年，卢瑟福发现所有放射性元素的半衰期都固定不变；这个发现宣告了地质学家的胜利，同时也为地球年龄的测量指明了方向。20 世纪 20 年代，霍姆斯指出铀 235 的半衰期可以用来测量地球的年龄。而到了 1955 年，彼得森通过测量古老陨石中铀和铅的比例，发现地球的确切年龄应该是 45.5 亿年。在经过近百年的努力之后，人类终于测出了地球的年龄。

我已经讲完了地球的形状、大小、质量和年龄。下一节，我会聊聊地球到底具备哪些特殊的条件，从而变成了生命的绿洲。

1.4 为什么地球能成为生命的绿洲？

就目前所知，地球是唯一一个拥有生命的星球。在危机四伏、到处都是不毛之地的宇宙中，居然还存在一个如此美丽而生机勃勃的绿洲，实在是一个不折不扣的奇迹。

事实上，一个星球要想孕育出生命，是件极端困难的事情。不说其他因素，仅对这个星球本身而言，就必须同时满足以下三个条件：

第一，它必须有一个合适的质量，不能太小也不能太大。如果质量太小，它就无法靠自身引力阻止周围气体的逃逸，从而变成一颗没有大气层环绕的岩石星球；如果质量太大，它就会吸引太多的气体，从而变成一颗气态行星。在这两种情况下，生命都无法生存。

第二，它必须处于一个合适的位置，与恒星离得不能太近也不能太远。如果离得太近，星球的表面温度就会很高，让所有的水都变成水蒸气；如果离得太远，星球的表面温度就会很低，让所有的水都变成冰。换句话说，要想保证液态水的存在，这个星球必须位于一个狭小的圆环区域内，这就是所谓的宜居带。事实上，如果地球离太阳再远 5%，或者再近 15%，就会从这个宜居带里掉出去。

第三，它必须有一个合适的内部活跃程度，不能太平静也不能太剧烈。如果内部活动太平静，就不会产生地质活动，也无法形成大气和磁场；如果内部活动太剧烈，地震和火山就会持续不断地爆发，把这个星球变成一个活生生的地狱。

在接着讲地球为何是生命绿洲之前，我想先谈一个比较理论、也比较前沿的话题。

事实上，没有任何一个科学理论能决定一个星球的初始状态。换句话说，一个星球的质量、位置和内部活跃程度应该是完全随机的。既然如此，为什么地球能完美地满足这三大条件呢？

最早回答这个问题的人，是澳大利亚裔物理学家布兰登·卡特。如果你以前看过霍金的《时间简史》，应该会对这个名字有印象。事实上，卡特是英国物理

学家霍金的同门师弟，并且与霍金一起提出了著名的黑洞无毛发定理。

1973 年，卡特参加了一个纪念哥白尼 500 周年诞辰的学术研讨会。在这次研讨会上，他提出了一个影响深远的理论，那就是著名的人择原理。人择原理说的是，如果一个自然现象无法产生任何观察者，那么这个现象就不可能被观察到。这意味着，追问不可能被观察到的现象为什么不存在，是一件没有意义的事情。

有了人择原理，前面说的那个问题立刻就迎刃而解了。如果地球不满足这三大条件，地球上就不可能出现生命，也就不会出现像我们这样的智能生命来追问这个问题。换句话说，我们能追问这个问题，这本身就是这个问题的答案。

正是由于有合适的质量、位置和内部活跃程度，地球才得以长期拥有使她变成生命绿洲的三大要素，也就是海洋、大气和磁场。

让我们从地球的海洋说起。就目前所知，地球是独一无二的表面拥有液态水的星球。据科学家估算，地球拥有的总水量约为 13.76 亿立方千米，其中海水总量约为 13.35 亿立方千米，大概占地球总水量的 97%。一般来说，海水会吸收波长较长的红光、橙光和黄光，而反射或散射波长较短的绿光和蓝光，这会让大海看起来是蓝色的。由于海洋面积大概占地球总表面积的 75%，所以人们经常把地球称为蓝色星球。

众所周知，水是生命之源。现在有很多生物，没有氧气和阳光也能生活下去；但没有发现任何一种生物，能在没有水的情况下生存。事实上，地球上最早的生命，就诞生在海水之中。原因很简单。对于蛋白质之类的有机大分子而言，水是最好的溶剂。正是在液态水的环境中，这些有机大分子才可以互相混合，进而通过各种化学反应来形成复杂的结构，最终演化成真正的生命体。此外，水也是生命的很多新陈代谢活动的基础。举个例子，如果没有水，光合作用和呼吸作用就都无法再进行下去。从这个意义上讲，液态水是生命活动不可或缺的舞台。所以，地球能拥有液态水的海洋，实在是地球生命的福音。

但是，仅仅拥有海洋，还是远远不够的。因为在任何温度下，水都可以蒸发。举个例子，你要是把一盆水放在地上，时间长了，你就会发现这盆水变得越来越少，最后甚至完全消失。这是因为液态的水自发地变成了气态的水蒸气。同样的道理，海洋里的水，也会自发地变成水蒸气。如果没有其他因素阻止，这些水蒸气就会逃逸到太空中；久而久之，地球上的海洋全都会干涸。

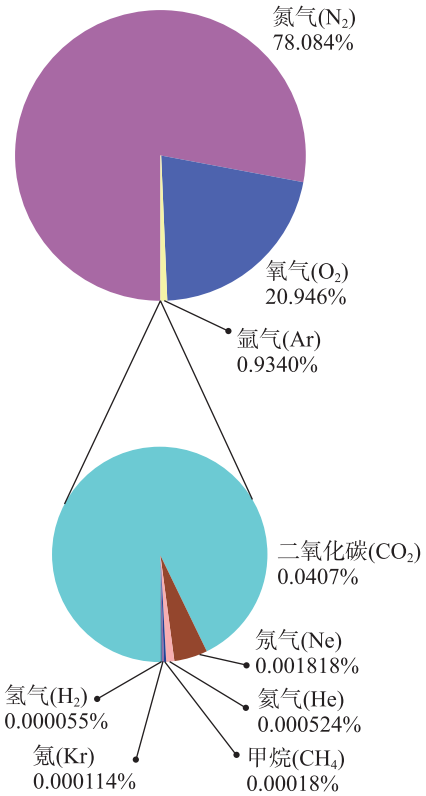


图 1.20　地球大气的组成

幸好，地球拥有阻止水蒸气逃逸的机制，那就是地球的大气。

众所周知，地球拥有一个大气层，也就是受地球引力吸引而环绕地球的一层混合气体（图 1.20）。据科学家估算，这层混合气体的总质量约为 5.15×10^{18} 千克，其中包含质量分数大约 78% 的氮气和 21% 的氧气，此外还包括氩气和二氧化碳在内的少量其他气体。

事实上，正是这个大气层阻止了水蒸气的逃逸。由于大气层的温度较低，水蒸气进入大气层以后，会遇冷而凝结成小水滴，然后再以降雨的形式返回地表。如果地球没有大气，这个水循环就会被打破；久而久之，地球表面的水就会蒸发殆尽。

事实上，地球大气还有很多其他的重要功能。比如说，地球大气中还含有一些温室气体，包括二氧化碳、水蒸气、甲烷和臭氧。温室气体最大的特点是，对波长较短的电磁波几乎没什么影响，而对波长较长的电磁波有很强的吸收能力。太阳表面的温度很高，辐射出来的电磁波能量高波长短，所以不会受到温室气体的阻碍，能顺利到达地球表面。而地球表面的温度较低，辐射出来的电磁波能量低波长长，所以会有很大一部分被温室气体拦截下来。因此，温室气体的存在能让行星表面的温度升高，这就是所谓的温室效应。据科学家估算，如果没有温室效应，地球表面的平均温度大概会下降 32℃。

此外，地球大气层中还有一个臭氧层，大致分布在与地球表面相距 20 ~ 30 千米的环形区域。臭氧层能吸收掉太阳光中 97% 的紫外线。如果没有这个臭氧层，这些高能的紫外线就会直接照射到地球表面，从而对地球生命造成严重的威胁。不是什么天体都能拥有大气层。比如说，我们熟悉的月球就没有。那到底什么样的天体能拥有自己的大气层呢？这取决于它的质量和它与太阳之间的距离。一方面，大气会受到这个天体引力的吸引，从而被束缚在此天体的周围。引力束缚的

强弱取决于天体的质量：质量越大，引力的束缚就越强。另一方面，大气又会从太阳那里获得热量，从而产生逃跑的动力。逃跑动力的大小取决于天体与太阳之间的距离：离得越近，大气逃跑的动力就越强。这两股力量一直在彼此斗争。如果引力的束缚占了上风，行星就能拥有自己的大气层；如果逃跑的动力占了上风，行星就会变成光秃秃的样子。我们的地球能拥有大气层，就是地球引力占上风的结果。不过，只是引力占上风，还不足以让一个天体一直保有大气层。地球之所以能一直保有大气层，是因为它还有一个强大的磁场。

地球磁场（图 1.21）其实是一个从地球内部一直延伸到太空中的巨大磁场。中国古代四大发明之一的指南针之所以能够辨别方向，就是由于这个地球磁场的存在。不过，地球磁场的磁轴与地球的自转轴并不重合，两者之间还存在着一个 11 度的夹角。此外，地球磁场的南北极其实与地理上的南北极相反。

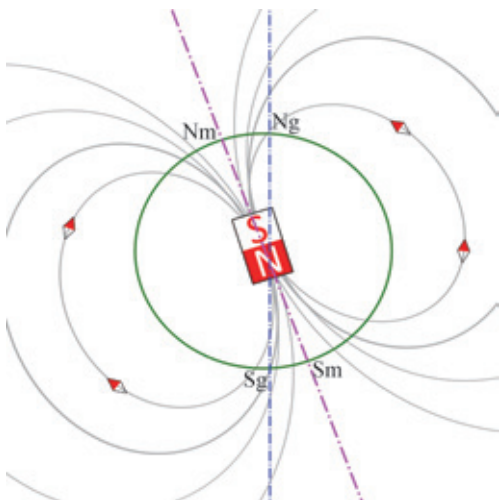


图 1.21　地球磁场

地球磁场最主要的作用是抵御太阳风。太阳风是太阳发出的高能带电粒子流，主要由处于电离状态的氢和氦（也就是去掉外层电子的氢原子核和氦原子核）构成。由于这些带电粒子流具有很高的能量，地球的大气层无法阻止太阳风的长驱直入。所以，要是没有别的东西来阻止它，太阳风就会一直刮到地表，对地球生命造成严重威胁。

幸好，地球有强大的磁场。众所周知，在磁场中，带电粒子的运动轨道会发

生偏转。因此，地球磁场能迫使太阳风中的高能带电粒子朝地球两极的方向发生偏转。到了两极地区，这些带电粒子会与位于高层的大气分子发生碰撞，从而形成美丽的极光（图 1.22）。

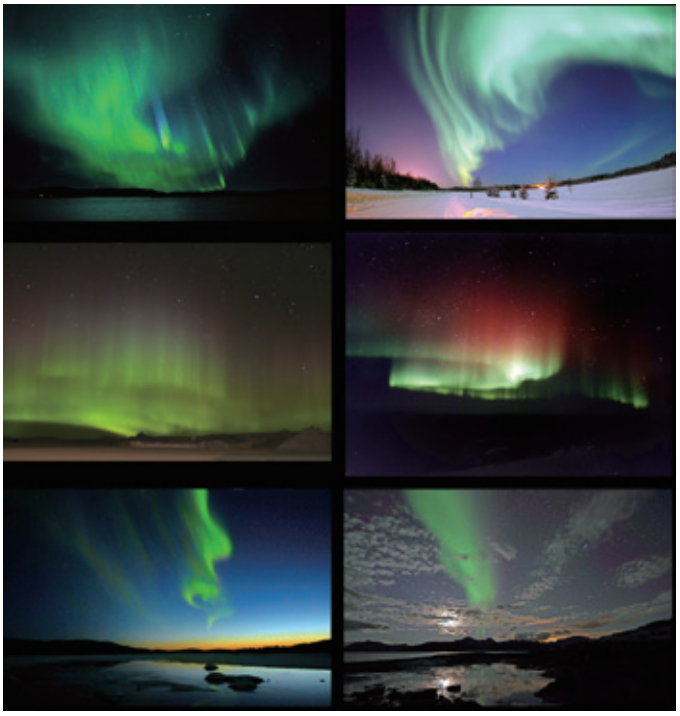


图 1.22　美丽的极光

更重要的是，地球磁场阻止了太阳风剥离地球大气。如果太阳风能直接轰击到地球大气层，这些高能带电粒子就会把自身的能量传递给地球的大气分子，从而让它们可以挣脱地球引力并逃逸到太空中。久而久之，地球的大气层就会被太阳风逐渐剥离。幸好，地球磁场构筑了一个天然的屏障，有效地阻止了太阳风与地球大气的直接接触。这样一来，地球引力就可以牢牢地束缚住大气分子，从而让地球一直保有自己的大气层。

我们来做个总结。就目前所知，地球是唯一一个拥有生命的星球。由于有合适的质量、位置和内部活跃程度，地球得以长期拥有海洋、大气和磁场。海洋为生命的诞生提供了舞台，大气阻止了海洋的蒸发，而磁场保证了大气不会被太阳风剥离。正是由于这三大要素，地球才成为一个美丽的生命绿洲。

02
月　球

2.1 为什么月球总是一面朝向地球？

离开了地球，让我们前往这次太阳系之旅的第二站：月球（图 2.1）。

图 2.1　月球

质量：7.342×10^{22} 千克（地球质量的 1.23%）

体积：2.196×10^{19} 立方米（地球体积的 2%）

与地球的平均距离：3.844×10^{5} 千米（日地距离的 0.26%）

月球是地球唯一的天然卫星。它与地球的平均距离约为 38 万千米，并自西向东沿逆时针的方向围绕地球旋转。与此同时，它也在自西向东沿逆时针的方向自转。值得一提的是，月球是一颗相当巨大的卫星：它的直径大概是地球的 27%，而质量大概是地球的 1.23%。这个相对比例在太阳系所有的卫星中都是

鹤立鸡群的。

前面说过，月球本身不会发光，只能反射太阳光。由于反射太阳光的能力不同，月球表面就呈现出了明暗交错的样子。明亮的区域是月球上的高原，被称为月陆；而阴暗的区域是月球上的盆地，被称为月海。月球表面还有一个很显著的特征：到处都是星罗棋布的环形山。所谓的环形山，其实就是小行星或彗星撞击月球表面所形成的大坑，因此也被称为撞击坑。据统计，光是直径超过 1 千米的撞击坑，在月球上就有不下 30 万个。

很早以前，人们就注意到了一个非常诡异的现象：月球总是一面朝向地球。换句话说，我们在地球上只能看见月球的一面（即正面），而永远看不见它的另一面（即背面）。这到底是怎么回事呢？

为了回答这个问题，让我从一个大家非常熟悉的自然现象说起。

众所周知，地球上的海水每天都会周期性地发生涨潮和落潮，这就是所谓的潮汐现象。其中“潮”由“水”和“朝”组合而成，代表“早上的涌水”；而“汐”由“水”和“夕”组合而成，代表“黄昏的涌水”。“潮”和“汐”合在一起，就描述了海水每天在与海面垂直方向上的周期性涨落。

那为什么会发生潮汐呢？最早猜出正确答案的人，是大天文学家约翰内斯·开普勒（图 2.2）。

图 2.2　约翰内斯·开普勒

前面说过，开普勒于 17 世纪初提出了著名的行星运动三定律，因而被后世称为“天上的立法者”。但不幸的是，如果要用一个字来形容这个科学巨人的生活，那个字肯定是“惨”。

开普勒出身贫寒，一直都很贫穷。1601 年，他当上了神圣罗马帝国的皇家天文学家。这听起来挺高大上的。但由于神圣罗马帝国长年打仗，国库空虚，所以就把开普勒的薪水砍到了只有他前任的一半。即使如此，开普勒依然会时不时地被拖欠工资。

最严重的一次欠薪发生在 1630 年的下半年。那一次，开普勒被拖欠了好几个月的工资，家里已经穷得揭不开锅了。无奈之下，他只好做了一次长途旅行，跑到雷根斯堡去找皇帝讨薪水。但不幸的是，刚到雷根斯堡没多久，开普勒就得

了一场大病，不但没有讨到薪水，反而把自己的性命给赔进去了。

开普勒生前贫寒，死后也没有得到安宁。去世以后，他被葬在了雷根斯堡的一个教堂。但是“三十年战争”后来还是席卷了雷根斯堡，把那个教堂，包括开普勒的墓地，全都夷为平地。时至今日，人们也无法再找到开普勒的安息之处。唯一流传下来的，是他自己给自己写的墓志铭：“I measured the skies, now the shadows I measure; Skybound was the mind, earthbound the body rests.（我曾测天高，如今又量地深；上天赐予我灵魂，大地收容我的俗身。）”

1609 年，开普勒提出了一个关于潮汐起源的理论。他认为，地球上之所以会有潮汐，主要是由于月球的吸引力。事实上，这个理论已经远远超越了时代。因为要再等整整 78 年，牛顿才能提出万有引力定律。直到那时，人类才能彻底地理解潮汐的起源。

图 2.3 就是地球上能产生潮汐现象的原理图。

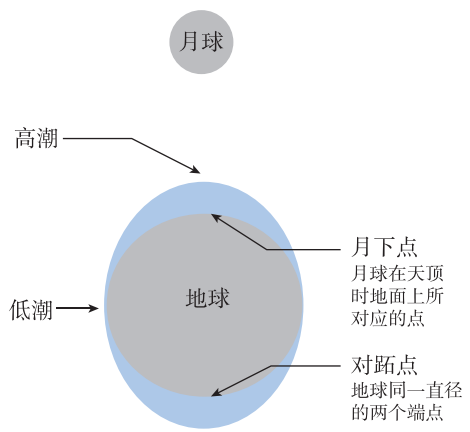


图 2.3　潮汐原理

由于地球本身有一定的大小，地球表面就会有一个地方离月球最近（也就是图中的月下点），同时还有一个地方离月球最远（也就是图中的对跖点）。牛顿的万有引力定律告诉我们，任意的两个物体之间都存在引力，而且引力的大小与它们距离的平方成反比。这样一来，因为离得最近，月下点受到的月球引力就最大；而由于离得最远，对跖点受到的月球引力就最小。这种引力的差异就是所谓的潮汐力。

很明显，在潮汐力的作用下，地球表面的海水就会在地月连线的方向上发生“隆起”的现象。换句话说，在月下点和对跖点，海水会出现高潮；而在两者中间

的圆环区域，海水会出现低潮。由于月球在不断地绕着地球旋转，月下点和对跖点的位置就会发生周期性的改变，从而使全球的海水出现周期性的涨潮和落潮。这就是潮汐现象的由来。

很明显，月球本身也有一定的大小，所以地球对月球同样也会有潮汐力。虽然月球上没有海洋，但是地球的潮汐力可以直接作用在月球的岩石上；这样一来，月球也会在地月连线的方向上发生“隆起”。

在遥远的过去，月球的自转速度比现在要快不少，使月球正对地球的位置不断发生改变。这样一来，月球受地球潮汐力而“隆起”的部位也在不断发生改变，从而对月球内部的岩石产生了一个摩擦力。所谓的摩擦力，是一种能阻碍物体运动的力量；在日常生活中，让汽车火车能够停下来的，就是这种力量。正是这个摩擦力，减慢了月球的自转速度。

最终，地球的潮汐力把月球的自转速度减慢到了一个临界值：27.32 天自转一圈。换言之，月球的自转周期恰好与它绕地球转一圈的周期相等，从而让月球的一面一直都朝向地球。此时，月球受地球潮汐力而“隆起”的部位不再发生改变，从而让月球内部的岩石不再受摩擦力，进而达到一个稳定的平衡状态。这意味着，这个月球自转速度就不再发生改变，从而使月球的一面永远都朝向地球。这在科学上被称为“潮汐锁定”。

顺便再多说一句。潮汐力不仅能减慢月球的自转速度，还能减慢地球的自转速度。事实上，与创生之初相比，目前地球的自转速度已经被减缓了一半以上。换句话说，正是由于月球的潮汐力，地球上的一天才由最初的 10 小时变成了今天的 24 小时。

我们来做个总结。很早以前人们就注意到，月球总是一面朝向地球。这是月球被地球引力潮汐锁定的结果。由于月球本身有一定的大小，它会受到地球的潮汐力，从而在地月连线的方向上发生“隆起”。这对月球内部的岩石产生了一个摩擦力，进而减慢了月球的自转速度。最终，月球的自转速度被减慢到 27.32 天自转一圈，这恰好与月球绕地球转一圈的周期相等。此后，月球达到了稳定的平衡状态，从而使月球的一面永远都朝向地球。

除此以外，科学家们还发现了一件有趣的事情：地球与月球间的平均距离，大概每年都会增加 3.8 厘米。听起来有点不可思议吧。这么微小的距离变动，到底是怎么测出来的？这就不得不提到人类历史上最著名的航天项目：阿波罗计划。

2.2 阿波罗计划留下了怎样的传奇故事?

图 2.4　冯・布劳恩

图 2.5　谢尔盖・科罗廖夫

第二次世界大战结束后，美国和苏联开始了漫长的“冷战”。双方展开竞争的一个最激烈也最引人瞩目的领域是太空探索，这就是著名的美苏太空争霸。

美国航天事业的灵魂人物，是著名的火箭科学家冯・布劳恩（图 2.4）。

冯・布劳恩出生在德国的一个贵族家庭，从小就对航天特别感兴趣。在柏林洪堡大学获得物理学博士学位以后，他作为总设计师，主持研发了世界上第一种弹道导弹：V2 火箭。目前，V2 火箭已被公认为现代导弹和火箭的鼻祖。1945 年，在德国战败之后，冯・布劳恩带着他的研发团队集体向美军投降。他们被秘密地转移到了美国。但由于曾是德国纳粹分子，在长达 12 年的时间里，冯・布劳恩一直得不到美国人的重用。

而此时苏联的航天事业正由另一位传奇人物领导，他就是著名的火箭科学家谢尔盖・科罗廖夫（图 2.5）。

科罗廖夫的人生同样非常坎坷。在他 3 岁那年，他的父母因感情破裂而分居；科罗廖夫就被母亲带回了娘家，与自己的外公外婆一起生活。由于没有父亲，小时候他经常被班上的坏孩子欺负。大学毕业以后，科罗廖夫成了一名飞机设计师。20 世纪 30 年代初，他结识了被后世称为航天学之父的康斯坦丁・齐奥尔科夫斯基，随后开始改行研究火箭。1933 年，科罗廖夫当上了新成立的喷气科学研究所的副所长。不过好景不长。1937 年，斯大林开始大清洗；1938 年，科罗廖夫因莫须有的罪名被捕入狱，随后被流放到

西伯利亚的集中营去做苦役。第二次世界大战爆发后，科罗廖夫被调到莫斯科的一家监狱工厂，以戴罪之身进行军用火箭的研究。1944 年，科罗廖夫重获自由，随后成了苏联航天事业的领导者。

在美苏太空争霸之初，两个大国较量的是看谁能把第一颗人造卫星送上太空。由于美国对冯・布劳恩心怀芥蒂，而苏联全力支持科罗廖夫，胜负的天平开始向苏联人倾斜。

1957 年 10 月 4 日，苏联成功发射了世界上第一颗人造卫星“斯普特尼克 1 号”。在 3 个月的时间里，这颗卫星环绕地球飞行了 1440 圈，总飞行距离超过 7000 万千米。这一壮举，标志着人类从此进入了太空时代。

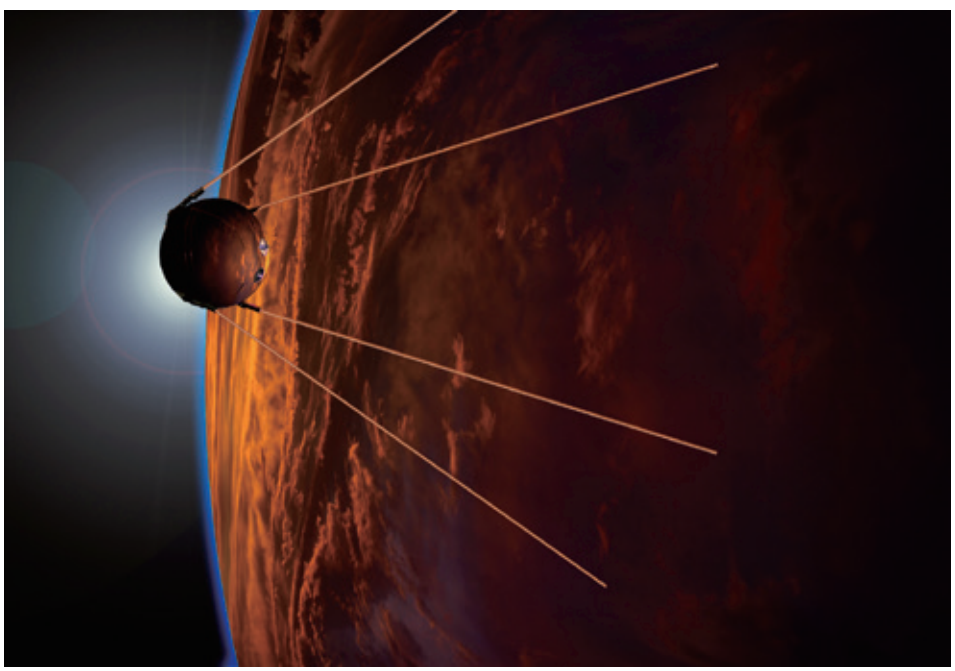


图 2.6　斯普特尼克 1 号

顺便再说一件趣事。此后不久，瑞典皇家科学院就向克里姆林宫致函，说他们打算提名这颗人造卫星的总设计师为下一年度的诺贝尔物理学奖的候选人，想要知道此人到底是谁。为了保密，克里姆林宫并没有透露科罗廖夫的名字，而是回复说设计师是全体苏联公民。

人造卫星的较量结束后，美苏太空争霸的焦点就转向了载人飞行。为了挽

回极端不利的局面，美国总统艾森豪威尔于 1958 年 7 月 29 日签署法案，创立了美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA），全面负责美国的太空计划。除此以外，美国人还做出了一个非常重要的决定：起用冯·布劳恩的研发团队。

这些举措并没有取得立竿见影的效果。1961 年 4 月 12 日，苏联又完成了一个壮举：苏联宇航员加加林乘坐东方 1 号宇宙飞船，历时 1 小时 48 分钟绕行地球一周，然后安全返回地球，从而完成了人类历史上的首次载人宇宙飞行。苏联人又一次把美国人甩在了身后。

不过，局势正在悄悄地发生变化。1960 年底，科罗廖夫第一次被查出患有心脏病。此后的几年，由于极度的劳累和巨大的工作压力，他的病情逐渐恶化。1966 年 1 月，科罗廖夫因心脏病突然发作而去世，享年 59 岁。从那以后，胜利女神开始向美国人露出微笑。

图 2.7　阿波罗计划

载人飞行之后，双方竞争的焦点就转向了载人探月。1967 年，NASA 启动了人类历史上最昂贵的科研项目，那就是著名的阿波罗计划（图 2.7）。

其实阿波罗计划同样出师不利。1967 年 1 月 27 日，编号为 AS-204（A 代表阿波罗，S 代表土星火箭，2 代表 IB 型火箭，04 代表第 4 次发射）的飞船，在一次例行测试中突然发生大火，导致三名宇航员当场丧生。应这些遇难宇航员遗孀的要求，NASA 把这艘出事的飞船命名为了阿波罗 1 号，以纪念这个还未开始便已结束的旅程。

但此后，阿波罗计划渐入佳境。1967 年底，冯·布劳恩的团队成功研制出了土星 5 号运载火箭（图 2.8）。直到今天，土星 5 号依然是世界上最强大的运载火箭，它可以把 140 吨的航天器送上近地轨道。作为对比，现役火箭中运力最大的“Space X”公司生产的猎鹰重型火箭，只能把 63.8 吨的物体送上近地轨道，其运力还不到土星 5 号的一半。正是这个著名的土星 5 号火箭，让人类实现了飞向月球的梦想。

图 2.8　土星 5 号火箭

1968 年 12 月 21 日，人类迈出了载人探月的关键一步。当天发射的阿波罗 8 号，带着 3 名宇航员成功抵达了近月轨道；在环绕月球飞行了 20 个小时以后，它又于 12 月 27 日顺利返回地球。这也让阿波罗 8 号成为人类历史上第一个离开地球轨道的载人飞船。

当然，名气最大的还是阿波罗 11 号。这艘于 1969 年 7 月 16 日发射的载人飞船，首次将两名宇航员尼尔·阿姆斯特朗和巴兹·奥尔德林，送上了月球。他们在月球表面工作了两个多小时，把 21.55 千克的月球岩石带回了飞船。第一个登上月球的阿姆斯特朗还说了一个特别有名的金句：“这是个人的一小步，却是人类的一大步（图 2.9）。”

关于阿姆斯特朗，不妨再多说两句。回地球后不到两年，他就从美国宇航局退休，跑到辛辛那提大学的航空工程学院当了一名教授。但他在那里过得很不如意。因为他的同事全都是博士，而他只有一个硕士的文凭；此外，他的教学和科研水平，也明显是学院的短板。所以八年后，阿姆斯特朗又从大学辞职，成了数家美国公司的广告代言人。由于工作需要，他经常东奔西跑，没有时间来陪伴家人。他的妻子无法忍受，和他离了婚。晚年的阿姆斯特朗跑到乡下买了一个农庄，开始了自己的半隐居生活。有个邻居建议他多出去旅游，好散散心。但阿姆斯特

朗只用一句话就堵住了那个邻居的嘴：“我连月球都去过了，地球上还有什么地方能吸引我呢？”

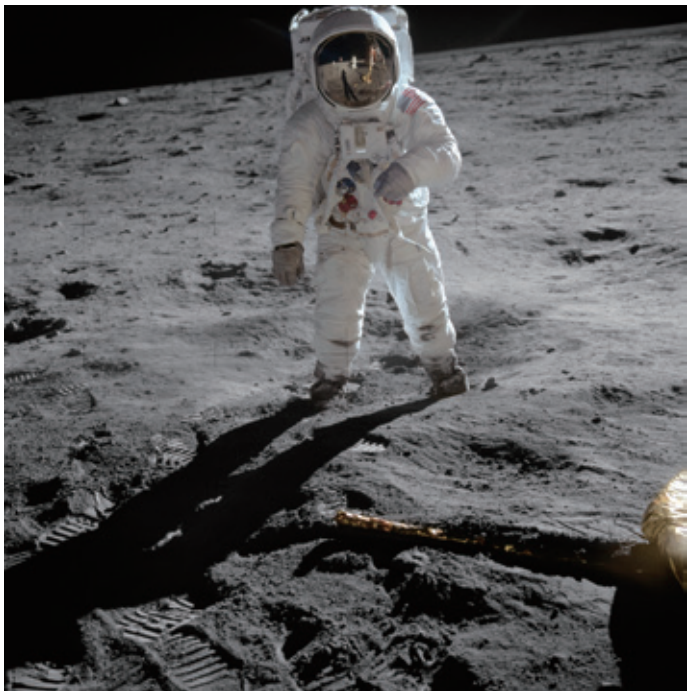


图 2.9　人类第一次登月

从 1969 年 7 月至 1972 年 12 月，阿波罗计划总共发射了 7 艘载人飞船，把 12 名宇航员送上了月球。一直到现在，除了这 12 个人以外，再也没有其他人登上月球。

不过在这 7 次载人探月任务中，也出现了一次非常重大的事故，那就是后来被拍成好莱坞大片的阿波罗 13 号。

千里之堤，溃于蚁穴。阿波罗 13 号的灾难也是由一件微不足道的小事引发的。

在讲阿波罗 13 号的故事之前，让我先简单说说阿波罗飞船上的燃料电池。它的工作原理很简单，就是让氢和氧发生化学反应，产生水和化学能；水可以供宇航员饮用，而化学能则可以转化为电能。

要想携带更多的氢和氧，就要让它们处于液态。因此阿波罗飞船一般会装两个液氢罐和两个液氧罐。问题就出在其中的一个液氧罐上。

这个液氧罐本来是为阿波罗 10 号准备的。但在阿波罗 10 号发射前出了一个小事故：这个液氧罐从 5 厘米高的平台上掉了下来。按理说，从 5 厘米高的地方掉下来，并没有什么大不了。但为了安全起见，NASA 没把这个液氧罐装在阿波罗 10 号飞船上。

在此后的检查中，NASA 的工作人员没发现这个液氧罐有任何破损。不过这些检查全都是从外部进行的，并没有检查液氧罐内部的情况。检查过后，NASA 就把这个液氧罐分配给了阿波罗 13 号。这就是后来引起龙卷风的那只蝴蝶。

在阿波罗 13 号发射前，NASA 的工作人员又做了一次例行检查，然后发现这个液氧罐无法彻底排空其中的液氧（事后分析，这可能是由于上次掉落所造成的内部损坏）。他们决定用给液氧罐加热的方法来排空液氧。但在加热过程中，他们犯了一个非常严重的错误。加热液氧罐本该使用飞船上的 28 伏电源，但他们却直接用了地面的 65 伏电源。过高的电压使液氧罐内部的温度超过了 500℃，从而让它的内部受到了极为严重的破坏。最关键的是，由于安装在液氧罐内部的温度计最高只能显示 26℃（即 80°F），所以从外部观察还是一切正常。掉落造成的小损坏，就这么演变成了加热造成的大损坏。

这个内部严重损坏的液氧罐，被装在了 1970 年 4 月 11 日发射的阿波罗 13 号上。在飞船发射了 56 个小时以后，此液氧罐在离地球 33 万千米远的地方发生了大爆炸。

在爆炸发生 30 秒后，NASA 位于休斯敦的地面指挥中心收到阿波罗 13 号传来的讯息。阿波罗 13 号的指令长詹姆斯·洛威尔说了那句后来家喻户晓的“名言”：“休斯敦，我们有麻烦了。（Houston, we have a problem.）”

然而，这是一次极为成功的“失败”。在与地球相距 33 万千米的太空中发生这么严重的事故，飞船上的三位宇航员最后竟然还能奇迹般地生还。

按理说，爆炸发生后应该让飞船立刻掉头并返回地球。但问题是，要想掉头，必须用一台强大的引擎来调整轨道。不幸的是，阿波罗 13 号的主引擎已经在爆炸中受损。NASA 最后决定维持原来的航线，让飞船利用月球的引力来变轨，然后再返回地球。

不幸中的万幸是，阿波罗 13 号的登月舱没有在这次爆炸中受损。登月舱上有独立的生命维持系统，以及为登月准备的水和氧气。此外，登月舱上还有两台

引擎，可以用来调整航线。原来的登月舱，就这样变成了三名宇航员的救生艇。

尽管如此，三名宇航员的回家之路依然困难重重。一个很要命的问题是，登月舱里的物资是为两名宇航员在月球上待一天半而准备的，但现在却要用来维持三名宇航员 4 天的生活。相对而言，氧气不算太缺，最缺的是水和电。没水只能少喝，没电也只能省着用。为了省电，这些宇航员关闭了除生命维持和星际通信以外的所有电力设备。加热设备关闭后，登月舱中的温度急剧下降，把他们都冻得难以入眠。

另一个很严重的问题是，登月舱里的小型空气过滤器不足以过滤三名宇航员在 4 天内排出的所有二氧化碳。如果不采取措施，他们就会有中毒身亡的危险。好在 NASA 的工程师临时想出了办法，指导这三名宇航员用一些胶带、纸板和塑料片，做了一个能让空气过滤器更有效工作的简易装置，这才勉强渡过难关。

寒冷、脱水、缺氧、恐惧，在这种极端恶劣的环境下苦苦支撑了 4 天之后，这三名宇航员终于回到了地球。1970 年 4 月 17 日，阿波罗 13 号的指令舱成功降落在南太平洋中，并被随后赶到的美国海军所营救。

顺便多说一句。死里逃生的阿波罗 13 号指令长洛威尔后来写了一本相当畅销的书——《失之交臂的月球：阿波罗 13 号的危险旅程》。这本书被改编成了著名的好莱坞大片《阿波罗 13 号》。饰演洛威尔的男演员，是好莱坞著名影星、两届奥斯卡影帝汤姆·汉克斯。事实上，洛威尔本人也在电影中客串了一个角色：把三名宇航员营救出来的那艘美国军舰的舰长。

我们来做个总结。在美苏太空争霸之初，苏联一度占据了明显的上风，发射了世界上第一颗人造卫星，并完成了历史上第一次载人飞行，一时风头无两。但随着美国开始重用冯·布劳恩，以及科罗廖夫因心脏病而去世，胜利女神开始对美国露出微笑。1967 年，美国启动了著名的阿波罗计划。从 1969 年 7 月至 1972 年 12 月，阿波罗计划总共把 12 名宇航员送上了月球。不过阿波罗计划中名气最大的，却是一次极为成功的“失败”。由于蝴蝶效应，阿波罗 13 号的一个液氧罐在离地球 33 万千米的太空中发生了爆炸；但在 NASA 的全力营救下，飞船上的三名宇航员最后竟然奇迹般地生还。这个极富传奇色彩的故事，被好莱坞拍成了一部大片，那就是《阿波罗 13 号》。

除了巨大的政治意义，阿波罗计划也有一定的科学价值。比如说，阿波罗计

划在月球表面放了一面镜子。后来，科学家就从地球上向这面镜子发射激光，然后通过激光往返的时间来测量地球与月球间的距离。结果表明，月球大概每年都会远离地球 3.8 厘米。

更重要的是，阿波罗计划还从月球上带回了大量的月球岩石样本。正是这些岩石样本，为人类揭开了月球起源的奥秘。

2.3 月球是怎么起源的?

图 2.10　阿尔弗雷德·魏格纳

为了解释月球的起源，让我们先从一个气象学家的故事讲起。他就是德国气象学家阿尔弗雷德·魏格纳（图 2.10）。

1910 年的一天，魏格纳由于一场大病而住进了医院。那个年代可没有电视、计算机和互联网，穷极无聊的魏格纳只好看他病房墙上的一张世界地图来打发时间。但仔细研究了这张世界地图以后，魏格纳发现了一件非常诡异的事：非洲西部的海岸线与南美洲东部的海岸线非常吻合；换言之，非洲和南美洲就像是一块大陆被硬生生地从中间撕开。随后，他注意到更多的大陆也能像拼图般拼合在一起。

出院以后，魏格纳又得知了一件怪事：在非洲和南美洲都发现了一种古代爬行动物的化石，也就是所谓的中龙。据科学家推断，中龙只能在淡水中生活，而不能生活在海水中。那么，它为什么能横渡数千千米的大西洋呢?

为了解释这些诡异的现象，1912 年，魏格纳提出了一个堪称石破天惊的理论，那就是著名的大陆漂移说。大陆漂移说认为，地球上所有大陆原本是一块完整的大陆，被称为泛大陆；后来泛大陆分裂成了好几块，然后在地球自转的作用下漂移到了现在的位置。这样一来，非洲和南美洲的海岸线重合，以及这两个地方都发现中龙化石的问题，就迎刃而解了。

在科学史上，这是一个非常罕见的情况。一个气象学家，提出了一个地质学理论，来解释一个古生物学的问题。从某种意义上讲，这有点像是一个没有医师执照的人在非法行医。所以在长达 40 年的时间里，魏格纳一直被当成是一个民科（民间科学家），受到了地质学界和古生物学界的群嘲。

比如说，耶鲁大学古生物教授查理·舒克特就宣称：“一个门外汉把他掌握的

事实从一个学科移植到另一个学科，显然不会获得正确的结果。”而法国地质勘探局局长特迈也断言：“魏格纳的理论仅仅是一个漂亮的梦，当人们拥抱它时得到的只是一堆泡沫和一缕青烟。”

当然，在长达 40 年的铺天盖地的攻击和嘲笑声中，也有人支持魏格纳的理论，其中就包括哈佛大学地质学教授雷金纳德·戴利（图 2.11）。

图 2.11 雷金纳德·戴利

戴利是地质学界的大拿。他于 1912 年成为哈佛大学地理系的第一任系主任，并于 1932 年当选为美国地质学会的会长。虽然戴利也曾在公开场合管魏格纳叫“门外汉”，他还是觉得“门外汉”提出的大陆漂移说很有道理。

不止如此，戴利还尝试解决大陆漂移说最受人诟病的一个问题：为什么泛大陆会突然分裂成好几块？为此，在 20 世纪 40 年代，戴利提出了一个更加惊世骇俗的理论：泛大陆是被一颗巨大的小行星给撞碎的。

戴利认为，在很久以前，一颗巨大的小行星撞上了地球，把泛大陆撞成了好几块。此外，这次剧烈的碰撞也把地球表面（即地壳）的大量物质都撞到了太空中；这些物质后来重新聚合在一起，就形成了我们今天看到的月球。这就是月球起源的“撞击说”。

类似于大陆漂移说的遭遇，戴利的“撞击说”同样在天文学界被骂得狗血喷头。

在戴利提出“撞击说”之前，天文学界对于月球的起源，主要有两派观点。一派观点认为，月球与地球原本是同一团星云，由于受引力的作用而发生塌缩，然后分裂开来并分别形成月球和地球，这就是月球起源的“同源说”。另一派观点认为，月球原本是一个路过的天体，被地球的引力所捕获，然后变成一颗卫星并绕着地球旋转，这就是月球起源的“俘获说”。很长一段时间，这两派人都争吵不休。不过，他们也达成了一个共识：都强烈鄙视戴利提出的“撞击说”。

当然，到底哪种月球起源理论是正确的，还是要靠实验和观测来检验。事实上，这三种理论能给出三个截然不同的预言。“同源说”认为，月球和地球是由同一团星云塌缩而成，因此月球上的物质应该与地球上的物质完全相同。“俘获说”

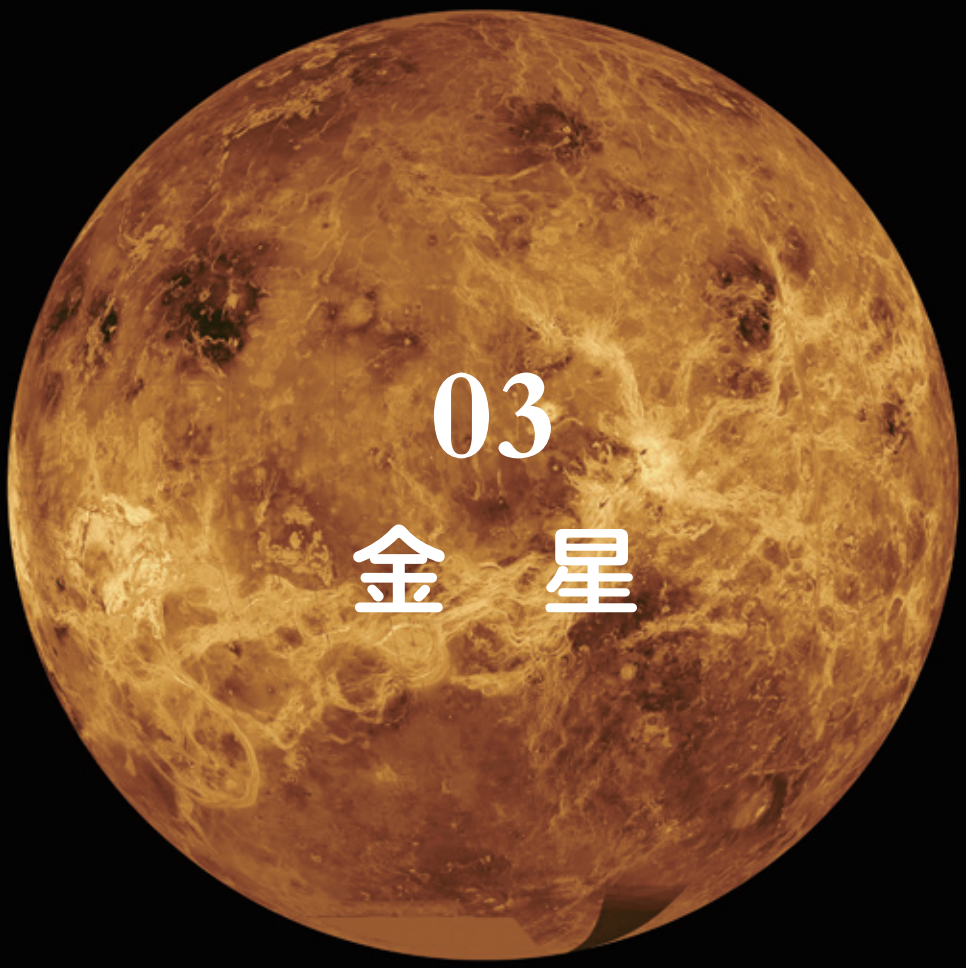
认为，月球是一个外来的被地球引力捕获的天体，因此月球上的物质应该与地球上的物质完全不同。而“撞击说”认为，月球是由被小行星撞飞的地球地壳的物质重新聚合而成，因此月球上的物质应该与地球地壳的物质完全相同。换言之，如果能带回月球上的物质，并把它们与地球上的物质进行对比，就可以判断到底哪种月球起源理论是正确的。

我们前面讲过，从 1969 年 7 月至 1972 年 12 月，阿波罗计划共把 12 名宇航员送上了月球。这些宇航员从月球上带回了大量的月球岩石样本。通过分析这些月球岩石样本，科学家们发现这些岩石样本的化学成分与地球地壳的物质完全相同。这样一来，在被嘲笑了 30 年之后，戴利的“撞击说”终于笑到了最后。

当然，戴利的原始理论还存在着不少细节上的问题。下面，我再以现代的眼光，详细地描述一下月球形成的全过程。大概在 45 亿年前，有一个火星大小、被称为“忒伊亚”（希腊神话中的一名泰坦，也是月球女神的母亲）的天体，撞上了被称为“盖亚”（希腊神话中的大地女神，也是众神之母）的原来的地球（图 2.12）。这次剧烈的撞击让“忒伊亚”和“盖亚”融合在了一起，从而形成了今天的地球。与此同时，这次撞击也把“盖亚”表面大量的物质撞到了太空中，形成了一个绕地球旋转的圆环；随着时间的推移，这个圆环中的物质重新聚合在一起，从而形成了今天的月球。

图 2.12　忒伊亚撞击盖亚

我们来做个总结。1912 年，魏格纳提出了著名的大陆漂移说。大陆漂移说认为，地球上所有大陆原本是一块完整的泛大陆，后来泛大陆分裂成了好几块，然后又漂移到了现在的位置。为了解释泛大陆为什么会分裂，戴利提出地球曾经遭遇一个巨大天体的撞击。这次碰撞把地球地壳的大量物质撞到了太空中；这些物质后来重新聚合在一起，就形成了今天的月球。这就是月球起源的“撞击说”。后来科学家通过分析阿波罗登月计划带回来的月球岩石样本，证明了“撞击说”的理论预言与实际观测吻合。这也让被学术界嘲笑了 30 年的“撞击说”笑到了最后。



03
金　星

3.1 金星盈亏如何敲响地心说的丧钟?

离开了月球，让我们前往这次太阳系之旅的第三站：金星（图 3.1）。

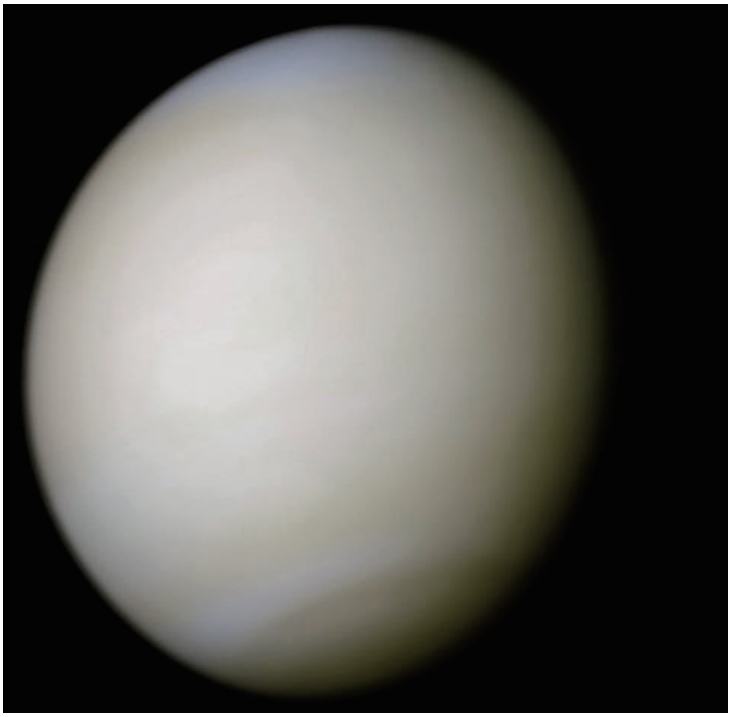


图 3.1 金星

质量：4.868×10^{24} 千克（地球质量的 81.5%）
体积：9.284×10^{20} 立方米（地球体积的 86.6%）
与太阳的平均距离：1.082×10^{8} 千米（日地距离的 72.3%）

金星是太阳系中离地球最近的行星，平均距离仅为 4150 万千米。因此，它也成了仅次于太阳和月球的天空中第三亮的天体。金星只要花 224.7 个地球日（一个地球日是 24 小时）就能绕太阳公转一圈。与此同时，金星的自转速度很慢，

图 3.2　托勒密

需要花 243 个地球日才能自转一圈。这让金星成了太阳系中极为罕见的一日（即金星日）比一年（即金星年）还要漫长的天体。

金星有一个相当有名的现象，叫金星盈亏。事实上，金星盈亏的发现是科学史上的一件举足轻重的大事，因为它直接促成了地心说的衰落和日心说的崛起。

为了说清楚这是怎么回事，我得先来讲讲地心说和日心说。

很早以前，人类就观察到所有的日月星辰都在周而复始地围绕地球旋转。所以，人类一直认为地球就是宇宙的中心。基于这种观念，公元 140 年，古罗马大天文学家托勒密（图 3.2）提出了一个著名的宇宙学模型，那就是地心说。

图 3.3 就描绘了地心说的宇宙图像。地球静止在宇宙的中心。而从内向外，依次是月球、水星、金星、太阳、火星、木星和土星。月球和太阳都在围绕着地球作圆周运动。其他五颗行星的运动状态比较复杂：首先，它们都在一个叫本轮的小圆上旋转；其次，本轮的圆心也在一个叫均轮的大圆上绕地球运动。换句话说，这五颗行星的运动轨迹是由本轮和均轮这两个圆周运动组合而成的，看起来很像是公园里的旋转咖啡杯。更外面，则是一个叫作恒星天的巨大球壳，其他的星星全都镶嵌在这个恒星天的内壁上。现代人一般把这个恒星天称为天球。

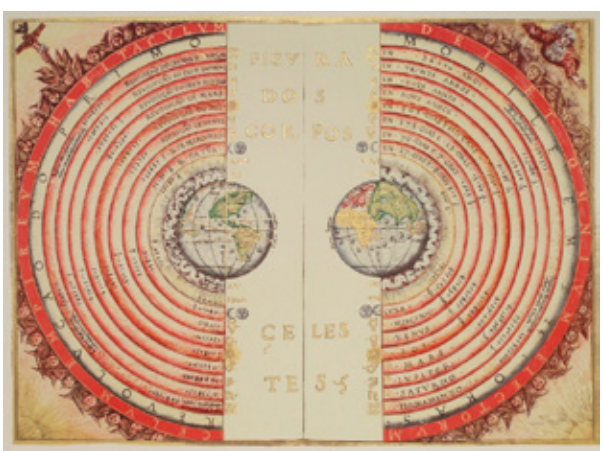


图 3.3　地心说

托勒密的地心说是一个比较完善的科学理论，能够很准确地描述太阳系中所有主要天体的运动轨迹。所以很多中小学教科书里都说，地心说被人们奉为经典，统治了学术界长达 1400 年之久。

但我要告诉你的是，这种说法并不算特别准确。地心说确实在罗马帝国和阿拉伯帝国被奉为经典。但在中世纪的欧洲，它却长期受到天主教会的冷落。直到公元 13 世纪，天主教里出了一个非常有名的神学家，叫托马斯·阿奎纳。他认为神学和自然科学并不矛盾，应该用“自然法则”来论证神学的正确性。为此，他仔细地研究了托勒密的地心说，并把地心说整合成了天主教神学体系的一部分。从那以后，地心说才真正地一统天下。

一直到 1543 年，地心说的统治地位才发生动摇。那一年，一个 70 岁高龄、即将不久于人世的老人，在他的一个学生的反复游说下，出版了一本书。相信你已经猜到了，那本书就是著名的《天体运行论》，而那个老人就是波兰大天文学家哥白尼（图 3.4）。

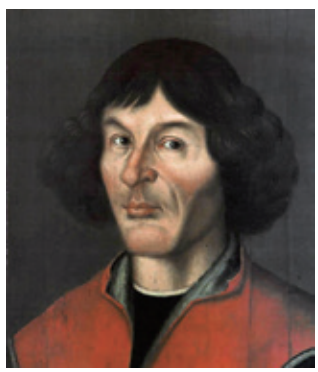


图 3.4 哥白尼

在这本书中，哥白尼提出了著名的日心说。图 3.5 就描绘了日心说的宇宙图像。这回，坐镇宇宙中心并保持静止不动的就变成了太阳。从内向外依次是水星、金星、地球、火星、木星和土星，它们都在围绕着太阳作圆周运动。更外面，则是与地心说一样的恒星天。显然，与又是本轮又是均轮的地心说相比，日心说的宇宙图像要简单很多。

其实早在 40 岁的时候，哥白尼就已经提出了日心说。但他一直都只在一个很小的圈子里宣传自己的理论，而始终不肯把它写书出版。这倒不难理解。当时地心说已经成为天主教神学体系的一部分，质疑它就相当于质疑整个天主教的神学体系。作为一名虔诚的天主教教士，哥白尼当然不愿与整个天主教会为敌。事实上，如果不是由于一名日心说的狂热粉丝，这个理论很可能会被哥白尼带进坟墓。

这个粉丝就是奥地利数学家格奥尔格·雷蒂库斯。此人写过一部关于三角函数的经典著作，其中率先给出了包括正弦、余弦、正切、余切、正割、余割

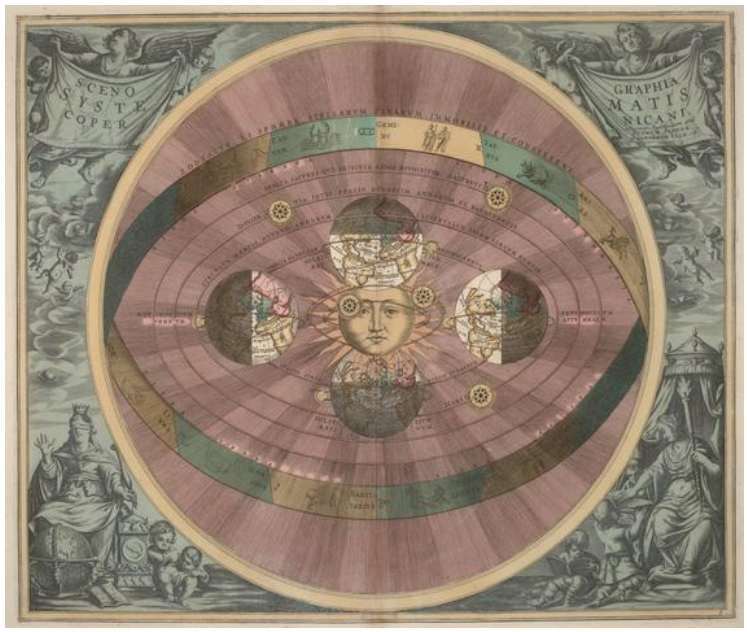


图 3.5　日心说

在内的六种三角函数表。公元 1539 年，他偶然了解到哥白尼的地心说，顿时觉得醍醐灌顶；为此他专门跑到波兰去拜见哥白尼，然后又成为哥白尼一生中唯一的学生。此后的两年，他多次游说哥白尼要把关于日心说的理论写成书，并正式出版，但哥白尼总是坚决反对。不过雷蒂库斯这个人很有韧劲，从来都不曾放弃。在软磨硬泡了整整两年以后，哥白尼终于招架不住，交出了《天体运行论》的全部手稿。

随后，雷蒂库斯就开始寻找愿意资助此书出版的土豪。一年后，他找到了一个这样的土豪，那是一个住在纽伦堡的出版商。这样一来，差点被哥白尼带进坟墓的《天体运行论》终于登上了历史的舞台。

由于《天体运行论》中包含大量的公式和图表，必须得有一个行家来做这本书的编辑。雷蒂库斯自己做了半年的编辑，但他突然被任命为莱比锡大学的教授，不得不中途离开。临走前，雷蒂库斯把编辑的工作委托给了一个朋友，那就是神学家奥西安德尔。

奥西安德尔一看这本书竟然要反对地心说，顿时觉得自己上了条贼船。为了

避免殃及自身，奥西安德尔干了一件今天的编辑就算吃了熊心豹子胆也不敢干的事情。他瞒着哥白尼和雷蒂库斯，伪造了一篇《天体运行论》的前言，宣称这部书“并不是一种科学的事实，而是一种富于戏剧性的幻想”。

一部划时代的科学巨著，就这样被歪曲成了一种奇技淫巧。

不过奥西安德尔的做法也不是完全没好处。《天体运行论》顺利通过了罗马教廷的审查，没有被列为禁书。

好了，现在有两个关于宇宙的理论：地心说和日心说。到底哪个对呢？大半个世纪，学术界一直对此争论不休，却一直争不出个所以然。直到 17 世纪初，一个科学巨人的横空出世，才打破了这个僵局。此人就是被后世称为“现代科学之父”的伽利略（图 3.6）。

图 3.6　伽利略

公元 1564 年，伽利略出生在意大利的比萨市。他的父亲是当地的一个小有名气的音乐家。17 岁那年，伽利略考入了比萨大学；遵照父亲的意愿，他选择了学医。但没过多久，一个意外的事件彻底改变了伽利略的人生轨迹。

有一天，伽利略走进了比萨大学的一个教堂，注意到里面有一盏不断摆动的吊灯。通过与自己的脉搏跳动进行对比，伽利略发现无论这盏吊灯的摆动幅度是大是小，它摆回到最低点所花的时间都相同。换句话说，像这种不断摆动的物体，就可以用来计量时间。伽利略的这个发现被称为“单摆原理”。后来人们正是利用这一原理，造出了世界上第一台摆钟。

发现了单摆原理以后，伽利略就放弃了学医，而把主要精力都集中在了物理学的研究上。很快，他就在物理学界崭露头角。由于在力学领域的卓越贡献，伽利略在 25 岁就当上了比萨大学的教授。又过了三年，他被挖到了位于威尼斯的帕多瓦大学。正是在美丽的威尼斯，伽利略登上了自己学术生涯的巅峰。

公元 1608 年，一个荷兰眼镜店老板偶然发现用两块前后放置的镜片可以看清远处的物体，进而造出了人类历史上的第一架望远镜。这个消息传到了意大利，立刻引起了伽利略的浓厚兴趣。1609 年，伽利略制造了一个质量更好的望远镜，

能把远处的物体放大好几十倍。然后，他又做了一件意义非凡的事情：把望远镜指向了太空。这个举动后来让伽利略获得了一个荣誉称号：观测天文学之父。

在我看来，伽利略第一次用望远镜仰望太空的心情，应该和阿里巴巴第一次发现满山财宝的心情差不多。利用自己制造的望远镜，他发现了很多人类前所未见的景象。在这次的太阳系之旅中，伽利略的所有发现都将是我们讲述的重点。其中有一个发现，直接导致了地心说的衰落和日心说的崛起，这就是我们前面提到过的金星盈亏。

什么是金星盈亏呢？我们不妨用月球做一下类比。

众所周知，月球是有盈亏的。为什么月球会有盈亏呢？因为月球本身不发光，只能反射太阳光。由于月球一直在绕着地球旋转，它既可以跑到地球和太阳之间，也可以跑到地球的背后。如果月球跑到了地球和太阳之间，它就会把后面射来的太阳光挡住，进而让我们无法看到它，这就是月球的“亏”；如果月球跑到了地球的背后，它就可以完全地反射太阳光，进而让我们看到一轮最圆的明月，这就是月球的“盈”。

与月球不同的是，金星不可能跑到地球的背后。不过，它有可能跑到太阳的背后。如果金星跑到了地球和太阳之间，它就会挡住后面射来的太阳光，让我们看不到它，这就是金星的“亏”；如果它跑到太阳的背后，就可以完全地反射太阳光，让我们看到一个最圆最亮的金星，这就是金星的“盈”（图 3.7）。

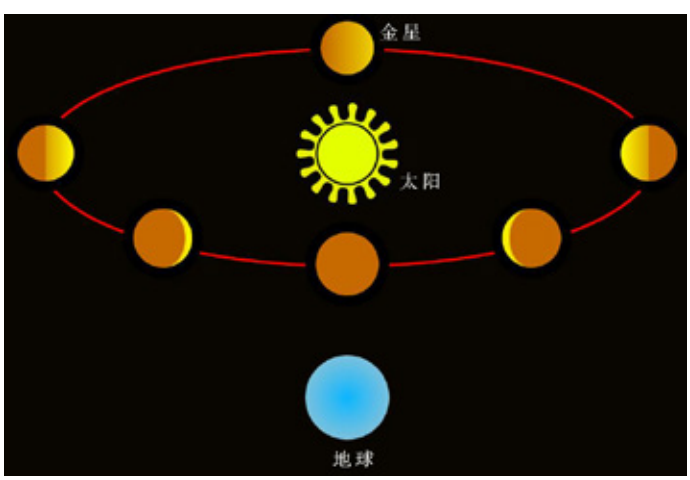


图 3.7　金星盈亏原理图

知道了金星盈亏的概念，我们就可以来讲讲如何判断地心说和日心说的对错了。问题的关键在于，金星到底是在绕地球还是在绕太阳旋转。

数千年的天文观测表明，如果以地球为顶点，分别向金星和太阳连线，所得到的角度最大也只有 48.5 度。换句话说，金星一直都在太阳周围活动。在地心说中，金星一直在绕着地球转；要想解释金星总在太阳周围活动的观测结果，金星和太阳就必须以差不多的角速度围绕地球旋转。在这种情况下，金星就只能一直处于地球和太阳中间，永远不可能出现“盈”的状态。而在日心说中，金星一直绕着太阳转，所以能自然而然地解释为什么金星总在太阳周围。更重要的是，在这种情况下，金星可以很轻易地跑到太阳的背后，从而出现“盈”的状态。因此，通过观察金星能否出现“盈”的状态，就可以确定它是否能绕到太阳的背后，进而判断地心说和日心说的对错。

在发明望远镜之前，人类只能用肉眼去仰望星空；这种观测条件，根本就不可能发现金星盈亏。公元 1610 年，伽利略用他自制的望远镜，真真切切地看到金星确实出现了“盈”的状态；在一封寄给朋友的信中，伽利略富有诗意地写道：“爱之母（金星）正在效仿辛西娅（月亮女神）的风姿。”同一年，他把这个发现写进了自己的传世名著《星际信使》，从而敲响了地心说的丧钟。

我们来做个总结。过去很长一段时间，人类一直信奉托勒密的地心说；在地心说中，地球静止在宇宙的中心，其他的所有天体都在围绕地球旋转。公元 1543 年，哥白尼在雷蒂库斯的反复游说下，出版了《天体运行论》。在这本书中，哥白尼提出了日心说，认为真正静止在宇宙中心的是太阳，而其他的所有天体，包括地球在内，都在围绕太阳旋转。大半个世纪，学术界一直无法确定到底哪个理论是对的。直到公元 1609 年，伽利略用他自制的望远镜发现了金星盈亏，从而证明了金星的的确确是在绕太阳旋转。这个划时代的伟大发现，敲响了地心说的丧钟。

除了金星盈亏，还有一个与金星息息相关的观测，也在天文学的历史上留下了浓墨重彩的一笔。那就是金星凌日。

3.2 金星凌日如何测出地球与太阳间的距离?

我先来介绍一下什么是金星凌日。为了便于理解，我还是用月球来进行类比。众所周知，月球有时会跑到地球和太阳的中间，挡住太阳光射向地球的路线，这就是所谓的日食。同样的道理，金星有时也可以跑到地球和太阳的中间。这时在地球上观测，就可以看到一个小黑点在太阳表面缓慢地穿行。一般来说，这个小黑点要花几个小时才能通过太阳的表面。这个现象就是所谓的“金星凌日”(图 3.8)。

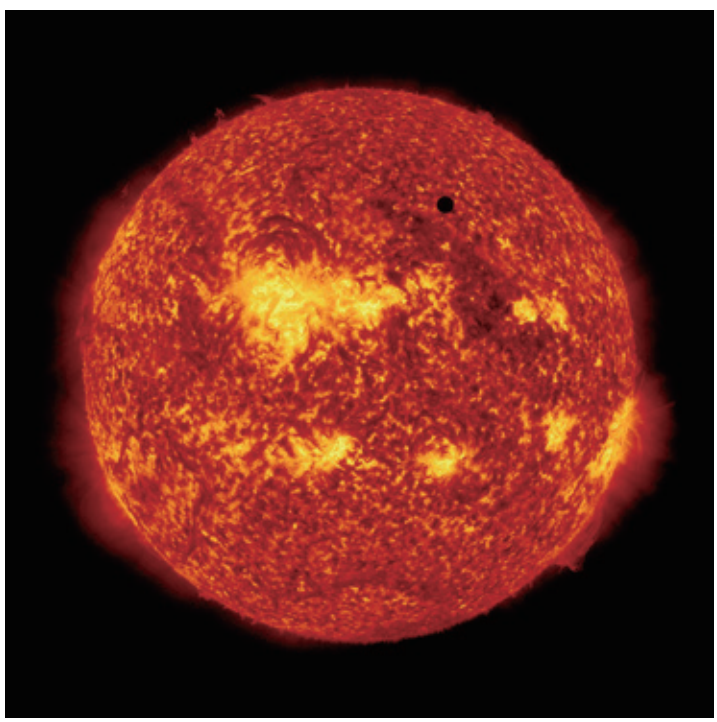


图 3.8　金星凌日

世界上第一个观测到金星凌日的人是英国天文学家杰雷米亚・霍罗克斯(图 3.9)。他的人生充满了神秘色彩。

图 3.9 雷米亚·霍罗克斯

1618 年，霍罗克斯出生在英国利物浦附近的托克斯特思公园镇的一个钟表商之家。他天资聪颖，14 岁就考上了剑桥大学。但三年后，由于某种未知的原因（有人说是经济困难，也有人说是考试挂科），他从剑桥大学退了学。

退学后的霍罗克斯搬到了利物浦附近的一个叫霍奥莱的小村庄，成为当地一个教堂的牧师。业余时间，他全都用来研究天文学。1639 年，在仔细研究了开普勒的《鲁道夫星表》以后，霍罗克斯发现当年 12 月 4 日的下午 15:00 左右，会发生一次金星凌日。他赶快把这个发现告诉了自己的一个住在曼彻斯特名叫克拉布特里的朋友。

1639 年 12 月 4 日，霍罗克斯和克拉布特里就分别在利物浦和曼彻斯特观测太阳。不过，那天的天气很不好，两地都是阴天的状态。幸运的是，下午 15:15，太阳从利物浦的云层里露出了头，霍罗克斯惊喜地看到了一个小黑点从太阳表面穿行而过。而到了下午 15:35，曼彻斯特的云层也消散了，克拉布特里也看到了自己期待已久的天体。这是人类历史上第一次观测到金星凌日。

预言并发现了金星凌日，让霍罗克斯在天文学界声名鹊起。按理说，他的前途本应一片光明。但 1641 年 1 月 3 日，霍罗克斯突然去世了。没有人知道他的死因，也没有人知道他被葬在了哪里。年仅 22 岁的霍罗克斯，就这样走完了自己充满神秘色彩的一生。

又过了 75 年，有个人发表了一篇论文，让金星凌日一跃成为整个天文学界都关注的焦点。此人就是英国著名天文学家埃德蒙多·哈雷（图 3.10）。

图 3.10 埃德蒙多·哈雷

我们前面已经提到过哈雷。正是他，一手促成了有史以来最伟大的学术著作，也就是《自然哲学的数学原理》的出版。事实上，哈雷本身也是一个百科全书式的科学巨人。19 岁那年，本科还没毕业的哈雷就成为首任英国皇家天文学家约翰·弗兰斯蒂德的助手，并在南大西洋的一个小岛上建立了南

半球的第一个天文台。22 岁那年，他绘制出了标有 341 颗恒星精确位置的世界上的第一张南天星表，并因此而当选为英国皇家学院的院士。26 岁的时候，他算出了著名的哈雷彗星的轨道，并预言它每隔 76 年就会回归一次。除了天文学以外，哈雷也在其他的科学领域做出了很多开创性的贡献。比如说，他制作了世界上第一张气象图，发明了世界上第一个潜水钟，还写了世界上第一篇关于人寿保险的论文。

1716 年，哈雷发表了一篇里程碑式的论文。在这篇论文中，他指出如果能精确地观测金星凌日，就可以测出地球与太阳之间的距离，即所谓的日地距离。

图 3.11 就是用金星凌日来测量日地距离的原理图。

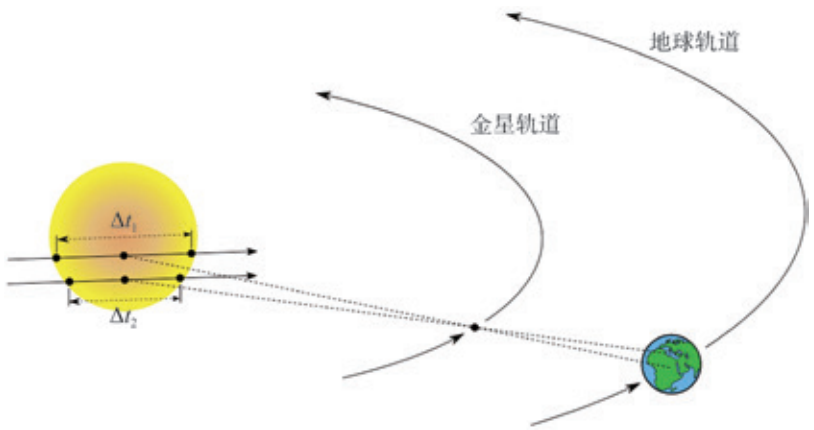


图 3.11　用金星凌日测量日地距离的原理图

哈雷指出，可以在地球上的两个经度相同而纬度相差较大的地点同时观测金星凌日。从图中很容易看到，在两地看到的金星凌日的轨迹不同，从而导致在两地测出的金星凌日的持续时间出现一定的差异。通过比较两者之间的时间差，能算出金星与这两个观测地点所构成的等腰三角形的顶角。初中的几何知识告诉我们，一段圆弧的长度等于圆的半径乘以这段圆弧所对应的角度。因此，用两地之间的距离除以这个顶角，就能得到地球与金星之间的距离。知道了地球与金星间的距离，再利用开普勒第三定律（即行星运动周期的平方与其椭圆轨道长半轴的立方成正比），就可以算出日地距离了。

可能你会觉得奇怪了：“不就是测个日地距离吗？怎么会成为整个天文学界关注的焦点？”答案是，日地距离是宇宙学测距的基石。一旦知道了日地距离，就

可以利用三角视差的方法来测量遥远天体的距离了。

为了解释什么是三角视差，我们不妨来做一个小实验。伸出一只手指，放在靠近鼻子的地方，然后轮流闭上左眼或右眼，每次都只用一只眼睛来看它。你会发现手指相对于背景的位置发生了明显的偏移。这是由于你前后两次观察它的位置发生了改变。这个由于观察者自身位置改变而导致被观察物体位置发生偏移的现象，就是视差。现在把手指放在比较远的地方，重复这个实验，你会发现手指的位置偏移变小了。这说明被观察物体的视差越小，它离我们的距离就越远。

顺便多说一句。电影院里放的 3D 电影之所以能呈现出立体感，就是利用了视差的原理。

有了视差的概念，我们就可以讲讲如何用三角视差法来测量遥远天体的距离了。图 3.12 就是三角视差法的原理图。

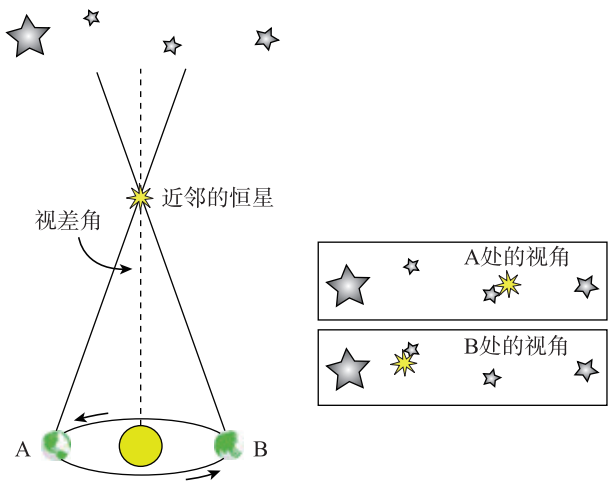


图 3.12　用三角视差法测量距离的原理图

众所周知，地球每年会绕太阳转一圈。如果地球在某个时刻运动到图中的 A 点，那么半年之后它就会到达离 A 点最远的 B 点。现在把 A 点和 B 点当成一个人的左眼和右眼，然后分别在这两个地方观察一颗远处的星星。很明显，这颗星星在遥远天幕上的位置会发生改变。利用这个位置的改变，能算出此星星与 AB 两点所构成的等腰三角形的顶角，也就是所谓的周年视差角。这样一来，只要知道了日地距离，就能知道 AB 两点的间距；而用 AB 两点的间距除以星星的周年视差角，就可以算出我们到这颗星星的距离。

事实上，一直到 20 世纪之前，三角视差法都是人类所知的测量太阳系外天体距离的唯一方法。即使是到了今天，它也是其他宇宙学距离测量方法的基石。因此，哈雷的论文一经发表，立刻成为整个天文学界关注的焦点。

但问题在于，金星凌日是一种极端罕见的天文现象。它总是结对出现，两次金星凌日之间相距 8 年；然后就得再等上一百多年，才能看到下一对的金星凌日。所以，哈雷没能亲眼看到金星凌日，一直到他死后的 20 年，也就是 1761 年，天文学家才终于等到了用金星凌日来测量日地距离的机会。

这或许是人类历史上第一次大规模的国际科研合作。欧洲各国的科学家奔赴全球 100 多个观测点，来观测金星凌日。受限于当时的摄像技术，没有人能把日地距离测得特别准确。其中最倒霉的人，非法国天文学家纪尧姆·勒让蒂尔莫属。

提前一年的时间，勒让蒂尔坐船从法国出发，想要前往印度观测这次的金星凌日现象。万万没想到，快到印度的时候，印度的宗主国英国居然和法国打起仗来。英国人把勒让蒂尔当成是间谍，直接关进了监狱。1761 年的金星凌日观测就这么泡汤了。

勒让蒂尔没有气馁。被释放后，他还是继续前往印度，然后花了 8 年的时间在当地建了一个天文台。第二次金星凌日发生在 1769 年 6 月 4 日。当天早上醒来的时候，勒让蒂尔很开心地看到了一个艳阳天。但就在金星凌日即将发生之时，突然冒出了一朵乌云，把太阳遮得严严实实。勒让蒂尔 8 年的心血再次付诸东流。

勒让蒂尔的厄运依然没有结束。在坐上回国的轮船之前，他突然生了一场大病，有一年的时间都卧床不起。好不容易病好上了船，又在返程的途中遇到了一场台风，差一点就葬身鱼腹。过了整整 11 年，勒让蒂尔才回到法国，然后又遭遇了一个新的打击：他的亲戚早已宣布了他的死亡，并且瓜分了他所有的财产。

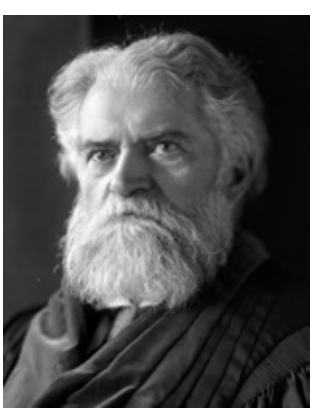


图 3.13　西蒙·纽康

前面说过，由于摄像技术的局限，18 世纪的这两次对金星凌日的观测，都没能测出真实的日地距离。直到一百多年后，才有人测出了日地距离的准确值，此人就是美国天文学家西蒙·纽康（图 3.13）。

很多人知道西蒙·纽康，都是由于他写的那本

畅销科普书《通俗天文学》。事实上，他也是著名物理学家阿尔伯特·迈克尔逊的伯乐，后者是历史上第一位获得诺贝尔物理学奖的美国人。有趣的是，纽康也摆过一个很大的乌龙：他写过一篇论文，宣称人类永远不可能造出能承载一个人质量的飞行器。当然，后来莱特兄弟造出了飞机，狠狠地打了他的脸。

1882 年，西蒙·纽康做了一件相当大手笔的事情。他组织了八支探险队，来观测当年的金星凌日。正是通过这次观测，他准确地测出了日地距离：1.4959 亿千米。这个 100 多年前测出的数值，与今天的测量结果几乎没有差异。

我们来做个总结。1639 年，霍罗克斯最早观测到了金星凌日。所谓的金星凌日，就是金星跑到地球和太阳的中间，让地球上的观测者看到一个小黑点在太阳表面穿行的现象。1716 年，哈雷发表了一篇里程碑式的论文，指出如果在地球上的两个经度相同而纬度相差较大的地点同时观测金星凌日，就可以测出日地距离。1882 年，西蒙·纽康组织了八支探险队来观测当年的金星凌日，并测出了日地距离约为 1.5 亿千米。这个发现奠定了宇宙学距离测量的基石。

我已经介绍了两个与金星有关，并在科学史留下浓墨重彩一笔的天文现象：金星盈亏和金星凌日。不过这两个天文现象都是在地球上观测到的。接下来，让我带你去游览一下金星本身。

3.3 为什么金星会变成一个地狱般的地方？

在古代中国，金星有好几个名字。黎明时分，它会出现在东边的地平线上，所以被人们称为“启明星”；而黄昏时分，它又会出现在西边的余晖中，所以又被人们称为“长庚星”。此外，它也经常被称为“太白星”，即道教中玉皇大帝的信使。而在西方，人们管金星叫维纳斯，也就是罗马神话中主管爱与美的女神。在很多神话故事中，金星都被描绘成了一个特别浪漫而美丽的地方（图 3.14）。

事实上，有很长一段时间金星一直被视为地球的姐妹行星，因为它们确实有很多相似之处。比如说，金星的体积约为地球体积的 85.5%，而金星质量约为地球质量的 81.5%；换言之，两者的大小和质量都相差无几。因此，很多人都幻想过说不定有朝一日人类能移民金星。

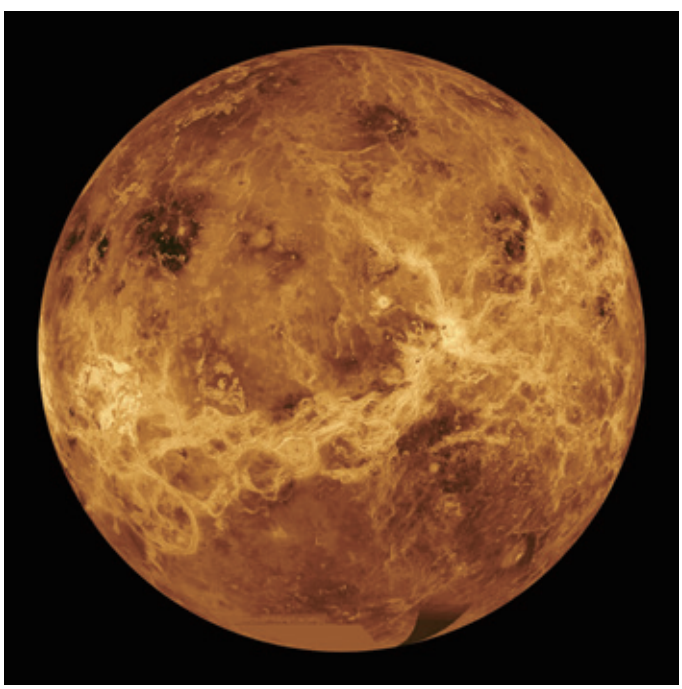


图 3.14　恐怖的金星

但到了 20 世纪下半叶，移民金星的幻想被彻底打破。而打破它的，正是我们前面提到过的美苏太空争霸。

前面说过，苏联一度在太空争霸中独占鳌头：第一颗人造卫星、第一位宇航员以及第一个月球探测器，都是苏联送上天的。事实上，苏联也是最早尝试探测金星的国家。

20 世纪 60 年代初，苏联启动了著名的“金星计划”；在超过 20 年的时间里，这个计划总共发射了 26 个探测器来探测金星。

1961 年 2 月 4 日，苏联人首次尝试发射金星探测器。但不幸的是，这个探测器根本没能飞离地球。为了面子，苏联人没把这个探测器纳入“金星计划”，而对外宣称他们只是发射了一颗人造地球卫星。8 天之后，也就是 2 月 12 日，苏联人又开始了一次新的尝试。这一回，他们终于把一个探测器送出了地球，这就是“金星 1 号”。但“金星 1 号”发射 7 天后就与地球失联，所以这次任务还是以失败告终。

此后数年，苏联人一直厄运不断。他们先后发射了 12 个金星探测器，不是飞不出地球，就是飞出不久就失联，结果全都以失败告终。顺便多说一句。凡是飞不出地球的探测器，都没被纳入“金星计划”。

整整 6 年后，苏联人的付出才获得回报。1967 年发射的“金星 4 号”，于当年 10 月 18 日成功进入金星轨道，并且发回了金星大气层的数据。这也让它成为历史上第一个进入其他行星大气层的人造物体。有趣的是，苏联人当时还吹牛，说“金星 4 号”也成功抵达了金星的表面。但不久之后，美国“水手 5 号”传回来的观测数据表明，金星大气压是地球大气压的近百倍，能在“金星 4 号”登陆前就把它压得粉碎。苏联人不得不尴尬地撤回他们之前的声明。

三年后，苏联又取得了重大的突破。1970 年发射的“金星 7 号”，于当年 12 月 15 日穿越了金星大气层，成功到达了金星的表面。这也让它成为历史上第一个在其他行星表面登陆的人造物体。此后，它还与地球通信了 23 分钟，并且把火星地表的数据成功传回了地球。后来的 10 多年间，苏联发射的探测器曾先后十次登陆金星表面（图 3.15 就是这些探测器在金星表面的登陆地点），并获取了大量关于金星大气、地表和地壳的一手资料。

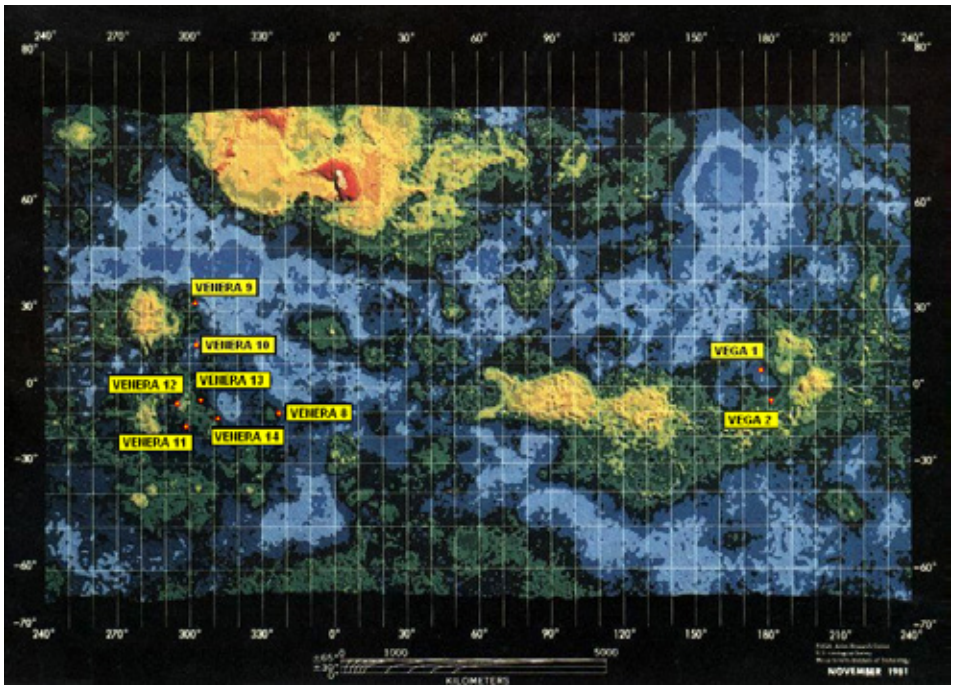


图 3.15　苏联探测器在金星表面的登陆点

可能你会问了：“为什么探索金星的全是苏联人啊？美国人怎么什么都没干呢？”事实上，美国人也没闲着。与苏联的“金星计划”同时，美国也启动了一个“水手计划”。这个太空计划总共发射了 10 个探测器。但不像苏联人一直钟情于金星，“水手计划”发射的绝大多数探测器都去了火星。

当然，美国人也没有完全忘记金星。1989 年，美国发射了“麦哲伦号”金星探测器。它配备了一套非常先进的雷达探测系统，能穿透厚厚的云层直接拍摄金星表面的影像。从 1990 年 8 月 10 日到 1994 年 12 月 12 日，“麦哲伦号”一直在环绕金星飞行，并把它拍到的金星照片不断传回地球（图 3.16）；把这些照片拼在一起，科学家就获得了历史上第一张完整的金星地图。

正是这些为了太空争霸而发射的金星探测器，让人类意识到金星原来是一个如同地狱般恐怖的地方。

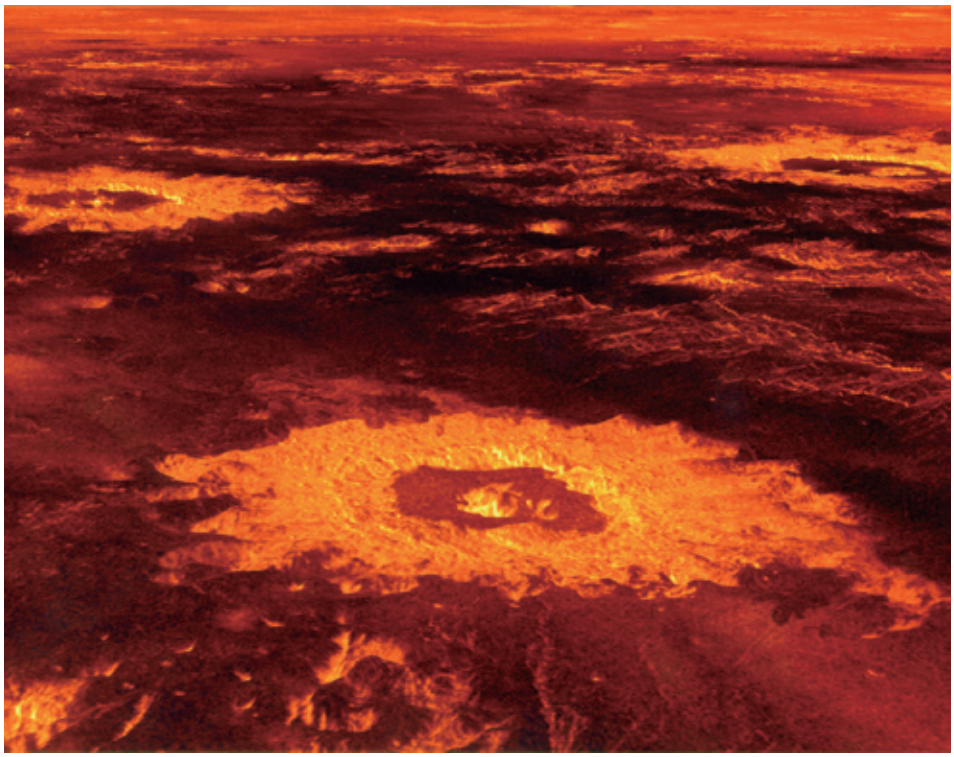


图 3.16　金星表面

金星最恐怖的是以下三点：①高温。金星表面的平均温度约为 460℃，是整个太阳系中最炽热的行星；换句话说，人类要是到了金星表面，立刻会被烤熟。②高压。金星表面的大气压是地球大气压的 92 倍，相当于在 1 平方米的面积上放上一个 950 吨的重物。这是什么概念呢？大致相当于在一个普通人的头顶放上一辆坦克。③强腐蚀性。金星上的火山喷发把大量的硫化物送上了高空，进而形成了大片的硫酸云层；因此，金星上会时不时地下一场规模浩大的硫酸雨。由于这三大危险，金星就变成了一个名副其实的地狱。

可能你要问了："一个明明和地球颇为相似的行星，为什么会变成这种宛如地狱的样子？"最早揭开这个秘密的人，是美国著名天文学家、科普作家卡尔·萨根。

我对萨根的工作量一直感到困惑。一般的大学教授，一生中大概能发表 100 篇学术论文。而萨根，总共发表了 600 多篇论文。除此以外，他还写过 20 多本书（包括一本后来拍成好莱坞大片的科幻小说），做过一个在全世界范围内拥有 5

亿观众的电视科普节目，并长期担当一家学术期刊的主编。更匪夷所思的是，尽管拥有这么惊人的工作量，萨根去世的时候才只有 62 岁。

这些工作让萨根获得了很多荣誉，包括两次普利策奖（新闻界的最高奖）、两次艾美奖（电视界的最高奖）和一次雨果奖（科幻界的最高奖）。当然，萨根在科学领域也贡献颇丰。举个例子。早在苏联的“金星 7 号”登陆金星之前，萨根就已经揭开了金星变成地狱之谜。而造成这一悲剧的罪魁祸首，就是大家在日常生活中经常听到的“温室效应”。

为了便于理解，我先来讲讲地球上的温室效应。

众所周知，任何具有温度的物体都会向外辐射电磁波，这就是所谓的热辐射。物体的温度越高，热辐射的总能量就越高，则短波长的电磁波所占的比重就越高。反过来，物体的温度越低，热辐射的总能量就越低，则长波长的电磁波所占的比重就越高。很明显，太阳表面温度远远高于地球表面温度。因此，太阳辐射的平均波长就较短，而地球辐射的平均波长就较长。

地球大气层中包含一类特殊的气体（其中包括二氧化碳、水蒸气、甲烷和臭氧），称为温室气体。其最大的特点是，对短波长的电磁波几乎没什么影响，但对长波长的电磁波有很强的吸收能力。我们前面说过，太阳辐射的平均波长较短，不会受温室气体的阻碍，能顺利到达地球表面。而地球辐射的平均波长较长，会有相当大的一部分被温室气体拦截下来，进而使大气层升温。大气层又会辐射电磁波，其中一部分进入了太空，而另一部分则返回了地球表面。这意味着，地球辐射的部分能量会受到温室气体的拦截而返回地球表面。很明显，温室气体的存在能让行星表面的温度升高，这就是所谓的温室效应（图 3.17）。

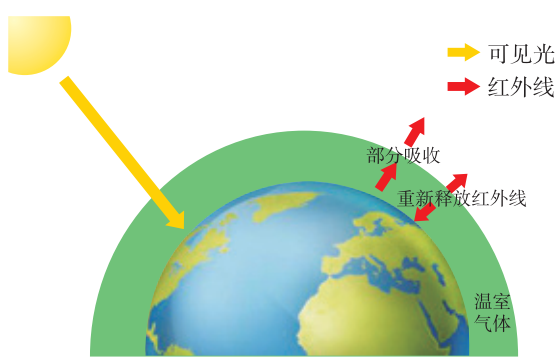


图 3.17　温室效应原理图

我们在游览地球的时候就说过，温室效应是地球能成为生命绿洲的一个非常重要的因素。目前地球表面的年平均温度是 14℃。如果没有温室效应，这个温度会骤降为 −18℃。很明显，如果地球表面的平均温度骤降 32℃的话，地球将变成一个很难生存的地方。

但反过来，如果温室效应大幅增强，甚至最后失控的话，那就会变成一个更加可怕的灾难。1961 年，萨根在《科学》杂志上发表了一篇论文，率先指出温室效应失控是把金星变成恐怖地狱的罪魁祸首。

前面说过，温室气体中包括二氧化碳。在地球大气中，二氧化碳的含量在 0.03% ~ 0.04% 之间。而在金星大气中，二氧化碳的含量高达 96%！这么高的二氧化碳含量，让温室效应彻底失控；相应地，金星表面辐射的电磁波几乎全都被金星大气所拦截。正因为如此，金星表面的平均温度飙升到了 460℃，变得比离太阳最近的水星还要高。

这也能解释为什么金星会拥有如此之高的大气压。大气温度高，就说明大气分子有很快的运动速度。因此，金星大气中那些密度较小的气体（如水蒸气），就拥有足够快的逃逸速度来脱离金星引力的束缚。只有那些密度较大的气体，才会被金星引力继续束缚在它的周围。由于只剩下密度大的气体，金星的大气压自然就大幅增大了。

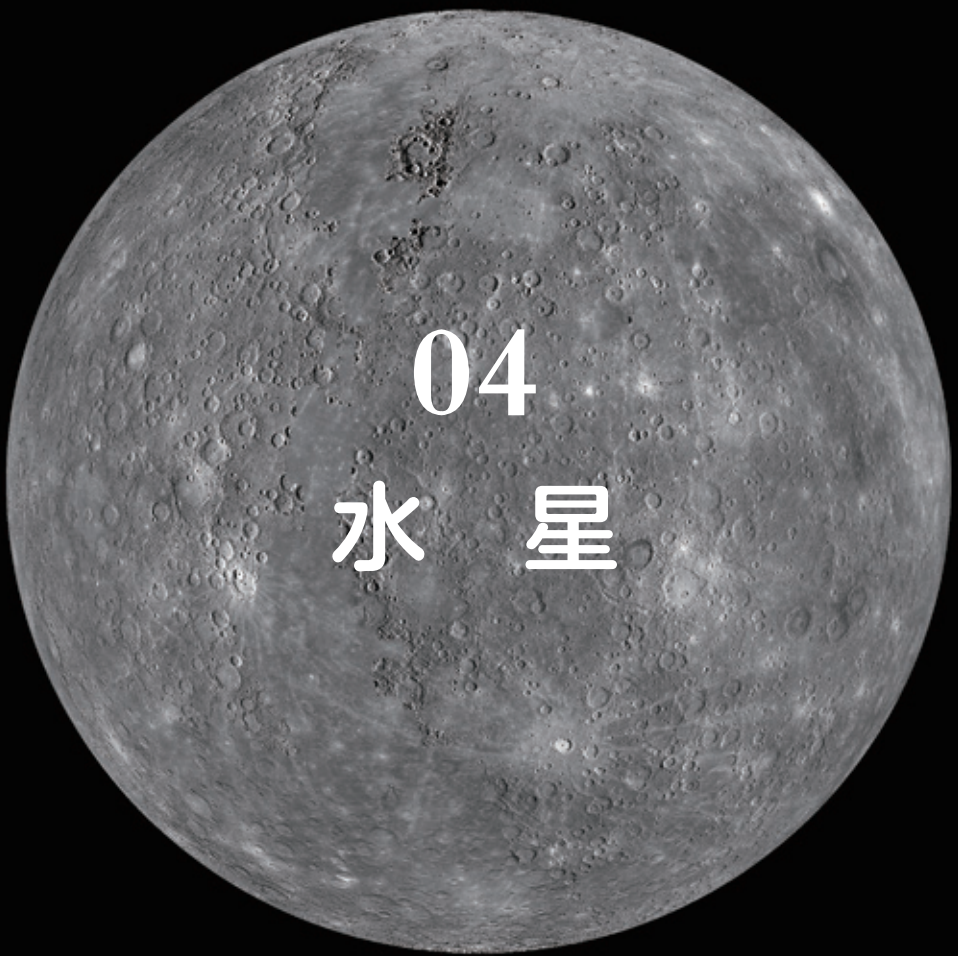
正是由于失控的温室效应大幅升高了金星的温度和大气压，才把金星变成了一个如此恐怖的地方。

我们来做个总结。20 世纪 60 年代初，苏联启动了著名的“金星计划”，在 20 多年的时间里发射了 26 个金星探测器，并把 10 个探测器送上了金星的表面。这些探测器发现，金星其实是一个地表温度高达 460℃、表面气压 92 倍于地球大气压，还时不时会下一场硫酸雨的恐怖地狱。卡尔·萨根最早指出，这是由于金星大气中二氧化碳含量高达 96%，进而导致温室效应彻底失控；而正是由于失控的温室效应所导致的高温和高压，才把金星变成了一个如地狱般恐怖的地方。

最后再说几句。过去一百年间，地球大气中的二氧化碳含量也有了显著的上升。一方面，人类燃烧了大量的化石燃料（如煤炭、石油和天然气），从而向空气中直接排放了大量的二氧化碳。另一方面，人类又大面积地砍伐森林，从而大幅度地减少了能通过光合作用吸收二氧化碳的绿色植被的数量。而进入 21 世纪

以后，全球变暖的进程明显加快。举个例子。全球变暖导致冰川融化，海洋面积占地球总表面积的比例，已经从 20 世纪末的 71% 变成了现在的 75%。

人类必须要保护地球，这已经是一个老生常谈的话题。但说实话，我并不认为地球需要人类的保护。因为她曾历经五次生物大灭绝，而一直岿然不动。真正需要保护的，其实是人类自己。



04
水　星

4.1 水星逆行为何会推动地心说的变革？

离开了金星，让我们前往这次太阳系之旅的第四站：水星（图 4.1）。

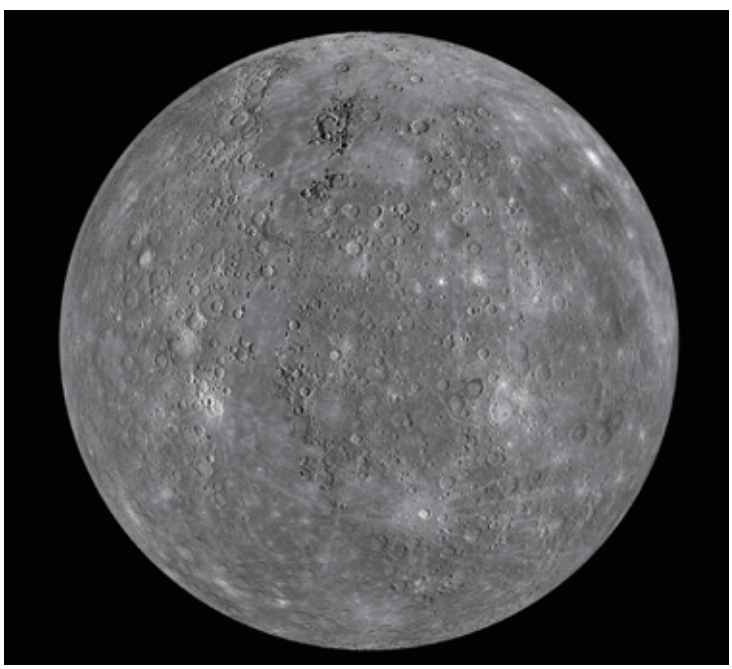


图 4.1　水星

质量：3.301×10^{23} 千克（地球质量的 5.5%）
体积：6.803×10^{19} 立方米（地球体积的 5.6%）
与太阳的平均距离：5.791×10^{7} 千米（日地距离的 38.7%）

水星是太阳系中最小的行星，体积只有地球的 5.6%，质量也只有地球的 5.5%。它也是离太阳最近的行星，只要花 88 个地球日就能绕太阳公转一圈。此外，水星也是全太阳系地表温差最大的行星。它面向太阳的一面，温度高达 430℃；而背对太阳的一面，温度则低至−170℃。换句话说，水星地表的温差能达到惊

人的 600℃ 。

估计很多人一提到水星，首先想到的名词就是“水逆”。

所谓的“水逆”，其实是水星逆行的简称。一年中，大概会出现三四次水逆。占星学认为，在此期间人往往会“诸事不顺”；有些占星师还宣称，这是一段“不适合做重大决定”的危险时期。

那水星逆行到底是怎么回事呢？下面，我就来给你讲一讲。为了便于理解，让我先从相对比较简单的黄道面说起。

从古至今，地球一直在同一个平面内围绕太阳公转。这个地球绕太阳公转的轨道平面，就是所谓的黄道面。事实上，太阳系内的所有行星，当然也包括水星，基本上全在这个黄道面内绕太阳公转。此外，这些行星的运动方向也完全相同，都是自西向东沿逆时针的方向绕太阳旋转。

前面讲地心说的时候，我们已经提到了天球；这是一个假想的、以地球为球心且半径无限大的球面，可以覆盖整个天空。很明显，把黄道面无限延伸，最终会与天球相交成一个圆（就是图 4.2 中那个红色的大圆）。这个圆，就是所谓的黄道。在地球上看来，黄道就是太阳在天球上运动的轨迹。

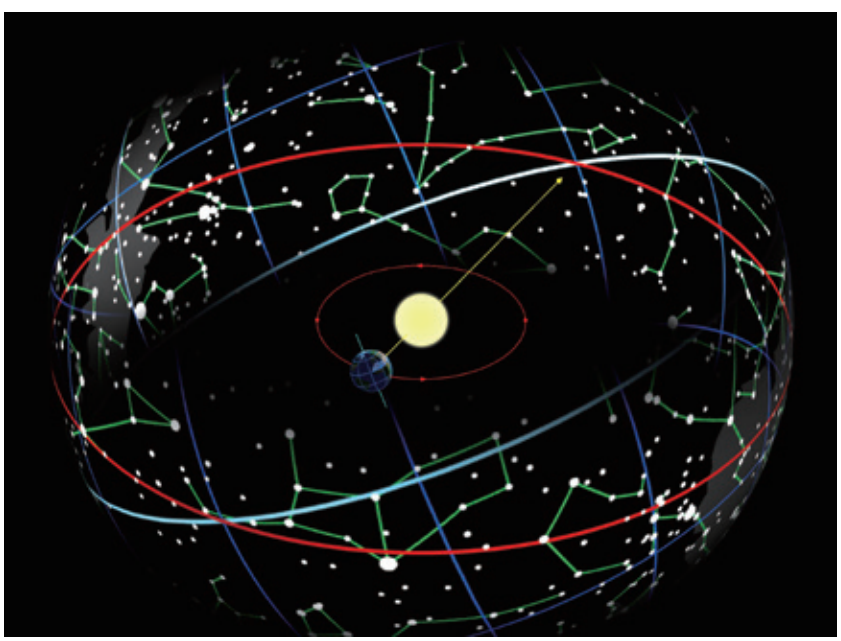


图 4.2　黄道和黄道带

早在公元前 5 世纪，古巴比伦人就提出了黄道带的概念。所谓的黄道带，就是黄道南北两侧各增加 8 度的圆环区域。在地球上看来，太阳系内的所有行星都在这个黄道带内运动。此外，以太阳在春分时的位置为起点，可以把黄道带均匀地划分成 12 个 30 度的区域，分别对应白羊座、金牛座、双子座、巨蟹座、狮子座、处女座、天秤座、天蝎座、人马座、摩羯座、水瓶座和双鱼座，这就是黄道十二宫（图 4.3）。

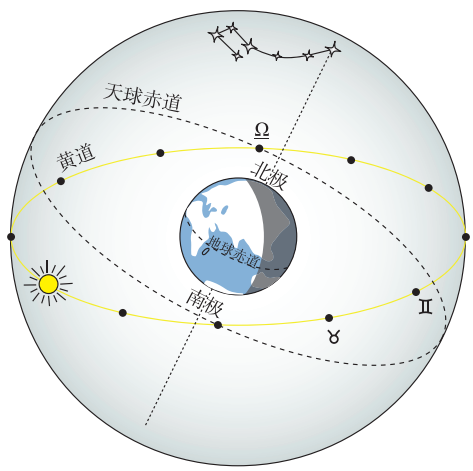


图 4.3　黄道十二宫的示意图

有了黄道带的基础知识，下面我们就可以讲一讲水星逆行到底是怎么回事了。

前面说过，地球和水星都在沿逆时针的方向绕太阳旋转。此外，两者拥有不同的角速度：水星只要花 88 个地球日就能绕太阳转一圈，而地球要花 365 个地球日才能绕太阳转一圈。这样一来，当地球绕太阳转上大约 90 度的时候，水星已经绕太阳转了整整一圈。这意味着，在地球绕太阳转 90 度的过程中，水星可以转到太阳的前面、侧面或背面。

图 4.4 就是水星逆行的原理图。作一条地球与水星的连线，并让它与黄道带相交于一点。随着时间的推移，这个交点在黄道带上的位置将不断变化。在地球上看来，这正是水星在黄道带上的运动轨迹。在地球绕太阳转 90 度的过程中，这个交点的运动轨迹将出现两种情况。第一种情况下，水星转到了太阳的侧面或背面。在此期间，这个交点将在黄道带上沿逆时针的方向运动。第二种情况下，水星转到了太阳的前面，也就是太阳与地球之间。在此期间，这个交点将在黄道

带上沿顺时针的方向运动。换句话说，从地球上看，此时水星在黄道带上的运动方向为顺时针，恰好与水星绕太阳的实际公转方向相反。这个现象就是所谓的水星逆行。

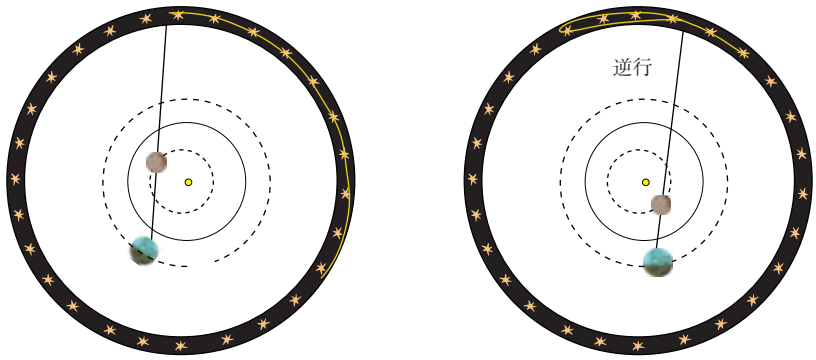


图 4.4　水星逆行原理图

很显然，水星逆行并不是说水星绕太阳公转的逆时针方向会发生改变，而是说当它转到太阳与地球之间的时候，从地球上看到的水星在黄道带上的运动方向会变成顺时针。因此，水星逆行只是一个普通得不能再普通的自然现象，并不会对我们的日常生活造成任何影响。

不只是水星，太阳系中除地球以外的所有行星全都会出现逆行的现象。事实上，在古希腊时代，行星的逆行一直是困扰地心说的最大难题。

在游览金星的时候，我已经向大家介绍过地心说。不过我当时讲的是它最终的版本，而不是它最初的样子。下面我就来聊聊地心说的演化史。

在古希腊，人们普遍相信地球一定静止在宇宙的中心。对此，大哲学家亚里士多德曾做过如下的论述：如果地球是运动的，那么当一个人跳起来的时候，他脚下的大地就会跑走；这样当他落地的时候，他就会落在与之前不同的地方。但实际情况是，一个人跳起来后还会落回原地。因此，大地一定是静止不动的。

今天，我们很容易就能看出这个论述的错误所在。当一个人跳起来的时候，因为他在水平方向上没有受到任何外力，所以他还是会在此方向上保持与地球一起运动的状态，这就是所谓的惯性。不过惯性这个概念，是伽利略在 17 世纪提出的。生活在 2000 多年前的亚里士多德，确实不可能想到惯性的存在。

古希腊人还认为，神创造的天界一定完美无瑕。此外他们也深信，圆是世界

上最完美的形状。因此，所有天体都必须作圆周运动。

所以最早的地心说是这样的：地球一直静止在宇宙的正中心；从内向外依次是月球、水星、金星、太阳、火星、木星和土星，而且这些天体都在绕地球作圆周运动；最外面的，则是镶满了恒星的天球。

相信你已经看出这个早期地心说理论的问题所在了。如果所有的行星都在绕地球作圆周运动，那么就不可能会出现行星逆行的现象。换句话说，在日心说中非常好理解的行星逆行现象，在最早的地心说中就变成了完全无法解释的超级难题。

图 4.5　托勒密

一直到古罗马时代，这个难题才被一个横空出世的天才破解。此人就是我们前面提到过的古罗马大天文学家托勒密（图 4.5）。

托勒密是一个百科全书式的人物。他曾经涉猎过很多研究领域，包括天文、地理、光学、占星和音乐。当然，他一生中最大的贡献还是在天文学领域。

公元 2 世纪中叶，托勒密写了一本关于天文学的百科全书，叫作《天文学大成》。600 多年后，这本书被阿拉伯人翻译成了阿拉伯语，然后在全世界传播开来。夸张的是，阿拉伯人觉得这本书实在太伟大了，干脆把书名改成了《至大论》，意思是“最最伟大的理论”。而在长达 1400 年的时间里，这本书一直是最权威的天文学著作。

为什么后人会对《天文学大成》如此追捧呢？因为在这本书中，托勒密想出了解决行星逆行难题的办法，也就是所谓的大圆套小圆。

图 4.6 就描述了托勒密的解决之道。托勒密认为，地球并非位于宇宙的正中心，而是与真正的中心存在着一个非常微小的

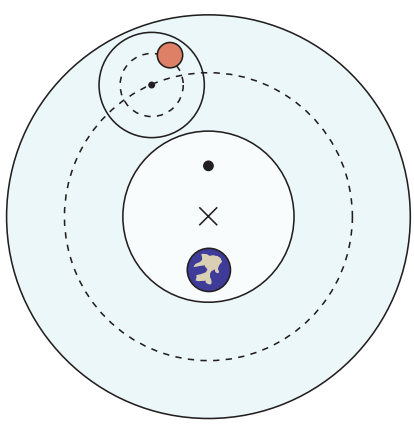


图 4.6　托勒密的解决之道

偏离。此外，五颗行星也并不是单纯地绕宇宙中心作圆周运动。首先，它们都在一个叫本轮的小圆上旋转；其次，本轮的圆心又在一个叫均轮的大圆上绕宇宙中心旋转。换句话说，这些行星的运动轨迹是由本轮和均轮这两个圆周运动组合而成的，看起来就像是公园里的旋转咖啡杯。

基于这个对行星轨道的修正，托勒密提出了最终版的地心说理论，即所谓的托勒密体系。事实上，托勒密体系与实际观测吻合得非常好。它不但能轻松破解行星逆行的难题，还可以很精确地预测所有行星的运动轨迹。正是因为如此，地心说才得以成为一个统治天文学界上千年的权威理论。

我们来做个总结。由于角速度的明显差异，当地球绕太阳转一圈的时候，水星差不多能绕太阳转四圈。而当水星运行到太阳与地球之间的时候，从地球上看到的水星在黄道带上的运动方向会变成顺时针，而这与水星本身绕太阳公转的方向相反。这个现象就是所谓的水星逆行。不只是水星，太阳系中的所有行星（除地球以外）全部会出现逆行的现象。而最早的地心说理论根本无法解释行星的逆行。公元 2 世纪中叶，托勒密写了《天文学大成》。在这本书中，他采用大圆套小圆的办法，建立了一个全新的地心说理论，并一举解决了行星逆行的难题。因此，行星逆行的现象推动了地心说的变革，并让它蜕变成了一个统治天文学界上千年的权威理论。

除了水星逆行，还有一个水星所特有的现象也在科学史上扮演过至关重要的角色。那就是水星近日点进动。

4.2 水星近日点进动如何揭开广义相对论崛起的序幕？

我们在游览地球的时候说过，开普勒在 17 世纪初发现了开普勒三定律，从而证明太阳系中的所有行星都在沿椭圆轨道绕太阳旋转。1687 年，牛顿出版了他的划时代巨著《自然哲学的数学原理》，从数学上严格地证明了引力的平方反比律能导出开普勒三定律。换句话说，只要牛顿的万有引力定律是正确的，行星就一定会沿椭圆轨道绕太阳旋转。反过来，如果行星的运动轨迹不是椭圆，那么牛顿引力理论就会遇到麻烦。

1859 年，法国天文学家奥本·勒维耶在研究水星运动轨道的时候发现了一个非常诡异的现象，那就是所谓的“水星近日点进动”。

为了解释什么是水星近日点进动，让我从相对简单的开普勒第一定律说起。开普勒第一定律告诉我们，行星会沿椭圆轨道绕太阳旋转，而且太阳恰好位于这个椭圆的一个焦点上。

所谓的椭圆焦点，是指椭圆内部的两个非常特殊的点。在椭圆边界上任选一点，画它与这两个焦点的连线，所得到的两条线段之和将始终保持不变。换句话说，椭圆上的每一点与这两个焦点的距离之和都是恒定不变的。将这两个焦点的连线延长所得到的椭圆内部最长的那条线段，就是椭圆的长轴。长轴与椭圆有两个交点。其中离太阳远的那个叫作远日点，而离太阳近的那个叫作近日点。

了解了近日点的概念，我就可以来讲讲什么是水星近日点进动了。图 4.7 就展现了水星近日点进动的基本图像。在开普勒和牛顿看来，水星绕太阳公转的椭圆轨道是稳定的。换言之，水星近日点应该固定在同一个地方，不会随时间的推移而发生改变。但勒维耶发现，这种看法是错的。正如图 4.7 所示，水星绕太阳公转的椭圆轨道并不稳定，而会发生螺旋式的改变；相应地，水星近日点的位置也并不固定，而会发生一定的偏移。这个水星近日点位置随时间改变的现象，就是水星近日点进动。

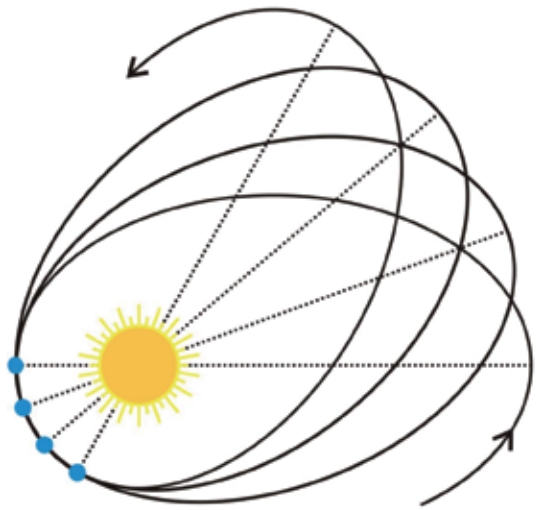


图 4.7　水星近日点进动

当然，这张图片画得相当夸张。真实的水星近日点进动其实非常微小。很明显，水星近日点进动前后的两个位置，以及太阳本身，构成了一个三角形；而这个三角形中以太阳为顶点的那个夹角，就能用来描述进动的大小。勒维耶发现，要经过整整 100 年的积累，这个夹角才能达到 574 角秒。

可能你不是很熟悉角秒，那我来解释一下。众所周知，1 小时包含 60 分钟，而 1 分钟又包含 60 秒钟。类似地，1 度的夹角包含 60 角分，而 1 角分又包含 60 角秒。换句话说，把我们熟悉的 90 度的直角平均分成 32.4 万份，其中的一份就是 1 角秒。因此，水星要进动整整 100 年，才能让它的近日点位置发生 574 角秒的偏离，你可以想象这个效应到底有多么微小。

现在问题来了：为什么水星会发生近日点进动呢？有两种可能。第一，太阳系中还有其他天体，它们的引力造成了水星近日点进动。第二，牛顿引力理论本身有问题。勒维耶对此进行了非常深入的研究。他发现太阳系中其他行星的引力会造成每世纪 531 角秒的偏离。这意味着，还有 43 角秒的偏离无法用牛顿引力理论来解释。

勒维耶是牛顿引力理论的忠实信徒。他压根不接受牛顿引力存在错误的可能性。为了解释这 43 角秒的偏离，勒维耶提出了一个非常大胆的猜想：在水星和太

阳之间，还存在一颗以前没发现的小行星。勒维耶把它称为“火神星”，并宣称正是火神星的引力导致了那额外的 43 角秒的偏离。但问题是，没有任何人能找到这颗火神星。

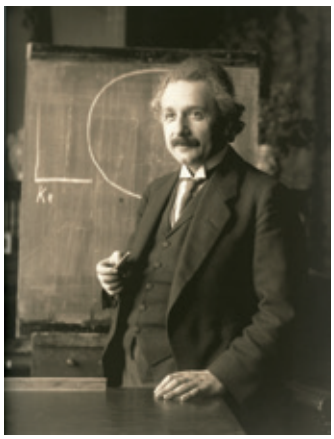


图 4.8　阿尔伯特·爱因斯坦

这样一来，水星近日点的 43 角秒的进动，就成了一个无人能破解的世纪难题。一直到半个多世纪以后，一位科学巨人的横空出世，才为这个世纪难题的解决带来了曙光。这位科学巨人就是大名鼎鼎的阿尔伯特·爱因斯坦（图 4.8）。

作为有史以来最伟大的两位科学家之一，爱因斯坦的人生中也曾经历过极为灰暗的时刻。1902 年，他给自己的大学同班同学格罗斯曼写了一封信，倾诉自己无法找到工作的痛苦。在这封信中，爱因斯坦甚至无奈地自嘲道：“上帝创造了蠢驴，还给了它一张厚皮呢。”

1900 年，爱因斯坦毕业于瑞士第一名校苏黎世联邦理工学院（Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,ETH）。在那个年代，大学生毕业后根本不愁找不着工作，因为大学生的数量非常稀少。举个例子，1900 年，包括爱因斯坦在内，ETH 物理系总共只有 4 名大学毕业生。其中 3 个人都顺利地找到了工作。唯一的例外就是爱因斯坦。

为什么只有爱因斯坦找不到工作呢？答案是他自己瞎折腾。读大学的时候，爱因斯坦是一个相当叛逆并且恃才傲物的年轻人。他特别喜欢逃课。就算偶尔去上课，也经常对一些讲课不好的老师表示不屑。这样一来，他就把 ETH 物理系的全体教授都得罪光了。所以毕业以后，没有一个教授愿意给他写推荐信，这就导致爱因斯坦没能在学术界找到工作。

毕业后整整一年半的时间，爱因斯坦都找不到一份体面的工作，只好靠给别人当家教来勉强维持生计。在此期间，他不知曾向多少个数学、物理、化学教授寄过求职信，结果全部石沉大海。极度郁闷中，爱因斯坦就给自己的大学好友格罗斯曼写了前面提到的那封诉苦信。

格罗斯曼动了恻隐之心。他通过自己父亲的关系，让爱因斯坦走后门找到了

一份在伯尔尼专利局当技术员的工作。这份工作的工资不高，但是有一个特别大的好处，那就是可以上班摸鱼。事实上，爱因斯坦只需花两三个小时就能完成一整天的工作；剩下的时间，他就可以用来搞自己的物理学研究了。

爱因斯坦的办公桌上总是堆着写满公式的稿纸。要是有领导路过，他就会迅速地把稿纸塞进抽屉，然后假装自己在认真工作。

正是在这些上班摸鱼的日子里，爱因斯坦破茧成蝶，变成了一个真正意义上的科学巨人。1905 年，他一口气发表了 5 篇划时代的论文，在量子论、原子论和狭义相对论这三大领域都取得了革命性的突破。正因为如此，1905 年也被后人称为“物理学奇迹年”。

但即使取得了如此伟大的成就，爱因斯坦也并没有立刻时来运转。事实上，当时除了极少数的专家，压根没人知道他是谁。所以他还是只能待在专利局里继续当他的技术员。1908 年，苏黎世的一所高中在报纸上刊登广告，想招一名数学教师。当不上大学老师的爱因斯坦心动了，向那所高中递交了申请，结果在第一轮就被淘汰了。

可能你会问了：“爱因斯坦年轻时倒霉也就罢了，为什么在缔造了物理学奇迹年以后，依然没能出人头地呢？”答案是，当时的爱因斯坦其实并没有做出他一生中最重要的贡献。要到 1915 年，他才能提出自己一生中最伟大的理论，那就是被誉为科学史上最美理论的广义相对论。

在很多人的心目中，广义相对论都是一种宛如天书、只有一小群科学家才能搞懂的理论。但事实上，要是给它取一个好名字，根本不会把这么多人吓跑。广义相对论其实应该叫“爱因斯坦引力”。

我们前面已经讲过牛顿引力。它说的是，世界上任何两个物体之间都存在引力，而且引力的大小与这两个物体的质量成正比，而与它们距离的平方成反比。但不知你是否想过，引力到底是怎么产生的呢？这个问题，牛顿引力理论就回答不了了。但“爱因斯坦引力”理论却可以。

为了更好地理解爱因斯坦引力理论，让我们来做一个思想实验。

想象一张非常平坦且弹性十足的大床垫，有一个小玻璃球在上面滚动。如果没有别的干扰，玻璃球会一直沿直线滚动。现在把一个大铁球放在床垫上，它立刻会让床垫凹陷下去。很明显，如果此时玻璃球再从大铁球周围经过，其运动轨

迹就会发生明显的改变。如果初速度足够大，玻璃球还能逃离这片洼地；但如果初速度比较小，它就会沿着被压弯了的床垫滚下去，最终撞上这个大铁球。

重点来了。现在请发挥一下你的想象力。你觉得这个小玻璃球沿凹陷床垫滚下去的场景，像不像是它受到了大铁球的引力（图 4.9）？确实很像，对吧？

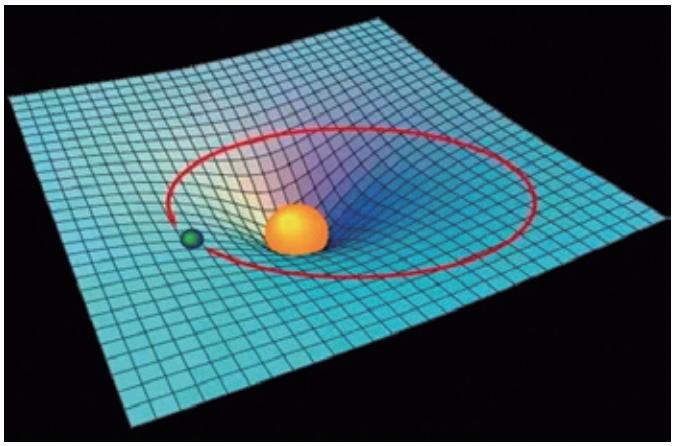


图 4.9　广义相对论的基本图像

现在把床垫当成时空本身，把小玻璃球当成地球，把大铁球当成太阳。爱因斯坦引力理论说的是，太阳的存在会把时空本身压弯，而时空弯曲对周边天体的影响，恰恰等价于把这些天体拉向太阳的万有引力。换句话说，引力其实就是有质量的物体把原本平坦的时空压弯了的结果。时空弯曲就是万有引力之源，这就是爱因斯坦引力，或者说广义相对论最核心的思想。

可能你会问了：“那么牛顿引力和广义相对论到底有什么差别呢？”答案是，在绝大多数的情况下，两者其实并没有什么差别。只有在大质量恒星附近，或者说引力特别强的时候，两者之间才会出现一个很小的差异。换句话说，当引力特别强的时候，广义相对论会比牛顿引力多一个修正项。

1915 年，爱因斯坦发现，这个多出来的修正项会产生额外的水星近日点进动，而且这个进动的幅度恰好是每世纪 43 角秒！这意味着，广义相对论能够完美地解决牛顿引力无能为力的水星近日点进动的世纪难题！

事实上，这就是广义相对论的第一个实验验证，它也揭开了广义相对论在学术界崛起的序幕。

关于广义相对论的崛起，不妨再多说两句。

除了水星近日点进动，科学家还想到了一个能用来检验牛顿引力和广义相对论的办法，那就是所谓的“光线偏折”（图 4.10）。

假设太阳后面有一颗恒星。这颗恒星发出的光，在经过太阳附近的时候，会由于受到太阳的引力而发生偏折。这样一来，在最初恒星发射的光线和最后射入我们眼里的光线之间，就会出现一个夹角，被称为偏折角。最关键的是，用牛顿引力算出来的偏折角是 0.87 角秒，而用广义相对论算出来的偏折角是 1.74 角秒。这意味着，只要通过天文观测，测出这个偏折角的大小，就可以判断到底是牛顿引力还是广义相对论更靠谱。

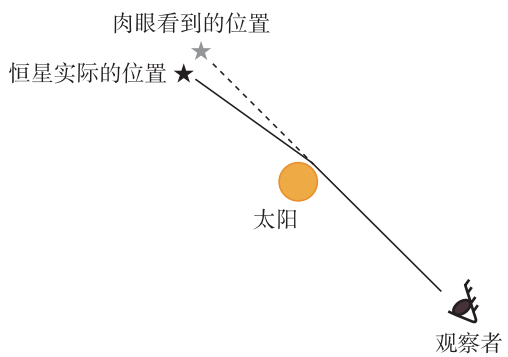


图 4.10　光线偏折

但在一般情况下，这个观测是做不了的。因为太阳本身就会发出很强的光，所以从遥远恒星射过来的那点微弱的星光，一跑到太阳附近立刻会被太阳的光芒吞没。这意味着，要想进行光线偏折的观测，必须先遮住太阳光。因此，这个观测必须在日全食的时候进行。

1919 年 5 月 29 日，就发生了一次日全食（图 4.11）。那一年，英国著名天文学家亚瑟·爱丁顿组织了两支远征队，分别前往非洲和南美洲去观测日全食。同年 11 月 6 日，爱丁顿在英国皇家学会宣布了最终的测量结果：去非洲的那组人测出的偏折角是 1.61 角秒，而去巴西的那组人测出的偏折角是 1.98 角秒。这两个结果都青睐爱因斯坦的广义相对论。

从那以后，爱因斯坦的广义相对论就取代了牛顿的万有引力，成了学术界最主流的引力理论。爱因斯坦也因此成为足以与牛顿比肩的、有史以来最伟大的科

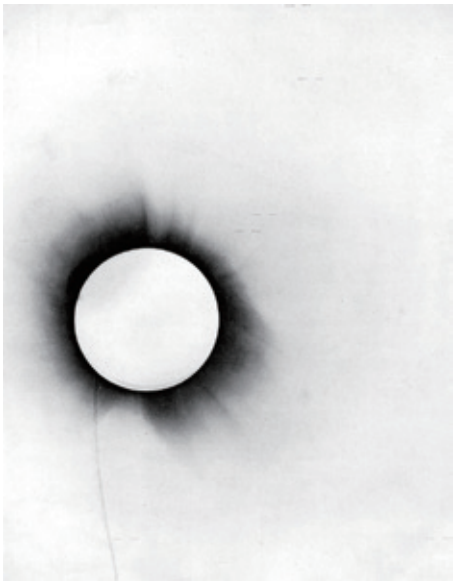


图 4.11　1919 年的日全食

学巨人。

我们来做个总结。1859 年，勒维耶发现了水星近日点进动：经过 100 年的累积之后，水星近日点的位置会发生 574 角秒的偏离。勒维耶发现太阳系中其他行星的引力会造成每世纪 531 角秒的偏离，但还有 43 角秒的偏离无法用牛顿引力理论来解释。1915 年，爱因斯坦提出自己一生中最伟大的理论：广义相对论。广义相对论认为，时空弯曲就是万有引力之源。这个理论完美地解决了牛顿引力无能为力的水星近日点进动的世纪难题。这揭开了广义相对论在学术界崛起的序幕。

我们已经介绍了两个与水星有关，并在科学史扮演过至关重要角色的天文现象：水星逆行和水星近日点进动。当然，这两个天文现象都是在地球上观测到的。接下来，让我带你去游览一下水星本身。