学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

穿越时空

BOOK

内部资料 非卖品

穿越时空

前言

一个多世纪以来，皇家科学院每年都要邀请一些科学工作者在圣诞节期间做一些内容为“少年儿童能接受”的科学讲座。实际上这种说法很模糊，它意味着听众将是求知欲强而爱挑剔的人，内容要老少皆宜，适合从8岁到80岁不同年龄人的口味，知识面既要考虑到无知学童，又要考虑到博学的自然科学教授和皇家协会的前辈同仁。他们都希望讲座中有使他们感兴趣的东西。

本书的内容包括我有幸应邀在1933～1934年圣诞节期间做的一些讲座，并在某些地方充实了一些在其他较为郑重的场合讲过的内容，包括在皇家科学院和其他场合讲过的内容。

非常感谢各方给予的宝贵支持和帮助，并对此表示深深的谢意。我要特别感谢T.L.希思勋爵，感谢他授权从《希腊天文学》一书和其他著作中引用大量材料。同时我要对许多研究所、出版社和个人表示谢意，感谢他们借给我底片、照片、资料等，感谢他们允许我在书中加以引用——书中专有详细清单，向插图的提供者鸣谢。最后更要感谢托马斯·希思勋爵和我的妹妹杰拉尔德·金斯校阅本书，对剑桥大学出版社的工作人员在刊印本书过程中一贯的认真负责精神表示敬意。

詹姆士·金斯

杜金鸡

1934年8月

地球从一大团炽热的气体开始其一生，于 20 亿年前开始冷却 并收缩，于是有了高山、河流。沧海桑田，它的表层藏匿着生命演变的全部历史。

第一章地球

当今的人们爱活动，凡是能外出旅游的人都尽量出游。有些幸运者可能已去过欧洲之外的地方旅游（甚至周游过世界），欣赏过各地风光美景。好，现在我们则开始进行一次别开生面的、有史以来最漫长的旅游——在空间遨游。我们漫游（或者假装漫游）太空时，我们的地球看上去就像太阳光线中的一粒尘埃；整个宇宙的历史是如此久远，使我们感到人类的历史简直发生在钟表的“滴答”之间。而一个人的一生，不过转瞬而已。

当我们穿越太空时，我们要设法描绘一幅现在宇宙的图画——浩瀚无边，令人难以置信；空旷寂寥，使人颤栗。在那极端的沉寂中，我们难得有机会碰上冰冷的、毫无生气的物质的微小颗粒；在更罕见的情况下，会遇上熊熊燃烧的气态的球——我们称之为恒星，——只有这些景象聊以慰藉我们感到孤独、荒凉的心灵。大多数恒星在太空中独来独往，但是我们也会时而遇上个被行星家族环绕的恒星，它得用自己的光和热使那些行星光明、温暖。然而，这些星体很少有像我们的地球这样，它们中的绝大多数跟地球是截然不同的，我们无法描绘它们的景致，也无法想像它们的物理条件。

当我们在时空漫游时，我们将把瞬间画面延伸，像电影胶片一样，不仅展现宇宙的现在，而且还展现宇宙的过去和未来。我们将把天空看成是 100 万年前的、10 亿年前的，甚至是万亿年前的。我们将观看广袤的星空。星星的数量之多就像沙滩上的沙粒，它们在那里诞生、成长直至死亡，就像一场大戏里的一个微不足道的情节。我们将观察一颗不起眼的沙粒——太阳——在混沌初开之际的大动荡中破碎成小块，最后在其周围形成了一家子行星。我们将观察这个家族中的较小者——地球。在开天辟地之初，我们的地球是个高温的气态球，逐渐冷却，最后终于成为适于生命繁衍的摇篮。我们将看到生命的诞生。人类出现后占据着空间一席之地，他们瞪着惊恐的双眼，看着这个孕育其生命的陌生世界，繁衍生息；他们怀着莫名其妙、或许是迫不及待的心情战战兢兢地注视着未来。

在我们动身作漫长的旅行之前，让我们先关注一下我们在这个空间的家园——地球，从中我们能获得大量知识。这对我们的旅行将大有益处。我们知道，地球是球形的，我们可通过周游世界时标出我们的足迹以了解这一点，也可以通过观察船越过海平面时的情景了解这一点，还可以通过观察月食时地球在月球上的影子的形状来判明这一点。听起来，做到这一切似乎轻而易举。殊不知人类在这个地球上住了几十万年之后，才有了足够的智慧懂得这些道理。时至今日，仍然有人在错误的思想影响下，认为

大地是平的。古希腊人，包括荷马人，认为大地是平的，像个圆盘。那些海洋绕着圆形大地流动。他们认为海洋都是些河流。天空是圆穹，像个盘子盖在盘子上那样罩在大地上。公元前 570 年左右出生的毕达哥拉斯可能是第一个认为大地是球形的人。

我们还知道地球在旋转。日复一日，夜复一夜，我们总看到太阳、月亮和星星从东方升起，缓缓地漂过天空，在西方落下。自从人类有了智慧曙光以后，想必已经注意到这一现象。只要人类认为大地是平的，那就很容易把天空想像成一个大圆穹顶绕着大地转，而不会想像成大地在大圆穹顶下面旋转。毕达哥拉斯虽然认为地球是球形的，并在宇宙中漂浮着，但他也没有想到地球会在星空之下旋转。他认为地球是宇宙的中心，是静止的，那些日月星辰都附在那个大天球上围绕着地球从东转到西。就我们所知，邦徒司的赫拉克莱第斯（大约公元前 388—315）是明确指出地球在自转的第一人。由于地球自转，使得星辰看上去好像在天空运动。

我们能毫无困难地证明我们自己在星辰下运动，而不是星辰在我们头上运动。我们现在都开汽车，都熟悉物体有一种属性，我们把它叫做“惯性”。大约在公元 100 年左右，普卢塔克曾这样描绘它：“一切物体在没有外力干扰时都会保持自身运动”。1500 年后，艾萨克·牛顿又重新为物质的这一特性下了定义。他说，任何物体在没有外力影响时，都保持其静止状态或保持直线匀速运动。当汽车在快速行驶时，我们把发动机停下，汽车并不立即停止运动，汽车的冲力还会使汽车跑一段距离。要想使车停下来，我们就得踩车闸，或者让地面的摩擦力或风的阻力使汽车慢慢停下来。不仅是一切物体，而且任何物体上所有部分似乎都有保持现有运动状态的倾向。只有用力拉一下，强迫它改变，运动方式才能有变化。如果我们转动汽车的方向盘，我们能使车的底部跟着前轮运动，但是车的上部似乎要继续先前的运动路线。因此，如果我们猛转方向盘，我们知道是危险的，汽车会倾翻。或者当路面积冰或泥泞时，汽车轮子就“抓”不住路面，汽车的后部就会继续先前的运动方向。这样一来，汽车后部就会甩出。在穿越时空的旅行中我们会常常遇上这个惯性问题。

这一点眼下对我们很重要，因为它给我提供了非常简单、最有说服力的证据，证明地球在转动。如果我们在绳子的一端拴个球或其他重物，使它像钟摆那样摆起来。这时我们会发现，不管绳的上端如何缠绕，重物始终在空中沿着相同的方向摆动。就像不能通过缠绕绳子的顶端来控制重物在空中的摆动方向一样，我们也无法用方向盘来控制冰面上的汽车轮子。

现在我们架设一个大摆锤，让它朝一个确定的目标摆动，例如朝向一个教堂的塔尖。我们想让这个摆锤摆得时间长一些，我们就得把一个很重的物体挂在高高的屋檐下。在做这个试验时，如果摆锤太轻，它很快会因为空气的阻力而停摆。如果地球在空间是静止的，我们的摆钟自然会继续朝教堂塔尖摆动，一直摆到空气阻力使它停下来。但是实际情况并非如此。

我们发现摆锤偏离那教堂越来越远。摆锤原先摆动的实际方向是不会改变的，因此我们可以得出结论：移动位置的只能是教堂。情况果真如此。地球的转动使教堂与地球一块移动。

现在让我们开始旅行。先到北极去，并且带上我们的摆锤，到那里再做一次试验。咱们不看陆地，只注视天空，让这个重锤朝着天空某一颗星星摆动；如果我们选定大角星（牧夫座α星），那么摆锤就会一直朝着大角星摆来摆去。这就证明大角星在天空的位置一直不变。如果此时我们低头看地面，就会发现地球表面移动了，而我们摆锤的摆动方向却没有移动。地球转动的速度是每 24 小时转 1 周，——说准确点，是 23 小时 56 分 4.1 秒转 1 周。在其他纬度做这个试验就没有这么容易了，而且既不好解释，也不容易描述。

这个试验就是众所皆知的博科摆实验。在 1852 年，这位法国物理学家当众做了这个试验。他把大摆锤悬挂在巴黎万神殿的大圆穹顶上，有数千人现场观看。当他们看到大摆摆动的方向与殿内墙壁的位置相对变化时，许多人惊叹他们能够感觉到他们脚下的大地在转动。

惯性原理还提供了第二个、但不那么直接的证据，证明地球在转动。我们英国人已经习惯了我们天气的瞬息万变，殊不知在地球的其他地区有的气候几乎不变。赤道附近的天气一向很炎热，当风刮过这一地区时，空气受热上升，就像在一间热房间或烟囱里的热空气往上运动一样。同样，当风刮过北极和南极地区时，空气受冷下降。

如果地球根本不转动，在赤道上受热的空气与在两极受冷的空气就会使整个大气持续不断地进行南北流动。在两极地区空气受冷下降，紧随其后的下降的空气造成的压力，使这股冷空气沿地球表面向赤道地区移动；在赤道地区这股空气受热上升，在上空向两极地区移动。这种循环是确实存在的，但是却被地球旋转所造成的更为复杂的现象给掩盖了。

地球在旋转，同时也带动整个大气的循环体系一起旋转。但是循环中的空气不能总跟上固体地球作同步旋转，有滞后现象。在挪威的某座山或某一地区，围绕地轴旋转的速度大约每小时 500 英里，而赤道附近的某个地方，每小时旋转速度大约 1000 英里。地球转动时，摩擦力使地球表面的空气随地球运动，但是速度一般每小时在 500 英里至 1000 英里之间。与此同时，空气又从挪威向赤道方向运动。地球上的山脉和地表面还不可能把全部空气带起来随地球同时旋转，空气总要多多少少滞后一点，这就像汽车上的离合器在没有咬合好、车轮的转速跟不上发动机的转速一样。当我们感到空气滞后时，就会有东风出现。

季风，这种赤道两侧由东向西刮的风，就是这样产生的。如果地球不转，就不会有这种季风。因此，季风也提供了地球旋转的证据。向西航行比向东航行要容易，因为向西航行时，我们周围空气的阻力使我们没有完全随地球同时运动。在往东航行时，我们要克服地球转动造成的更多的困

难。

在赫拉克莱第斯解释了地球的旋转之后，亚历山大的埃拉托色尼用精湛的技艺成功地测量了地球的大小。他和同时代的大多数人都认为与地球的宽度相比，从地球到太阳的距离要大得多。那么，如果大地完全是平的，太阳就应当同时处在所有地方的正上方。他发现实际上并非如此。当太阳在西印（今埃及的阿斯旺）的正上方时，却不在亚历山大的正上方。亚历山大在西印以北 5 000 斯塔德（1 英里=10.14 斯塔德）。因为太阳光在这两个地方不能出自不同的方向，所以他认为“正上方”的说法肯定有区别。事实上他发现这两地阳光方向的差距是圆周的 1/50，即 7.2 度。当太阳处于西印的正上方时，在亚历山大，阳光却偏离正上方天顶 7.2 度。于是他得出结论说两地间地面的弧度是 7.2 度。或者用我们今天的话来说是两地间纬度相差 7.2 度（脚注[①]：实际上两地的纬度相差 7 度 7 分）。简单的计算表明地球的准确周长想必是 5 000 斯塔德的 50 倍，即 25 万斯塔德。埃拉托色尼把这个周长修正为 25.2 万斯塔德，大约相当于 24 662 英里。地球的实际周长南北向测量为 24 819 英里，而赤道的周长为 24 902 英里。我们看到埃拉托色尼的计算结果的误差小于 1/100。

咱们再举个例子来说明一下惯性原理——任何物体在不受外力作用时，都保持直线运动。我们用一根绳拴个重物，然后抡起来。这时绳突然断了，这个重物马上按切线方向飞出去。线断了，但是做圆周运动的重物的惯性使重物沿直线方向继续运动。在绳断之前，肯定有什么东西拉着这个重物使它保持圆周运动。当然，拉重物的是这根绳。

现在地球赤道上的物体所处的位置就像绳上的重物一样，地球带着它们每 24 小时转 1 圈 24 902 英里，时速在 1000 英里以上。按惯性原理，假如没有什么因素阻止这些物体，或拉住它们，它们本应当沿切线方向飞入太空。

■ 图 1 埃拉托色尼发现当阳光垂直照在西印时,在亚历山大阳光却偏离垂直方向 1/50，即 7.2 度。他得出结果：地球的圆周是西印到亚历山大的 50 倍。

我们这里所说的那种因素叫做地球“引力”。这个引力拉住我们的身体，使我们想跳也只能跳几英尺高。当然喽，这个力也同样拉住地球上的所有其他物体。但是，这种引力也并不是万能的。物体作圆周运动时速度越快，需要拉住它的力就越大——这就像我们用绳抡重物转圈一样，抡得越快，我们感到绳的拉力也就越大。地球的引力能轻而易举地拉住时速在 1000 英里以下的运动物体。但是，如果物体运动的速度再快些，地球能控制住物体的机会就少多了。如果地球突然加速，以 17 倍于目前的速度旋转

[①] “脚注”表示英文原版中此类注释采用的是页下注的形式。本书中则将大部分原有脚注改用文内夹注形式，并加“脚注”二字。

——85 分钟转 1 周，地球对物体的控制将完全消失。到那时的景象将令人目瞪口呆：赤道上和赤道附近地面上的物体将沿切线方向飞入空中；当然，大气和海洋也将相伴相随，一起升空。地球上的万物就像沾在自行车轮子上的水滴一样，轮子转得慢些，什么事也没有；一旦轮子飞转起来，轮子上的水珠将飞离轮子，一去永不复返。

就实际情况看，赤道上的物体还远未到被甩入空中的程度，但是肯定有这种倾向。例如赤道上的人不费太大的力气就能跳过 6 英尺，比在其他地区要省劲得多。因为地球每小时 1000 英里的转速帮助他克服了一点地球引力。正因为如此，在不同纬度创造的运动记录并不严格一致，因此靠近赤道会对记录有影响。

我们可以看到证明这种倾向的进一步的证据。地球本身在赤道一带是凸出来的。这就是为什么人们常说地球像个橘子一样，是扁平的。但事实上地球的最长直径比最短的直径只长 27 英里，相差 1/300。——这样的橘子看上去是相当圆的。尽管地球扁的程度微乎其微，但是我们很快就会看到某些行星旋转得很快，一眼就能看出它们扁得很明显。再往后我们在旅行中还会看到另一类天体，它们转得非常快，它们赤道上的物体实际上被甩进太空了。

我们的地球不仅像个橘子有点扁，而且表面粗糙高低不平，有高山有峡谷。但是这样描述容易夸大地球表面凹凸不平的程度。如果按正确比例来画，地球上得有 50 英里高的山脉，画图时才能画出来。实际上地球上最高的山峰珠穆朗玛峰也不到 5.5 英里高。在一个直径为 12 英寸的地球仪上，重叠一层纸就代表大约 7 英里的高度，反映的高度比地球上实际出现的高山还高。考虑到各种情况，地球确实是个很完美的球体，比橘子可圆多了、光滑多了。把地球比成橘子，从第三方面来看也不恰当。地球上的山脉的形成并不规则，不像橘子皮上的小疙瘩那样均匀；山脉实际上是不规则的，像干瘪苹果上的褶，横七竖八的。说来巧了，这后一种比较还挺真实，因为地球上的山脉实际上是地壳收缩褶皱形成的；它们的存在跟干缩苹果皮上的褶如出一辙。关于这些问题，恐怕我们不能充分理解，我们得在时空方面探索更多问题——上溯开天辟地，下入地球内部，探索地球形成发展史，——此后我们才能对地球有个比较深刻的了解。

我们如何来探索地球内部呢？当然喽，我们可以挖个坑，就像开矿找煤那样，或者可以像钻井探油那样。但是，这样的方法都不可能使我们进入地球的中心。钻孔采油，只能到达地下 8 000 英尺深度，而挖煤却只到一半——4 000 英尺。人类打的最深的洞只相当于在苹果皮上扎个小坑，我们根本无法进入地心。

就是因为这个原因，直到最近，我们对离我们最远的星辰状态的了解都要比我们对脚下数英里深的地球内部的知识要多。不要惊奇，事实确实如此。然而新兴的地震科学却向我们展示了比现在的矿井要深上数千倍的

地球内部——差不多就是地球中心的情形。

有种种迹象表明地球内部的压力永远在变化，地球的结构也永远在逐渐地变化以适应这永远变化的压力。但是有时候地壳的这种逐渐的变化跟不上或顶不住地下压力的剧变，地壳就突然崩开，地动山摇——发生地震。

当地震爆发时，震波从破裂处向地球的各个方向传播，就像向池塘水中投一石子，波纹从石头在水面的撞击点向四面传播而传遍池塘一样。当这种震波在地球表面出现时，它们带有大量关于震波从地球内部向地表传播的长途中所遇到的地质状况的信息。因此，这些震波将由分布在世界各地地面上数百个地震台或观察站记录下来，供科学家们研究。这些地震台（站）每年都要记录下世界各地的数百次地震。幸运的是其中大多数的震动轻微、对生命和财产都不会造成损失。这种地震要不是因为有灵敏的地震仪，根本就观察不到。

图 2 显示了这种仪器的基本部分。它包括一个长臂或水平摆，它可以在一个垂直的枢轴上自由摆动。这个立轴又以某种方式与地面上的岩石或泥土地连起来。当地面震动时，震波就随之而来，使枢轴震动，也就使水平摆开始摆动。在水平摆的远端有一枝笔，这枝笔在移动的纸上自动记录下震动波形。需要有两台这种仪器同时工作，一个水平摆南北向，另一个东西向。如果只有一台仪器，这个水平摆就不能记录它所指的那个方向上传来的震波。

如果要使这种仪器更准确地测量，水平摆的悬吊必须非常精密、敏锐。但是，这样一来地面上的一切震动都记下来了，不论是什么原因造成的。例如，它能如实地记录下过往火车、公共汽车、卡车所引起的震动。如果观测者不想被这些现象所迷惑，想排除干扰，他最好把地震仪安装在安静的地方。但即使这样，观察者还会发现海浪拍击岸边会使整个海岛震动，从而使地震仪震动。因此，远离海边的内陆观测者凭记录也可知道海上是波涛汹涌还是风平浪静。在印度克拉巴地震台获得的记录图形的变化跟孟加拉湾和阿拉伯海的情况有直接关系。1000 英里之外的暴风雨也能被记录下来。因此，人们曾试图用地震仪来预测龙卷风和季风。

对于有经验的观测人员来说，区分上述种种情况造成的地表局部震动与地震造成的整个地球的震动并不困难。图 3 显示了地震仪的部分记录。第二行右边的大波形记录的是实际的地震，其余的小波线都是原因不明的小震动造成的。

当地震仪记录到地震波时，不同的地震台都记下震波到达的时间。根据各地震台间所记录的不同时间，可以算出震波在地球表面传播的速度。

如果地球内部的结构和组成成分是规则的、相同的，那么地震波的传播速度就应当是一样的。实际上地震工作者发现地球深处的震波传播速度比地表震波的传播速度要快得多。另一方面，在同一深度的地震波传播的平均速度也是一样的。不论传播方向是南北向的、东西向的，还是其他方

向的，无论是大陆地下传播还是在洋底传播，不管是在新大陆的地底下还是在旧大陆的地底下，同一深度的震波传播速度都一样。这表明地球内部在同一深度的构造、物质的构成大体相似；而深度不同，情况就可能不一样。

在■图 2 地震仪的主要部分。地球内部垂直的震动波传到砖结构中，使两个水平摆作小角度摆动。这种微弱的摆动经机械杠杆加以放大、记录。■图 3 地震仪的部分记录。第二行右侧的大波纹记录的是一次相当强烈的实际地震，其余的小波纹都由原因不明的震动所造成。

这样一来，我们可以认为地球内部就像个洋葱头一层一层相互包裹起来成球形，或者我们可以想像地球像个裹了许多层的大圆包裹。

发生地震时，大多数观察到的、感觉到的震波可能造成损失。沿地表（即地面）传播的震波被称为“面波”。除此之外，还有两种明显的震波在地球深层传播。一种叫“P 波”或“初波”，这种波纵向运动；另一种叫“SP”或叫“次波”，是一种横向运动的波。液体或气体都不能传播横向震波，因此横向震波只能在固体中传播。实际上后一种震波在地球内部到处传播，只有一部分区域，即地核部分除外。地核大约是个直径为 2 200 英里的圆球部分。这样，我们就可以有把握地说：整个地球除了地核部分外，都是固体。地核不是液体就是气体，或者还有一种我们所不了解的物质状态。看起来地核很可能是一种很重的液体，其密度是水的密度的 10 倍或 12 倍。这种液体的主要部分很可能是铁熔液，可能还混有镍。很可能像地质学家们认为的那样，它的化学结构跟常常落在地球上的陨石类似。事实上，这种陨石的密度通常并不一定是水密度的 10 倍或 12 倍。但是，我们通常不可能在很高的压力下看到它们，而地心的压力肯定非常高，因为它要支撑地球大部分重量。粗略的计算表明，地心每平方英寸的压力大约在 7 500 吨左右，这相当于大气对地球表面的压力的 100 万倍。地心的压力可能更高，达到每平方英寸 1 万吨。

我们可以把地核当成我们的包裹。这第一层大约有 1700 英里厚，通常称之为“地心圈”。在这一圈，两类地震波都能传播，这表明它是固体，比钢还硬。即使在地心圈内部，地震波传播的速度也不是均衡的。如果把地球作为一个整体看，在地球深处地震波能快速传播，表明较深层的物质比浅层的物质要硬。在地心圈内部，可能有这种现象存在：最深层的铁、镍等重物质会逐渐变成像构成地表岩石那样的较轻物质。

地心圈延伸到距地球表面大约 50 英里处,因此剩下的这几层相对要薄一些。科学家认为，这几层所含物质是岩石类的，因此被称为“岩石层”。地震学家探测出有明显的三层，而地震波在这三层地质结构中传播的速度和方式都不同，这至少为研究岩石层的结构提供了某种迹象。地质学家们对最深层的情况没有取得一致意见，但是对中层和上层的结构取得某些共识。一般认为中层可能含玄武岩，上层几乎肯定含花岗岩。

图 4 是地球内部结构图，是按地震学资料描绘的。地球的核心部分及我们上文描写的地心圈各层构成地球的基本的永久性部分。如果我们把地球看成是个苹果，那么苹果核就是地核，果肉就是地心圈，果皮就是岩石层。这样画出来的地球结构图不会太不合比例。除了这几层之外，外面可能会偶然地、暂时出现性质多变的别种地层。我们不妨把这些比作苹果皮外面的尘土、雨水。

首先看苹果皮上的“尘土”。这是地球表面被称为“沉积层”的地层。沉积层可能有若干层，它们的整个厚度各地区相差很大，从数英里到零，因为有些地区岩石层的花岗岩层几乎露出地表。

其次看苹果皮上的“雨水”。这是地球表面的海洋，其深度从最深 5 英里到零不等，因为大洋中也有露出水面的陆地。

最后看地球表面的外层——大气层。它包括两层，一层叫“对流层”，另一层叫“平流层”或者“同温层”。我们将在第二章对此详细讨论。

■　图 4 根据观察到的地震波形想像出的地球内部结构图。地球表面最高的山峰，只相当于岩石层的 1/10，因此肯定比图中最外面的线要细。最外面那条线可代表地球表面。

我们知道地表薄层有许多不同的物质。一般来说，深层所含物质比浅层所含物质要重，就好像重物质沉到地球深层、而轻物质浮到上面似的。但是，这种分离远不那么泾渭分明。一些已知的最重的物质，如铅、水银、金等也能在最外层发现。

后面我们将看到在盘古开天地之时，地球如何从一个很可能是一大团灼热的气体开始其一生的。地球是在一场大灾变中诞生的，当时很可能是个天翻地覆的混沌世界，各种物质都搅混在一起，但有的并未完全化合。后来平静下来了，大动荡停止了，较轻的物质开始逐渐往上浮，较重的物质逐渐往下沉，有的沉到地核里。

在此期间，地球的温度一直在下降，直到液化，最后出现固体。当地球某一部分成为固体后，这一部分内部的各种物质就不能再上升或下沉了，于是就在一块固体物质内固定下来了，从此就永远固定在这个位置了。从地壳上和地球内部轻重物质的分布情况来看，当初的分离进行得相当不错。当然还没等彻底分离开，地球就已经固体化了。

地球最外面的几层因为已经没有保温层了，所以冷却得最快，因此是最先固体化的。这样一来，地球就是由硬外壳包着内部较软、较热的气体和液体，——就像个肉馅饼，骗人的较凉的外皮里裹着的馅仍然烫得无法下嘴。就像把馅饼放在一边让它凉着一样，地球也有一段漫长的时间使内部几层也慢慢冷却下来，同时也收缩。因为大多数物质，特别是气体，遇冷都要收缩。

普通馅饼的皮完全可能承受住馅饼的重量，但是当馅有数百万吨重时，那普通的硬皮就不行了。地球的外壳想必也有过类似的情况。内部的

几层冷却收缩后便脱离开地壳表层，并且不再支撑地壳的重量，于是地壳就塌陷到内部的层面上寻找支撑物。在这个过程中就出现这样一个问题：在物体表面固化并停止收缩的情况下，如何才能进一步变小？解决的办法只有一个：发生褶皱，就像一个苹果那样，时间一长，苹果柔软的果肉和核就要收缩，于是苹果皮就起褶皱。图 5 显示的是地球表面几乎成垂直状态的褶皱使得页岩和石灰岩破碎。那一层层破碎的原始岩石想必也是这种地球运动的结果。

地球这种方式的运动形成了高山和峡谷。这个过程还没有完全停止，地球表面仍在慢慢地变动，那里隆起，这里下陷，不断出现新的增高和新的下降。有时会有地震造成的突然滑动，这在前文已经讨论过。有时正在下陷的地壳和已经下陷的地壳会对地球内部的热的物质造成压力，迫使它沿着裂缝上升，直至喷出地面，像火山、油井、温泉和间歇泉等。这种情况在地球的早期历史中肯定进行得更为激烈，在目前地质状态中留下了当年火山运动的痕迹。因为有很多山脉有证据证明它们是当年火山爆发时形成的，虽然现在地球上的活火山不多了。

■图 5 这是凯立拉岛西南端的地质构造：一层层黑色页岩和石灰岩石板褶皱及碎裂的情景。左侧一把地质锤提供一个参照比例。褶皱造成的破碎，有的是地质锤的千倍大，有的只有它的千分之一。■图 6 图中显示的火山岩，在巴兰特律以南的阿艾夏海岸。这些火山岩是岩浆流入大海经冷却而形成的。

很早以前火山爆发时喷发出来的大量的岩浆和熔岩流，至今在地球表面不少地区仍可见，在地质上称之为“火成岩”。图 6 显示的就是阿艾夏海岸的巴兰特律的岩浆流。这股岩浆流想必是直接流入大海，立即冷却凝固，形成了现在大片的“枕状岩”。这片岩石虽然可能经过了 4 亿年的风吹浪打，却依然保留着当年的磅礴气势。北爱尔兰的安特雷姆著名的玄武岩巨人岬提供了类似的例证：当年喷涌而出的熔岩，遇水后立即形成现在这种六边形石柱。这些从火山口喷出的熔岩，为我们提供了地球内部物质最真实可靠的样品。水和气体想必也是以类似的方式从地球内部喷出，成为大气层和海洋的组成部分。

当地壳陷落，与其已经收缩的内部物质合成一体时，那些褶皱并不是完全胡乱形成的。因为地壳在结构上并非绝对规则，很可能含有轻物质，也含有重物质。一般来说，较轻的物质在上面，形成山岭，而较重的物质则往往下沉到山体的下部，构成山谷和海底。因此，我们会自然而然地认为每立方英尺的高山物质应比每立方英尺的海底物质轻。近来认真仔细的测量证实了这一点。

科学家们并不试图从这座山上取一立方英尺的物质，再从一个海底取一立方英尺的物质进行比较。这种方法对于高山来说太原始了，而对于海底来说又是不可能的。从前，人们把一个很长的摆锤——就像非常古老的

钟摆一样，但是制做得非常精密、科学——放在高山顶上，通过摆的摆动来测高山的结构。最近几年，摆锤被更精密的仪器代替了，但是基本的工作原理是一样的。

山顶上比下面的平原离地心远一点，因此地球的引力相应的会小一点。当一个钟摆被拉向一侧，让它摆起来，那么摆锤到达最低位置比在平原上要慢一点，因此所需要的时间就比在平原上所需要的时间长。换句话说，山顶上的钟表会越走越慢。如果山体是由地壳上的平均物质构成的，我们就可以准确地计算出钟会慢多少时间。如果实际所慢的时间比计算出来的时间稍微慢一点，说明构成山体的材料比地壳的平均质量要轻。如果把钟放在潜艇上带到海底去，条件刚好相反，如海底是由地球上平均物质组成的，这个钟就会比平原上走得快一定时间；如果钟走得比这个值还快，说明海底是由重材料构成的。

最近（编者注：此指本书的写作年代而言）有个理论叫做“地壳均衡论”，它使上述理论更加严密。这一理论认为：高山高耸于平原之上，就像船高出水面一样，——它们都在漂动。这一理论还假定高山像船一样，它的整个重量决定它在漂流时的高度。一条船，包括船身、船员和货物的总重量是 3 万吨，它漂流时的高度是它排水 3 万吨时的高度。换句话说，如果突然使这条船脱离水面，水面上就留下了大坑，需要 3 万吨水来填平。这一说法正好跟 2 200 年前阿基米得原理相吻合。

地壳均衡论假定高山漂流的高度也是由上述理论决定的。当然喽，高山不是真正在水上漂流或者在真正意义上的液体中漂流。我们都知道，普通沥青看上去像固体，但是在长时间持续不断的压力下它会像液体一样变形；而液体只要受到压力，马上就变形。沥青的弹性很强，可以变形达数小时或几天；冰的变形要几个月或几年（如我们在冰川所见），而玻璃的变形则需数十年甚至数百年。我们现在讨论的物质如果经过数百万年也能变形的话，也就可以说明问题。多种方式的计算表明，我们必须深入到地层 20 英里处才能找到富有弹性的层面。好了，我们现在的问题是个常识问题：沥青或任何其他物质受热后更具可塑性，更容易变形。这个道理恐怕对地壳也适用。所以 20 英里深的地球内部能够提供所需要的可塑度。地壳均衡论认为，重达万亿吨的高山能漂起来（耸立起来），就是因为它取代了山下地层深处可塑性地层里的万亿吨物质。最精确的测量表明这个理论准确地解释了观察到的高山的高度。

说到这里，我得把我们的话题暂时放一下，向读者介绍一项更新的理论。提出这个理论的是一位名叫韦格纳的德国科学家。这项理论很有意思，尽管在科学家们当中并未受到广泛认同。这项理论认为各大陆和大岛屿都在漂移，不仅像船一样漂动，而且像独立的船一样可以相互靠拢或彼此分离。这一理论认为新旧两块大陆原本就是一艘巨大的船，后来发生海难破碎成两块，然后就彼此远离，其中一块构成欧洲和非洲，另一块组成南北

美洲；并且提出一项证据说：如果把新大陆往东北方拉 3 150 英里靠在非洲的西南部，使巴西的伯南布哥对着非洲海岸的喀麦隆湾，会相当吻合。虽然从地图上看并不十分吻合，但是我们不能认为这纯属巧合，因为这两个地区在大西洋沿岸的地质构造非常相似。那里的山脉、岩石甚至化石都相似。正是因为这些理由，地质学家们长期以来一直猜想这两个大陆当初是连在一起的，共同组成一个大陆。而新理论解释了这两个大陆是如何分离的。如果把北美再向东拉，将会与欧洲很吻合，北美的新英格兰将与我们的旧英格兰靠在一起。韦格纳认为，现在漂在大洋上的所有陆地，在若干亿年之前曾经是一整块大陆，约占地球表面的 1/3。

除了这些理论或假说之外，我们还知道，山脉，甚至包括大陆的高度，并不是固定不变的。当我们爬山时，我们会不时地看到石头往下滚，但如果你看到石头往上滚一定会大吃一惊。雨水、雪、冰甚至还有风，常年不断地对岩石侵蚀和风化，使山坡上的岩石破裂、松动，最后终于有一天滚落到山下。我们会看到山脚下那熟悉的景象：到处是巨大的砾石、成堆的碎石岩屑等。图 7 显示的是在位于昆伯兰的瓦斯特韦特的东侧，一座不算高的山脚下堆积的大量碎石岩屑。高山顶上的积雪变成冰川，慢慢滑进峡谷，同时夹带大量大小不等的岩石。在丘陵地带，雨水、山洪冲刷山坡，夹带大量泥沙流入大海。我们到处见到高山上的物质被冲到海底。这个过程使高山的高度降低、海底增高。

■ 图 7 昆伯兰的瓦斯特韦特东侧堆积的碎石岩屑

地壳均衡论表明，总的高度至少能部分地互相弥补。因为当山上的土石被冲下山来，山脉失去了重量，因而就漂得高一点，补充了一点失去的高度；而海底接受了河流冲来的大量泥沙而变得重了，于是就会下降，从而部分地抵消了因大量泥沙的沉积而增加了的高度。

这种在高度上连续不断的调整，加上其他原因，导致了地球表层的海陆变迁：整块陆地降到海平面以下，海底隆起，形成新大陆或高山。公元前 6 世纪希腊的色诺芬尼曾有记载：在内地，甚至在高山上发现贝壳，在纽约的锡拉丘斯采石场还发现海藻和鱼类的化石。我们不必在这次时空旅行中到古希腊去寻找海陆变迁的证据；在我们身边俯拾皆是，尤其在伦敦的白垩山，那里有大量的海洋微生物的化石和贝壳。这表明，那里从前曾经是相当深的海底，很像现在的大西洋中部的海底。在英国沿海，我们也在海底发现森林和动物的尸体。

■ 图 8 朗古仑以北两英里处的艾格尔威赛格山上水平的条状石灰岩

泥土、沙石从山上冲下来，叫做“剥蚀”；泥沙等冲入大海、沉入海底，称作“沉积”。沙石沉入海底形成沉积层，这我们在前文把它比作苹果皮上的尘土。如果不是因为反复出现地球表面的升降变迁、反复调整高度，那么海底的沉积层应当很均匀，一层层很平整，就像平桌子上的书本一样。在地球上有很广大的地区——加拿大东部的广大地区，西伯利亚东

部的广大地区，波罗的海沿岸、俄罗斯西部地区以及远古冈瓦纳大陆的残存地区，包括南美洲东部的大部分地区、南部非洲、阿拉伯和印度——不同的沉积层都一层层平整地排列着。在较小的范围里，如在铁路或公路和路堑、海边的山崖、内陆的高山上常常能看到一层层沉积层，整齐的、层次分明的岩石或沙土（如图 8 所示）。地质学家们把这种沉积层叫做“条痕”。图 9 所显示的是美国科罗拉多河谷这种条痕地层的大面积下切。这种切割不是人力在几天之内完成的，而是大自然在数百万年间鬼斧神工的力作。

■ 图 9 科罗拉多河谷北侧。暴露出来的早期沉积岩一层层排列得平整、均匀，很有规则。

科罗拉多河千百年、上万年在这块土地上流淌，慢慢下切，冲刷表面松软的泥沙，将其带进大海。我们看到岩层一层又一层堆积起来，总厚度达 5 000 多英尺；绝大多数层面粗略看上去都相当平整，但是有经验的地质学家能发现有几处地层隆起和沉入海底的证据。

在其他地区可能不一定有普遍的地球表面的下沉和上升，但是局部地区的地壳可能会裂开、断块错开，于是“条纹”就不再是连续的了。这就是“断层”（见图 10）。

■ 图 10 在兰纳克的莫桑德·克莱的士代尔钢铁厂的条文状砂岩的断层

如果有一条像科罗拉多河这样的河纵贯我们英国大地，我们就可能用一张显示我们英国地下不同层次的地质图来代替图 9 的照片。可惜，我们没有这样的河为我们提供这一景象。但是通过在各地挖洞钻孔所获得的地质资料来分析研究地表构造，使地质学家有可能画出一幅英格兰斯诺顿到威尔士的哈韦奇一线地表构造图。不管世界其他地区的地质层如何，我们看到我们英国的地质层已经不再像书本那样平整有序了，而是倾斜、破碎、断裂，这是由我们在前文讲过的地层高度升升降降重新调整造成的。很显然，这里发生过地层的大面积偏斜，使西边翘起、东边下沉，而局部地区发生显著的变异。东部地下发生的隆起现象，是把岩石层抬高到离地表只有几英尺，而其他地方却在数千英尺之下。这种地质层的偏斜并没有引起地面相应的倾斜。因为地表原本应当很高的地方已经被侵蚀、风化、冲刷掉了，并填补了原来的低洼处。如果我们继续把地质层比作书本，我们就该想到这本书现在不但搓皱得不成样子，而且有很大一部分被搓碎、扯掉了。

图 11 显示的是伦敦从南到北 70 英里较短地段。在这里，无论在北面还是在南面，我们都没有看出很明显的倾斜。最显眼之处是，从总体上看这本书略有弯曲。我们看到伦敦处于黏土层上；再往下是断裂的白垩层，厚度有 650 英尺。我们已经看出，这里曾经是海底，很容易重现当年发生的变迁：首先是地下的地层隆起，使本来平坦的海底变成起伏不平的陆地；

然后水从地势较高的黏土层向西流经白垩层；接着形成了比较宽阔的河流，逐渐沉淀下白垩沉积层，部分地淤填了河床，却使较高的白垩山不受影响。第二步是原始人开始在河边适宜的地区定居。最后，伦敦就出现在黏土层上，白垩山环绕四周。白垩山在伦敦南侧，从丹佛那白色的悬崖到吉尔德福德那连绵的群山，通到猪背岭往西，一直延续到汉雷的托马斯以北，穿过奇尔特恩山，直到赫特福特夏的白垩城，最后到剑桥夏。即使在这张地图上，地质层的变形仍然很广泛。但是，在只有几英尺宽的岩石标本上，有时甚至在非常薄的显微切片上都能看到非常相似的地层变形。

■ 图 11 伦敦地质结构剖面图。北起乌本，南到苏塞克斯的韦尔德，大体上是南北走向。

现在，这本倾斜扭曲的书本真正有趣之处在于它实际上是一本历史书。不论这本书有多倾斜弯曲、多破碎，每一页都是在一个确定的时期沉积下来的，都有一定的长度、宽度和厚度；或者至少是在一个确定的时代期限内形成的，因此当时的全部历史就埋藏在其中。

为了真正弄明白这一点，我们把思路从托马斯转到尼罗河畔。尼罗河每年都在下埃及的大地上泛滥，洪水退后，沉积物使埃及的高度升高 1 英寸左右。如果我们在这沉积层上往下挖 1 英尺，我们就会发现 500 年前的遗弃物。往下挖 4 英尺，我们就一定能找到公元前后的物品。实际上，埃及的土壤成了埃及历史的分层记录。只要往下挖这土地，我们就可以翻阅那些历史篇章。古币的铭文告诉我那些法老的特点和成就；普通的器具、武器和工具向我们展示出人们当时的生活。

对于世界其他地区的地面，我们也可以用同样的方法处理，只是每一英尺的沉积物并不一定总能代表 500 年历史，因为沉积物是在不同地区以不同速度沉淀的。而且许多历史篇章并不一定像我们在挖掘时见到的那样一页页有规则连续排列。在许多地方由于断层、地壳的升降破裂，以致把整本书都搓乱了、书页撕破了。这也是幸运的事情。因为，假如地层不发生升降变化，书页都那么整整齐齐地排列着，那么我们就得下挖 100 多英里才能接触到最下层的篇章。而事情正好像自然发生的那样，我们常常钻孔钻到比较浅的地方，有时甚至走过某一地区就能接触到暴露在外的较深层的书页。

如果我们依次翻阅地球表层这一页页历史，或者凭智慧的目光观察所走过的一片地区，实际上我们是在翻阅地球史（不仅仅是埃及的历史），翻阅它记录下来的不同的文明史。首先，我们看到的是文明程度很高的人类遗留下来的钱币、石刻；然后看到原始人使用的器具、金属武器和火石，有时伴有他们猎获的动物尸骨。在更深层，我们将看到更为古老的记载：类人猿遗留下来的只有他们的遗骨。再往下，我们来到那蛮荒的史前时期，这里只有鬼怪似的庞然大物的遗骨；再往地层深处看，就只有爬行动物、鱼类和植物的化石；到最后一页，是没有生命的土壤、水和岩石。

我们在地层中看到那遥远的过去所发生的那一桩桩改天换地的事件，实在令人叹为观止，尽管我们还不能准确地说出各事件发生的具体年代，我们当中的很多人连这一历史长河中最精彩的事件发生的年代都没记住。这些情况在学校中未能广为人知的原因是我们希望能像记数学公式一样准确地记住它们。有趣的是当我们读到大约 700 年前，英王约翰被迫签署大宪章时，我们后代人却要劳神记住那个年代 1215 年，都觉得挺枯燥。

现在物理学家发现一种能够确定这部地球历史书各个篇章日期的方法，这是最佳的可能的方法。探测到的日期很精确，令人十分感兴趣，这种精确绝不会让你觉得无聊、枯燥。我们知道有些表的表针在暗处也能看到，因为上面涂了一层镭涂料。表针在黑暗中发荧光，清晰可见。但是我们用精密的仪器可以测出那种光并不像看上去那么稳定。它发光是由镭原子无数次分别爆炸引起的，而每一次爆炸都导致一个镭原子的死亡，或者应当说每一次爆炸都造成一次转换。因为，镭原子并未完全消失，而是留下一个特殊类型的铅原子，作为先前存在的记录。这种由镭向铅的转换的速度绝对是匀速的、规则的，完全可以在实验室中被测量出来。这样，如果我们能测量出表针上有多少镭、多少铅，我们就能知道这个表针有多长时间了，也就知道这块表有多少年了。

我们可以用类似的方法来测定地壳岩石的年龄。

在显微镜下观察像云母和电气石这类矿物的薄片时，人们会发现它们有“彩晕”，显示出多个同心圆，如图 12 所示。在这些晕的中心总有一个微小的、放射性物质的斑，像镭一样在进行规则有序的衰变，只是更慢一点罢了。这种物质可能是铀，也可能是钍，也可能是二者的混合物。这些多彩的环就是这种放射性物质在衰变过程中产生的。在试验室中，可以人工造成类似的晕，所以很容易弄清楚它们的构成模式。人们还知道年代久远会使晕的颜色变深。所以通过察看岩石中晕的总体颜色，人们就能估计出岩石的年龄。

但是，含大量铀和钍的岩石并没有晕。在这种情况下，化学分析的方法可以准确地告诉我们岩石分解到什么程度，据此我们也能估计出岩石的年龄，就像我们凭夜光表针来估计表的年龄一样。例如，加拿大东部大量的伟晶（花岗）岩就是用这种方法测定的，大家一致同意这种岩石是 12.3 亿年前形成的。有的岩石的年龄更久远，但不会久远得更多。一般说来，得出的数字不会比上述数字更精确。

■图 12 云母片上放射性物质的微小斑痕产生的彩晕（放大 200 倍）

如此说来伟晶岩是我们这部地球史书中最古老的一页，成书的日期已经明确下来了。在这一页上我们知道，在 12.3 亿年前地球就有了固体地壳，上面有河流纵横流淌，把地面上的泥沙冲刷到大海里。再深层的地层的形成年代没法确定，它显示的将是地球冷却、固化的全过程。我们目前尚说不清楚这些早期过程延续了多久，但是肯定有好几百万年。因此，估

计地球的年龄不会少于 15 亿年。

地球的年龄不会比这个数字大得太多，否则地球上的放射性物质早就衰变完了，放射现象为何物，我们就无从知晓了，这就像有朝一日未来的高级“生物”——如果那时有什么生物的话——不知道放射为何物一样。不过，这将是万亿年之后的事。除非放射性物质能够再生，而现在我们对此却毫无所知。更为详细的研究表明，地球的年龄不太可能大于 34 亿年，很可能比这个数字小。有人估计地球的年龄应当在 15 亿年与 34 亿年之间，比较可靠一点应当是 20 亿年左右——是人类历史的 10 万倍以上，是基督教时代的 100 万倍以上。很难想像这个数字究竟意味着什么。我们最好把“百万”这个数字想像成一本大厚书里的字母。比方说一本书有 500 页，每页 330 个词，平均每个词 6 个字母。如果我们用这本书来代表地球的年龄，那么有人类的历史用最后一个词就能代表，而基督教时代却连最后一个字母都占不上。就在这最后一个字母的时空里，有罗马帝国的兴衰、基督教在世界各地的传播、欧洲西部广大地区摆脱了凯撒的野蛮统治纷纷建国成立了目前这些国家……60 代人在此期间生生息息。至于你我这一辈子，在历史长河中仅是短短的一眨眼，在这部书中只是一个小点，就是字母“i”上面的小点。

■图 13 已知的最早藻类。图片显示的是放大 190 倍的化石切片。■图 14 在寒武系岩石中发现的海绵、水母、海星、蚯蚓和珊瑚虫化石。这些都是非常原始的生命形式，有的至今仍生活在世界上，形态没有多大变化。

如果我们读完这部百万言巨著的最后一个词之后还要继续看，我们的历史书就是地壳及其内部的各层了（前面讲的是地壳上面的沉积层）。把地球内部层层岩石和泥土做为书页，许多书页在漫长的岁月中也都褶皱、破碎。但是，整个布局仍井然有序，而且有的层面也确定了形成日期。现在我们假定把书页理平，开始翻看这部地球历史巨著的各个篇章，能看出些什么东西呢？

我们从 20 亿年前开始，在数亿年的地质构造中，我们看到地球开始冷却、安定下来，但没有任何生命迹象。翻过一页又一页，只见到地质活动情况。直到后来翻到 12.3 亿年这一页，我们才看到含碳的地层。这为地质学家们提供了假想的证据：海洋中开始存在某种最简单、最低级的生命形式，生命已经来到了地球上。我们继续往下翻，看到的还是些地质变化——稳定的沉积层只是因为大地震、地壳升降才使地层发生一些形变。最后终于翻到 10 亿至 5 亿年前，我们才看到生物残骸的化石——只不过是岩石里夹杂的一些斑痕罢了（见图 13）。地质学家们认为，这些斑痕是生命的遗骸，当然是生命的最原始形式。然后又过了很久，翻到 5 亿至 4 亿年这一页，我们看到生命形式复杂多了，种类也丰富多了，发现有蚯蚓化石、水母化石和其他一些器官不齐全的低级动物的化石，跟现在的同类动物没有多大区别（见图 14）。

斗转星移，转眼翻过了数百万年，我们终于翻到了画面动人的一页，这里的植物化石看上去很像是今天的植物。它们看上去像植物，实际上却不是植物，因为它们生活在海底，更像海葵或海星（见图 15）。但是，此后不久，生命开始进军陆地，我们看到第一批类似青草和蕨类的植物化石。随着陆地植物繁衍增多，我们看到地球逐渐呈现出目前的面貌。草根把沙土固定住，使之成为固定的土壤。与此同时，出现了以草为食的动物，以及以这些草食动物为食的其他肉食动物。这个时期是大型爬行动物主宰世界的初期。这个时期的代表性动物是巨型异齿龙（见图 16），它是一种巨大的肉食性蜥蜴，据信在 2.5 亿年前生活在现在的北美地区。

简单低级的生命形式，如蚯蚓、水母和海绵（见图 14）出现了，它们的形态与今天的同类没有多大类别；但是较为复杂的生命形式势必经过许多变化。随着我们继续翻阅这本书，就翻到被地质学家们称为“二叠纪”和“三叠纪”及物理宇宙论者所说的大约 2 亿年以前的篇章。在这里我们看到高高耸起的山脉完全改变了地球的面貌。在北半球，许多海洋，包括现在的太平洋和印度洋，在那时却是一片陆地，只有大西洋那时才是一片汪洋。在南半球，从海中升起了一片巨大的大陆，地质学家们称之为冈瓦纳大陆，它西起现在的南美洲东部，直到现在的非洲、澳大利亚。地质学家们向我们展示了岩石中的一个小凹坑中的鱼化石，那些鱼紧紧地挤在一起，像罐头中的沙丁鱼。它们在死前的最后一刻挤在一块争抢那仅有的一丁点水。由于海洋太小，蒸发出来的水分太少，因此雨量就自然而然地减少，结果大陆的大部分成了沙漠，尤其是在现在北欧的位置上我们看到海洋缩小成湖。由于干旱日益严重，盐湖的浓度越来越大，最后竟形成了盐矿。我们在彻夏和斯坦福德夏都能发现这种盐矿。

■图 15 大约 4.5 亿年志留系的化石。这可能就是人们描绘的所谓海百合时代。因为图中所示的植物生长在海底，非常茂盛，它们的遗体化石构成厚厚的海底石灰岩层。海百合其实并不是植物，更像海星或者海葵。

■图 16 巨型异齿龙，大型笨重的肉食爬行动物，身长 9 英尺。据说栖息在距今 2.5 亿年前现在的北美地区。

■图 17 单鳍巨头螈，为爬行动物的一种，2 亿年前的大旱时期栖于陆地。

到后来大干旱时期过去了，但是前文提到许多生命形式却未能在后来的历史篇章中再现。它们很可能都灭绝了，只有那些能很快适应新环境的生物得以生存下来。在图 17 中就有个例子（巨头螈，丑陋的甲胄侍卫），是一种有魄力、不屈不挠的丑陋的爬行动物。在大干旱时期，海洋干涸后它在陆地上活了下来。

这部地球巨著的下一页是侏罗纪，大约在 1.5 亿至 1 亿年前。这一页告诉我们地球上出现了大规模的海陆变迁。海洋淹没了很多沙漠，世界又变得潮湿起来，对各种生命形式要好客、温柔些。大干旱时期幸存下来的

爬行动物得以迅速繁衍，从海洋到陆地，又从陆地进入天空。我们在这个时期第一次看到长翅膀的爬行动物化石。这些动物是凶恶难看的鸟，有的长牙齿，有的有喙而无齿。

生活在这个时期的许多动物（如恐龙）不能适应后来发生的巨大变化，成了生存斗争的失败者，尽管它们都在地球上生活了很长一个时期，但最终在残酷的环境出现后大批绝迹了。图 18、19、20 和 21 是 1 亿至 0.8 亿年前生活在现在的北美地区的 4 种恐龙，它们后来都灭绝了。

■图 18 三角龙。 9 000 万年前生活在现在的北美，是一种草食动物。它身长 25 英尺，颅骨与象的颅骨一样，但大脑只有小猫咪的大脑那么大。

■图 19 棘龙。 9 000 万年前生活在现在的加拿大。它用于进攻或自卫的唯一的武器似乎是长满长长骨刺的尾巴。

图 18 是三角龙。三角龙是这一类拥有自卫构造的动物的典型代表。它有三只角，每一只都有几英尺长。当它受到攻击时，它只能背靠屏障，立起后腿，等着进攻者撞到它的角上。三角龙是个庞然大物，有 25 英尺长、9 英尺高。它仍属爬行动物，雌性三角龙产出巨卵。

图 19 显示的是几乎是同一类的另一种动物，叫棘龙，是那种行动“最迟缓、笨重的安全堡垒”爬行动物的成员。它对付进攻的办法很可能是平躺在地面上猛摇猛甩它的尾巴，因为它的尾巴上长着许多骨质的刺，就像十字军士兵使用的带长钉的狼牙棒。在这个时期，无论是进攻武器还是防御武器都是比较原始简单的，那些动物谈不上有什么智力。三角龙的头颅 6 英尺长，但是其大脑只相当于小猫咪的大脑。

图 20 显示的是翼手龙。那是一种像巨大的鸟一样的爬行动物。翼展大约 18 英尺。它是那种看起来什么都能干、可是哪一样也干不好的可怜虫之一。它长着一对大翅膀，可是并不那么强劲有力，不能使笨重的身子升空，因此不善飞翔；而它的腿也很弱小，也不能支撑笨重的身子在陆地上很好地行走，说不定它根本就不能跑。它甚至在地上蹲着都不能，因为连着翅膀的肘总是碍事。看来它只能匍匐在峭壁顶上、大岩石尖上。科学家们想像，它只能没日没夜地奋力往悬崖峭壁上爬，然后纵身跃入气流中，就像滑翔机一样在空中盘旋，然后扑向自己的猎物。随后又是一轮艰难跋涉。或许我们对这种动物感到可怜，它的一生就像一个练习滑雪的运动员，在没有缆索的滑雪场上无休止地攀登又攀登。

图 21 是梁龙，是迄今为止在地球上发现的最大的动物，大约有 30 英尺高、90 英尺长；体重肯定抵得上大象的一家子——像爸爸、像妈妈加上一窝孩子，可能还得加上几个叔叔、姑姑。体重肯定在 40 吨至 50 吨之间。它的身体太庞大了，四肢几乎支撑不住。它很可能生活在沼泽地带，这样它的长脖子就派上了用场。它确实需要水的浮力来帮助它支撑庞大的身体，使它活得稍微轻松点。

■图 20 翼手龙。是一种长翅膀的爬行动物，大约生活在 9000 万年前，

翅膀展开有 18 英尺长，前臂和后臂之间有薄薄的皮膜相连。■图 21 梁龙。这是生活在 9000 万年前的巨大的爬行动物，身长 90 英尺，但长颈和鞭子似的长尾占去了大部分。

图 22 上显示的是另一种巨大的、更难看的爬行动物——妖龙，或者叫做爬行鲸。它生活在我们的大西洋这一边，在我们英国的许多采石场上过去和现在都经常发现它的头骨。它身长大约 60 英尺，就像它美洲的近亲梁龙一样，生活在水中能减少体重给腿造成的压力，以便生活得轻松些。咱们可不能讥笑这种可怜动物无能。假如我们到了木星和土星上，我们发现自己也会处于这样难堪的处境，说不定也要采取谨慎措施，免得因自己的身体过重而垮下来。

就像我们人类不能适应木星和土星的环境、在那里一刻也呆不下去一样，上面提到的那些庞然大物在这长期残酷的生存斗争中，也不能适应地球上环境的变化而败下阵来，让位给更为灵活小巧的竞争者——哺乳动物以及人类——它们靠的是活动能力和智力，而不是靠全身盔甲或庞大的身体和体重。这些巨大的或身披甲胄的爬行动物退出历史舞台，在生存斗争中灭绝。中世纪的披坚执锐的士兵让位给现代不穿盔甲的士兵，城堡、战船让位给坦克和鱼雷快艇，飞艇让位给飞机等等，原因都是一样的。

在大型爬行动物灭绝后，我们就看到了哺乳动物时代。这个时期的动物大体上跟现在的动物差不多。图 23 显示的是重脚兽，在 2 500 万年前它生活在现在的埃及一带。它的体型比前一个时代的庞然大物要小巧多了，但是仍有普通的犀牛那么大或小象那么大。这使我想起了吉卜林先生的童话故事《就应该这样》。故事说的是象的长鼻子是怎么得来的。小象对自然的历史非常好奇，总爱问这问那，至少它的家庭成员都这么看。它们特别不喜欢老爱问“鳄鱼吃什么”之类的问题。有一天，小象问正在沼泽中晒太阳的鳄鱼。鳄鱼说：“你低下头来，我悄悄告诉你。”于是小象就低头凑近鳄鱼，可是鳄鱼毫不留情地猛然咬住它的鼻子，说：“小象，今天……”它死死地咬住不放，使劲拉呀，扯呀，结果把鼻子拉长了，就成了今天每头象都有的那种长鼻子了。重脚兽看起来很像小象，想必处于往象发展的过程中。其实它脸上突出来的部分并不是鼻子，而是两个尖锐的骨质角，正好长在鼻子上方。它的眼睛上方各长两个突出物，看上去一定很凶猛、很怪异。

■图 22 妖龙。又叫爬行鲸。它是图 21 中梁龙在英国的近亲，体长大约 60 英尺，相当重。

■图 23 重脚兽。大约 2500 万年前生活在现在的埃及。外表乍看上去像大象，可是在许多方面又像犀牛。

图 24 上显示的是体形更小、但更为凶猛的动物剑齿虎。大约在 1000 万年至 100 万年前它生活在现在的欧亚大陆。体型跟现在的狮子、老虎差不多，但是长着两颗非常细长可怕的牙齿，前面的牙非常锐利，后面呈锯

齿状。无论是闭嘴还是吃东西，这些牙肯定碍事。人们会纳闷：这种动物为什么没饿死呢？

图 25 上是大地懒，大约在 100 万年前生活在现在的南美洲。我们可以把它同图片中的人相比较，来判断它的大小。这个巨大的动物并不凶猛，并很可能是人类捕获的对象，甚至是人类家养的动物，因为在一个山洞中同时发现大地懒和人类的骨头化石。这种巨大的地懒在地球上已经灭绝了，只有人类存活下来成为我们唯一的祖先。在这最后的 100 万年间的某个时期，一种哺乳动物猿人进化成人类——也许是突然之间发生变化的结果。一个人的一生与 100 万年的确不能同日而语，但是 100 万年对地球的整个历史来说，也仅仅是弹指一挥间。图 26 画出了地球发展的各个时期的时间比例。从出现了人类祖先至今的 100 万年，在这表中连最细的线的位置都占不上。

但是，即使在这 100 万年里，人类大部分时期过着不开化的生活，跟他们捕食的其他动物没有太大的区别。在人类发展的最后这几十万年中，我们看到穴居野人像动物一样跟别的动物拼杀，像动物一样嗥叫。到最后 10 万年前，原始的人类才有了说话的能力。他们开始不但能设想、设计，而且还能跟同类交流思想、交换设想和打算。这就赋予他们战胜其他动物的无与伦比的优势，从此人类开始了突飞猛进的发展。进步的程度再也不是以百万年计了，而是以千年、进而以百年计。到现代社会更是日新月异了。人类在最近这 50 年中的进步是爬行动物从侏罗纪到二叠纪这 5000 万年间的变化所无法比拟的。

■图 24 剑齿虎。是现代猫科动物的远祖，但绝对不是老虎。

■图 25 大地懒。草食动物，当它坐在后腿上够树叶吃时 20 英尺长，12 英尺高。

■图 26 地球历史的各主要时期和重大事件（事件和时间在很大程度上是想像的）。

地球上的色彩斑斓，生机勃勃，气象万千，宜于生命。这一切都得益于它的大气层。没有大气，天空将一片漆黑，紫外光将无情地侵害地球……

第二章大气

我们对地球已经探索得够深入的了。现在让我们离开地球，让我们的思想、眼光转向空中，看看大气的情况。

大家都清楚将会看到什么东西：白天我们会看到明亮的太阳、蔚蓝的天空，可能还有朵朵白云；而夜晚则会看到满天星斗，有时会看到一轮明月或别的行星。我们之所以能看到这些天体，是因为它们的光透过地球大气层传给我们；我们看得很清楚，那是因为大气层是透明的，没有任何东西阻碍光线的传播。

也许是因为我们对这一切都习以为常了，因此认为这一切都是理所当然的、就应该是这样的；也许我们认为空气这东西太稀薄、太微不足道、太轻飘了，不可能阻挡光线的传播。不过我们知道地球上有多少空气，因为普通的家用气压表早就给我们测定出来了。当我们看到气压表的指针指向“30”时，表明我们头上的空气相当于30英寸厚的水银，同时也相当于36英寸厚的铅，因为相同体积的水银比铅要重，其重量比为6：5。为了使这个重量有具体的视觉效应，我们不妨想像自己身上盖着144条铅毯子，每一条都有1/4英寸厚。我们根本不可能看透144层铅毯子，因此我们感到惊讶或者感到幸运的是我们能看透与其相当的大气。

我们在地球上做到这一点确实是幸运的，在其他行星上就没有这样幸运。当我们从地球上观察其他行星时，我们发现它们中的大多数都被不透明的大气所笼罩，使我们根本就看不到它们的表面。这就提醒我们，如果我们在这些行星上旅行，就不可能透过其大气看到这些星球上空的星斗。

不过，我们可以详细地探讨一下光的透明与不透明问题。我们知道，光是一种波，而波分长波和短波。例如，就海浪来说，有长达数百英尺宽的浪头，能使最大的舰船颠簸摇晃；也有几英寸长的小浪花，对大船来说毫无影响，只能摇动一叶轻舟，甚至对轻舟也不起什么作用，只不过使水中的小物件轻轻晃动，使软木塞、海藻等物晃动。光波也是如此，有长波，有短波。不同波长的光以不同的方式对物体发生作用。

太阳发出的光几乎含有各种波长，是一种混合光。当然喽，有些波长的光的量很微小。我们的眼睛既看不到太阳发出的很少的那几种波长的光，也看不到量很大的那几种波长的光。这是因为大气层使它们不能通过。如果这些光有朝一日穿过大气层，大量地到达地球，就可能把地球烧毁，把人类毁掉——我们就会被烤黄、烧焦变黑，马上就呜呼哀哉了。然而幸运的是，我们的眼睛永远也看不到那些能致人类于死地的光。一般来说，我们的眼睛只能看到大量到达地球的那种波长的光，就是形成白昼的那些波长的光。

或许这不足为奇。我们是几百万代之前那些祖先的后代，他们的器官，

包括他们的眼睛，几亿年来已经逐渐适应了周围的环境。因此，我们无论在动物还是人类身上，很少发现无用的器官。当某一器官用不着了，它就没有用了，最后就逐渐消失了。否则，有那种器官的动物就会消失，就像我们在第一章所讲到的那些身披甲胄的爬行动物那样绝迹。能看到根本不能到达地球的光的那种眼睛，对动物、对人类都是个累赘。如果有哪种人生有这样的眼睛，那么到现在当然已经灭绝了。

由于人类的身体已经过数百万年的进化，我们的肺和血液已经对大气适应了，我们的皮肤对气候也适应了——黑色皮肤适合热带气候，白色皮肤适合温带气候，如此等等。因此，我们的眼睛已经适应了白昼的光。我们的眼睛正好适应了大量到达地球的那几种光并非偶然。当我们到达木星时，我们不可能看透木星天空中的云。然而，如果人类在木星上生活了几千代，人类的眼睛也可能适应某些透过木星云层的特殊波长的光，他们会因为自己生活在木星上、为生活在清澈美丽的木星大气中感到庆幸，从而怜悯那些生活在其他星球上、生活在地球上的居民，可怜他们被那里的不透明大气所笼罩。

由于我们知道宇宙物质，尤其是光，都是通过辐射的方式来到地球的，因此详细了解不同的光和不同的辐射的特性是很重要的。当我们在阳光下观看彩虹和带着露水的青草时，会看见一道彩色的光。但是，当太阳落山或被云朵遮住，那彩虹和露珠上的光彩也随之消失了。这就证明这种光首先是来自太阳的。但是，这种光不是直接到达我们的眼睛，而是从相反的方向折射过来的——是通过那些细小的水珠，如阵雨的雨滴反射过来的。当光进入水珠、又从水珠中反射出来后，就分解成各种不同的颜色，就是我们所看到的虹。当然，我们有更有效的方式来分解光，就是用精密的仪器——光谱仪。

太阳光通过上述方式分解后变成一条彩带，红色在一端，紫色在另一端。这条彩色的光带叫做“光谱”。在红、紫二色之间还有其他颜色。太阳光的一条连续完整的彩带包括红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。如果我们分解另一种光，就会得到另外一种光谱，但是，无论是什么光，光谱中的颜色都毫无例外地同上述顺序一样。这是因为光的不同颜色是由光的不同波长决定的，而光谱中颜色排列的顺序都是根据波长的顺序排列的。

如果我们用另一种仪器——衍射光栅来分解光，就能得到一个简单的证据。这种仪器只不过是块金属板，用钻石或其他坚硬的尖锐物体在板上刻划出数千道等距离的平行线条。当光照在金属板上时，那些小线条就能分辨出不同长度的波，并向不同的方向反射，就像土豆筛子按土豆大小筛选土豆一样。那连续的划痕之间的距离相当于筛子眼，我们可以根据波被反射的方向计算出波的长度。当光被这种方式分解后，不同的波长又组成一个光谱，颜色的顺序跟我们上文提到的顺序完全一样。至于颜色的顺序究竟有什么含义，我们不必从头探索。现在可以一目了然，光的不同颜色

是因为光有不同波长。在光谱中，颜色的顺序是按光的波长顺序排列的。实际测量表明，红光的波长最长，每英寸有 3.3 万个波形。我们按橙、黄、绿等颜色的顺序依次看下去，波长逐渐变短，最后看到紫光的波长是每英寸 6.6 万个波形。

声音也有波，当然它与光波有很大区别。声波需要空气来传播，而且波长要比光波长得多，是 100 多万倍。像不同波长的光造成不同颜色一样，不同波长的声音有不同的音高。例如钢琴上的中音部 C 的波长是 4 英尺，而最高音部的 C 的波长是 2 英尺。当一个声音的波长是另一个音的波长的一半时，我们说这个音比另一个音高 8 度。因此，当紫光的波长是红光波长的一半时，我们说紫光是红光的高 8 度光。事实上，当我们把光谱上的 7 种色光看成是 7 个音符亦未尝不可：红色——C 音，橙色——D 音，黄色——E 音，绿色——F 音等等；我们已经看到，所有的可见光都出现在一个 8 度音程（1 个倍频程）内。我们的耳朵能听到 11 个 8 度音程的声音，但是我们的眼睛却只能看到 1 个倍频程的光。

我们已经注意到，太阳发出的光远远超过我们的眼睛所能看到的 1 个倍频程的光。在我们能看到的最深的紫色光之外，还有许多光我们看不到，它们的波长更短，所以通常称之为“紫外辐射”，或者叫做“紫外光”、“紫外线”。这种光我们的眼睛看不到，原因就像水中涟漪对舰船无影响一样，它们的波太短。但是这种光对摄影底片的影响却非常大。如果我们的瞳孔是用跟底片上的感光材料相类似的材料构成的，那么我们的眼睛也能看到紫外线。

在光谱的红光一端以外，也有许多我们的眼睛看不到的光。这些光的波长都比红光的波长还要长，通常被称为红外线。当一个固体——例如铁匠炉火中的马蹄铁——被加热时它最先发出暗红色的光，然后随着温度的提高它会依次发出明亮的红光、橙色光、黄色光等。加热使马蹄铁发光，温度越高，发出的光的波长就越短。我们可以说，当一个物体被逐渐加热后，它发出的光的波长在光谱上越来越短。一个物体直到它发出的光进入了光谱中的可见光时，我们才能看到该物体自身的光，在此阶段之前，它发出的光是光谱上红色之外的红外光。我们的皮肤（而不是眼睛）对这种辐射更为敏感。如果我们把手挨近热的马蹄铁，不等我们看见它发光，就会感觉到它在辐射、放热。这表明红外辐射的最根本的特点是发热，而不是发出可见光。普通的摄影胶片既不受红外光的影响，也不受红光的影响，因此我们在暗室中可以使用红光，感光胶片不会受到损害。如果构成我们的瞳孔的材料跟胶片的材料类似，那么我们的眼睛就根本看不到红光，也很难看到黄光或绿光，只能看到蓝光、紫光以及我们现在的眼睛所看不到的紫外光。

虽然我们的眼睛只能看到 1 个倍频程的光，但是科学家们发现了能观察 64 个倍频程的光的方法。它们的发光范围就像一个有 64 个 8 度音的巨

大钢琴，在这个钢琴上我们只能听到可见光那个频程的音，而其余的音全都听不到（见图 27）。这个音程上一个高音就是紫外光。摄影胶片能受到这种光的影响，使我们知道了这种光的存在。这种光还能使某些化学物质发出荧光。这表明，当这些物质受到紫外线照射时，它们发出可见光。——似乎这些物质获得了放射能，使可见光的范围又扩大了。然后在可见光部分往上的 10 多个倍频程内出现了 x 射线。在 x 光下，密度较小的物质比密度大的物质更加透明。所以，当用 x 射线照射一堆混合物质时，密度大的物质就会在密度小的物质上留下较深的阴影。正是因为有这一特性，外科医生用 x 光来观察骨折，还用来探测被现代画覆盖了的古画。

■图 27 发光范围的中部。每一个部分都代表光的一个倍频程，每一部分的两端都是不可见光，只有中间的阴影部分是可见光。

再往上的特高音区出现了由镭放射出来的 γ 射线。最后，在可见光倍频程以上第 32 倍频程出现了某些宇宙射线的成分。这种射线能穿透若干英尺厚的铅。

在另一端的低音程区首先出现了我们前文已经描述过的红外光。大约在第 3 个倍频程上，有一块热铁块发出的热，第 4 个倍频程上有沸腾的水壶辐射出的热。现在特殊的感光胶片是由对红外线敏感的材料制成的，这样就可以拍摄在这种光下的物体。可是这些东西我们肉眼看上去则是漆黑一片。再往下，从可见光往下大约在第 30 倍频程，这里的光波波长是可见光波长的 10 多亿倍。这种波很有趣，也很重要，它们就是用于广播的无线电波。黄光的波长大约只有四万分之一英寸；但是，如果我们要接收无线电广播的节目，就得把收音机调到 1500 米或 342.1 米的波长才行。除了把波长扩大了几十亿倍之外，无线电波也具有光波的许多特性。例如一个发射台上的平行的导线处理无线电波，就跟衍射光栅处理可见光波几乎完全一样。如果我们让一种颜色的光照在衍射光栅上，我们会看到这种光只向一个方向反射的光束。这个方向取决于光的波长。同样的道理，如果只有一种波长的无线电波通过发射台的天线发射出去，它们就会以一束电波往单一的方向发射，发射到印度、中国、日本，发射到任何我们想发射的地区，就看我们用哪种波长了。

我们对辐射和光的基本特性作了初步研究之后再来研究一下传播它们的媒体——大气层。我们当中的大多数人会以为大气只不过是天空中一层透明的气体而已，但是科学研究表明，大气结构是非常复杂的。我们可以通过下面的方法得出大气结构的非常清楚的概念：就像认识地球那样，我们把大气层也看成若干层，一层裹一层，最里的一层裹着地球。

包裹着地球的第一层大气叫“对流层”。这多变的一层的厚度在不同时间、不同地点各异，大约在 5 英里到 10 英里之间，平均厚度约 7 英里。尽管这在整个大气层中只不过是很小的一部分，却含有空气的大约 90%。这是因为越低层，大气的密度就越大，空气也越多，压力也越强。而高处

则相反。对流层由于有风和风暴不停地翻动而得名。其外层则相反，叫做“平流层”。这里几乎绝对平静，不刮风也没有风暴，因为它们达不到那样的高度。

大气是多种气体的混合体，有的气体较轻，有的气体较重。如果有充分的时间让大气静止下来，较轻的气体会逐渐向上移动，就像奶油逐渐漂浮在牛奶表层那样。实际上，大气层从来就没有一次安静过几天以上。我们已经知道，地球的自转造成季风、风暴以及其他形形色色的风。如此看来，大气层更像是奶油搅拌器，而绝不是盆中静止的牛奶。这种永无休止的搅动，使对流层中的空气充分混合，因此各地的空气成分都是一样的。我们已经知道，对流层中的空气中氮气与氧气含量的比例是 4：1，其他气体的含量要小得多。其他气体中的主要成分是水蒸气。它具有特殊性能。在对流层的各种气体中，只有水蒸气能凝结成水珠，然后就会以雨或雪的形式落在地球上。我们对喷水很熟悉，但是从来没见过喷氧、喷氮或喷氦。当空气被风搅起来上下翻滚时，水蒸气往往凝结成水滴，因此人们普遍认为风头过后就有雨。如前所述，搅动使空气在对流层中均匀地混合起来，但是水蒸气是一个例外，空气的翻滚反倒使它降到最低点，落在地球表面。随后，降下的雨水又要蒸发，并储存在大气中。还不等水蒸气上升得很高，另一场风就又把它吹下来，形成雨雪，降到地球上。人们发现水蒸气在空气中并没有均匀地扩散开，而是局限在大气中最低的高度上。实际上，在水平线附近，空气中水蒸气的含量有 1/80；但是在对流层的顶部，这个比例要小得多，是 1/10 000。事实上，大气层中所有的水蒸气都集中在对流层，将形成雨、雪或雾。普通的雨云（见图 29）通常出现在数百英尺到一英里或更高一点的空中；而最高的云、好天气时高空的云，俗称卷云或卷层云（见图 28）是在 5 英里到 6 英里高的高空形成的。在对流层以上，什么云都没有。

大气层中空气不断地上下翻滚造成了非常有趣、非常重要的结果。当我们向某种气体施加压力时，它不仅体积缩小，而且温度还上升（给空气加压时其温度升高的现象可以在给轮胎打气时看到）。与此相反，给空气减压则会使其降温。因此，从压缩气体罐中释放出来的气体总是凉的，有的甚至会结冰，成为霜雪。这正是许多灭火器工作的原理。当空气被对流层的风或风暴卷向高空时，它所受到的压力减少，温度降低，就像从气筒里打出来的气一样。如果上面提到的那股空气又被风或风暴卷下来，它受到的压力增加，温度也随之提高，就像打进轮胎里的空气那样。因此，在对流层中，上层总比下层的温度低。如果我们登山或乘飞机升空，我们会发现空气越来越凉；当我们进入煤矿的巷道或来到山谷的底部，温度就会高一些。

■图 28 卷云。这是天空中最高的云，通常在 5 英里至 6 英里的高空，是由细微的冰晶组成的。而其他云都是由小水珠组成的。

■图 29 云与雾。这是罗恩山谷的云雾。山上方的是积云和层云，而后者被说成是不接触地面的雾。山谷中充满了雾，同样可以说它是接触地面的云。

如果大气只是一团混合的空气，我们会发现每升高 1 英里，气温就会下降 29 华氏度。但是还有许多其他因素要考虑进去，例如地球温度、太阳的光照和地球表面的不同高度。用气球作的实际观察表明，随着高度的上升，温度的下降是相当有规律的：每上升 1 英里，温度就下降大约 17 华氏度。当海平面的温度是 60 华氏度时，在 7 英里的高空，温度将是-60 华氏度左右。这接近史料记载的地球表面最低温度-94 华氏度。这个温度是在西伯利亚的沃克堆恩斯托克记录的。

早年的科学家们曾设想，任何人只要在空中升得更高一些，都会发现空气越来越冷；直到最后，空气极为稀薄，此时很难说还有什么气温可言。1898 年在巴黎附近放出了一系列气球以探测极高的空中的气温。这一试验证明前面提到的那种设想是错误的。人们发现，升到 7 英里至 10 英里高度后，温度几乎保持不变，有时甚至会略有上升。据我们现在的了解，原因是有的气球已经升到翻腾的对流层之外，进入了平静的平流层，这里没有风暴对空气加压并使温度上升，或将空气减压而使温度提高。

当我们设法探索平流层的高度时，所遇到的困难跟探索地球深度所遇到的困难一样。探索地球的最轻而易举的方法就是打洞，要么是科学工作者亲自下去采集标本，要么是用仪器在地下取得样品。但是，用这种方式进入地下的深度终究有限，而要再往深处就只能借助于波了。同样的，要探索平流层，要么我们乘坐气球升空采样，要么用气球采集。这两种方法都是常用的，但是都不大可能升得很高。到目前为止（编者注：此指作者写书的时期），人类升空还没有高出 13.7 英里。这是 1934 年 1 月从莫斯科放飞的气球所达到的最高点，但是乘员却没能活着着陆。没有乘员的气球所达到的最高高度是 23 英里，这是在帕多瓦放飞的气球所达到的高度。在目前的情况下，要想达到比这个高度更高的高度只能用波。在探测地球时，只能使用一种波——地震波；但是，在研究平流层时，有三种不同的波可以利用，它们是光波、声波和无线电波。这三种波都能通过平流层，并且可以使它们传递某些信息，就仿佛在气球上设置各种自控仪器一样。

通过平流层的光当然是太阳和其他恒星发出的光。这些光带到地球的信息是：当它们通过大气层时某些光失去了。许多失去的光是光谱仪上属于紫外线的那些波长的光，而且正是那些不能穿越臭氧层的紫外线。于是人们自然会得出结论：臭氧层阻止了紫外线到达地球。臭氧是一种特别重的氧气，一个分子中有三个氧原子，而不是通常的两个。人们一般认为臭氧的最大作用是使海边的度假者精神勃勃，使苍白的面孔容光焕发，使人显得健康等等。臭氧在科学上有什么价值，人们尚无所知。化学分析表明，在海滨胜地、在海上和陆地上确有相当数量的臭氧。

科学家发现，到达地球的紫外线的量随太阳在天空位置的不同而变化。由于两者之间的关系是明确的，因此有可能估计出吸收紫外线的臭氧层的位置。牛津大学的道布森教授及其他科学家最新研究表明，大多数臭氧层处于 25 英里外的高空，平均高度大约为 15 英里。臭氧的总量奇少，总重量大约相当于一层 1/1000 英寸厚的最薄的纸的重量。紫外线通过数英里厚的普通空气后并没有明显的减少，但是，就那么薄薄的一层臭氧却足以阻止紫外线到达地球。那么，在某种意义上说，我们的大气层对所有的光都是透明的。这无论如何是一种幸运，否则我们可能被另一种不同的大气所笼罩。在此情况下，大气中的不同成分将像臭氧阻挡紫外线那样有效地阻挡太阳光中的其他成分，从而使太阳光也好、其他的光也好，都不能通过这种大气层。

幸运的是臭氧并不是把全部紫外线都吸收了，因为一定量的紫外线对人类是有益的。据说矿工或长期在地下工作的人，如果偶尔适当地接触人工紫外线的照射，会大大改进他们的健康状况。营养不良的儿童只要使皮肤接受一定量的紫外线辐射，从而产生身体所必需的维生素 D，他们的健康就能很快地恢复。但从另一方面讲，接受过量的紫外线反倒会比不接受紫外线更为有害，接受过量紫外线致死的消息我们时有所闻。

臭氧层控制着我们接受太阳紫外线的量，可以说给我们提供了恰好需要的量。当我们在其他行星上旅行时，我们会发现那里的大气层使紫外线通过的量要么太多，要么太少，对我们的健康都不利。地球的大气层对人类如此恩惠的理由很可能再次说明，经过了数百万代适者生存的选择，我们现在的身体刚好适应了地球大气层为我们提供的紫外线的量。如果人类及其祖先在其他行星上也生活上几百万代，那时我们也会感到地球上紫外线的量是无法忍受的，是有害的。

在从太阳和其他恒星发出的光中，还有某些波长的光在到达地球前就已经消失了，尤其是光谱中的红光和红外光两部分。这些消失的光波可以通过氧气、水蒸气和二氧化碳探测出来。它们没有为我们了解大气层的构成提供什么新知识。

关于光波的情况我们先了解这么多。我们会发现从无线电波中能了解更多的东西。与光波不同的是，无线电波不是从宇宙中进入大气层（极少量的无线电波除外），因此我们必须研究从无线电发射台发出的无线电波。我们已经知道，无线电波与光波从本质上来说是相同的，只不过无线电波的波长比光波长数十亿倍。由于两者本质相似，因此两者在性能上有许多共同之处。两种波都是直线传播的，而且都能被地球上的固体所阻挡。正像我们看不到地球另一面一样，我们也不可能接收到地球另一侧发射的无线电信号。因此，当早期的实验人员毫无困难地接收到地球另一侧的无线电台发射的无线电信号时感到无比的困惑。他们还能收到接收台附近的发射台发出的无线电波，这种电波绕地球两圈只需半秒种。不仅如此，凡是

操纵过无线电台的人都会发现，当两个发射台的功率相同时，较远处的电台的收听效果比近处的要更好一些。

人们逐渐得出结论：无线电波向四面八方发射，但是当某束电波接触到地球表面以上某一高度时就会重返地面。如果我们发现光波有这种特性，就可以得出结论：在高空某处有一面巨大的镜子把光波反射到地面。在某种意义上讲，很厚的云层对于光波来说起到了类似于镜子的作用。例如，当天空乌云密布时，伦敦上空的闪光可以在离伦敦很远的地方看到。但是向地球反射无线电波的镜子想必与此大不一样。对普通的光来说，它必须是完全透明的，而在晴朗的夜晚，相距遥远的电台的收听效果亦颇佳。

众所周知，普通的镜子反光是因为镜面是一种导体，其表面通常有水银或其他金属。而在特殊条件下，空气或其他气体也能导电，因此就没有理由说镜子就不可以含有空气或其他气体。一般来说，气体被“电离”后就能导电，这就是说电子从分子中被分离出来，成为自由运动的电子，并能传递电流。这一过程与水银膜或金属表面导电的过程正好不谋而合。1902年，有两位科学家——美国的肯涅利和英国的亥维赛——分别提出一种假想：在高空想必有一层电离化的气体，对来自地面的无线电波来说就像镜子一样，能把它们反射到地面去。此后，他们的假想被充分证实，这层电离的空气层称为E层，或者叫肯涅利—亥维赛层，通常处于65英里至70英里的高空，但是有时会发现电离层高出或低于20英里，也就是说电离层出现的范围在距地球45英里至90英里的高空。

最近又发现了第二层电离层，被称为F层，或者叫阿普顿层——是以发现这一电离层的科学家的名字命名的。这一电离层的高度在90英里至250英里的高空，其高度比肯涅利—亥维赛层更高，范围也更大。这两层电离层中的任何一层都不能单独反射所有的电波。有些电波可以穿过肯涅利—亥维赛层，最后却被阿普顿层反射回来。假如情况不是这样的，那么阿普顿层也就永远不会被发现。

大气层中的其他几层也是以同样的方式发现的。最低层叫作D层，可能就在25英里至30英里的高空。这一层在凌晨特别活跃，能把长波反射回地球。除长波以外，大部分电波都轻而易举地穿过这一层，但是归根结底总会被更高的一层电离层反射回来。今后收听外国电台时，我们可以停下来，思考一下：这些电波传送的节目是通过什么途径传到我们这里来的。我们可以想像这些电波离开发射台后扶摇直上，很可能冲破D层，进入更高的天空，使那里数以万亿计的电子自由运动，这些电子就像足球守门员一样，纷纷扑捉到达的电波，不许通过，然后就把这些电波踢回地球，于是这些电波就被我们的天线接收到。在天线上，电波又使大量电子自由运动。如果我们的发射台是戴文垂国家电台，发射的频率是200千周，高空的每一个“守门员”都必须每秒钟前前后后跑上20万次，把电波踢回地球；在地球的天线上，电子也得来回跑20万次；如果接收的条件不错，这些电

子还要在收音机里跑进跑出，并在电子管里激活一大堆电子。就这样，在上万亿的电子反复多样的活动下，我们终于收听到无线电节目。

也许人们会感到奇怪，怎么会有这么多电离层？我们不要忘记，大气层是含有多种气体的混合体，不同成分的气体要在不同高度上加以电离。此外，电离的过程中可能还需要各种不同的中介物质，并且在不同的高度上发挥作用。主要的中介物质很可能是紫外光，它在电离气体的分子方面起着举足轻重的作用。因此，各电离层都必须在臭氧层上面。这是非常重要的，因为臭氧层能吸收紫外线。

最近，科学家们又发现了其他反射层，这些反射层处在大气层以上数英里的太空中。我们可以通过计算发出的电波经反射后被接收的时间来测定反射层的高度。例如，如果反射回来的信号在发射后 1/1000 秒收到，而无线电波的传播速度是每秒钟 186000 英里，那么，电波发射上去和返回的总距离是 186 英里，反射层的高度应是 93 英里。实验人员最近测得收到返回的信号距发射的时间为 3 至 30 秒不等，这表明在大约相距 300 万英里的外层空间也有反射层。就像有最近的反射层一样，这些反射层是最遥远的，很可能含有带电颗粒，而这些带电颗粒又不能悬浮在大气层中，它们很可能是从太阳上发射出来的带电颗粒，处在向地球运动的途中。

当我们观察太阳时，会看到它不断喷射出带电颗粒。有些带电颗粒在太空穿行了大约 30 小时之后与地球大气碰撞。按照电磁的一般规律，运动中的带电颗粒能被磁体吸引而偏离运行路线。地球正是个巨大的磁体。于是，当这些带电颗粒向地球运动时不再按直线移动，而是被地球这个巨大磁体的南北极所吸引。斯托莫教授已经向人们显示：在某些地方，这些带电颗粒被迫旋转迂回，滞留太空，许久不能向地球方向运动。在这些地方肯定积蓄了大量的带电颗粒，长时间地旋转运动。很可能是这些带电颗粒构成反射层，将地球上发射的无线电波反射回地球。当这些带电颗粒进入地球大气层后就会构成极光。这是地球两极附近常见的蔚为壮观的景象（见图 30、31）。

下面我们来考虑一下，当声波通过大气层时我们能得到一些什么知识。就像无线电波一样，还没有哪种声波是从外层空间传到地球的。外层空间本来是不该有声音的，因为声波要靠空气传播，而外层空间却没有空气。因此，我们只能研究我们自己弄出来的各种声音。

■图 30 这壮观的褶裥状极光是开普顿·斯科特南极探险队看到并拍摄的。这种极光通常五彩斑斓，最常见的颜色是白、黄和胭脂红。

■图 31 另一种类型的极光。其中有个带有垂直流光的圆拱。也是由开普顿·斯科特南极探险队拍摄的。

当发生爆炸或出现其他巨响时，声波就从产生声音的地方向四面八方传播开，就像无线电波从发射台传播出去一样。垂直向上的声波会遇到各种不同的命运，但只有一种情况是不会发生的——永远沿直线传播出去。

因为外层空间没有大气，也就失去了传播声波的媒体。科学家们发现，声波传播到一定高度后，就有某个反射层将它们反射到地面，跟无线电波被反射到地面一样。我们的收音机能很好地收听 200 英里外的电台节目，而对 100 英里处的电台的收听效果则不佳。同样道理，大炮的轰鸣或一声巨响，常常可以在 200 英里处清楚地听到，可是在 100 英里处却不那么清楚。

我们都很熟悉，而小孩子们也懂得计算闪电与我们之间距离的方法——计算出闪电与雷鸣之间相隔的秒数，然后除以 5，得出的商就是距离闪电的英里数，理由是声音在空气中传播的速度大约是每 5 秒钟 1 英里。如果用这一规则来判断爆炸的距离却往往不灵。这种声音好像传播得很慢，或者说要比在地面上直线传播慢。实际上声波要到达反射层之后又返回地面，根据这个时间我们就能知道这个反射层的高度。计算的结果表明，这个反射层应当处于平流层。我们能轻而易举地推测出是什么原因使波束改变方向。我们已经知道，到了平流层上的一定高度后温度开始上升。众所周知，声波遇到热空气后就会返回到原来的冷空气中。

我可以自己做试验来验证声波的这一特性，而不必亲自到平流层去。在温暖的秋季傍晚，在太阳下山后不久，地面上会漂浮一层薄雾，而此时天空依然晴朗。这说明上面的空气比底层的空气的温度高。正是由于这两个层次温度的差别，造成了天空晴朗而地面上薄雾■■，形成了对流层与平流层的小型模型。在这种情况下，声音沿地面传播得很远，而且很清楚。声音不会往上传播，因为每当声波往上冲时，上面的热空气都会把它们顶回来。在夜晚冰冻的地面上或者在薄暮中的湖面上都会发现类似的情况。在上述任何一种情况下，声波都会从更高的高度和更大的范围返回到地面，就如被较暖的平流层将声波反射到地面一样。

流星（将在后文讨论）的坠落进一步证明，在平流层以上升得越高，温度也越高，而且还表明在 10 英里至 20 英里的高度上非常寒冷，到大约 100 英里的高度时，温度反倒会相当暖和。

图 32 的表格显示地球大气层不同高度上温度的变化。

我们一直非常关注地球大气层的透明度，却几乎忘记了大气层并不是完全透明的，而且有时根本就不透明。我们生活在英国，非常清楚蔚蓝的天空有时会乌云密布，有时又大雾弥漫。

而且，即使根本没有云雾，有时天空的景象也不是完全透明的。当我们来到月球上，仰望月球天空，那里没有蓝天，而是黑洞洞的，因为月球没有大气。同样的道理，如果逐渐除掉地球的大气，那么天空也会逐渐由蓝变黑。我们可以乘上飞机升入高空，穿过大部分大气层，就能看到天空由蓝变黑的早期过程。这里列出的天空不同高度的颜色，是 1934 年苏联科学家在莫斯科升空的气球“平流层号”上的观察人员记录下来的：

高度	颜色
5.27 英里（8.5 千米）	蓝色

6.82 英里（11 千米）　　深蓝
8.06 英里（13 千米）　　深紫
13.02 英里（21 千米）　　黑紫
13.64 英里（22 千米）　　黑灰

如果我们能完全飞出大气层，毫无疑问，天空将是漆黑一片。当我们再往上看时，实际看到的是空气颗粒团、尘埃、水蒸气等，每一种物质都能吸收一些太阳的射线，然后又向四面八方散射开。部分散射的光线来到地球，于是我们看到的天空是明亮的，而不是漆黑一片。

■图 32 图表显示对大气层探索的结果。以同样的比例尺观察，地球是个直径为 50 英尺的球体。

天空看上去实际上是蓝色。或许人们会纳闷：太阳光并不特别显出蓝色，为什么天空偏偏是蓝色而不是别的颜色？原因是这样的：太阳光本来是各种波长的光的混合光波，而空气颗粒、水蒸气和尘埃对不同的波并不一视同仁。蓝光的波长比红光的波长短，而那些微粒的直径比这两种光的波长又都小得多。只不过这些微粒更接近蓝光波长，能更有效地散射蓝光，因此当我们仰望天空时，散射的光线被我们看到，显出的主要是蓝色。微粒越小，散射的蓝光就越多，而大雨时大气中较大的微粒被冲刷掉了，因此大雨过后天空显得碧蓝如洗。同样，在大海上空、在高山之巅我们也会发现天空更蓝，因为我们摆脱了地面上那蒙蒙尘埃。在这种情况下，只有非常小的空气分子散射阳光。当较大的尘埃颗粒也散射光线时，我们就看到那种熟悉的朦朦胧胧的天空。

我们直接看太阳时，所看到的光线是那些没被分散、没被散射的光。由于被散射的光中蓝光远多于红光，因此到达地球的光中，红光或偏红色的光要多一些。于是太阳看上去比实际颜色要红一些。如果我们与太阳之间的空气或尘埃特别厚，例如在日出和日落时分，当阳光斜射穿过大气层时，太阳看上去比平时更红一些。这种现象有人在 1883 年以一种非常引人注目的方式进行了观察。当时正值克拉卡托火山喷发出大量的火山灰。这些尘埃首先使火山周围 100 英里方圆范围内一片黑暗，然后又笼罩了世界。在此后一连数月，大气层中含有这些灰尘，使得日出和日落的景色特别壮观。

水蒸气和雾的微粒也有类似的作用，所以雾中看太阳，太阳显得更红一些。街灯的情况也如此，最远处的街灯看起来要红一些。厚厚的云层有时把阳光完全遮住，但是白天，云团边缘却闪烁着银光或者是金色的光芒；而在日落时出现的是深红色。

尘埃、水蒸气和雾的微粒对各种光在不同程度上都有散射作用；但与蓝光相比，红光却较不受到散射的影响，因为红光的波较长。红外光的波更长，它根本不受散射的影响。因此，假如我们的眼睛对红外光敏感，就能透过层层迷雾清清楚楚地看到远处的物体，就像在普通空气中看景物一

样。

摄像机弥补了我们眼睛在这方面的不足。我们注意到有些摄影胶片对红外光敏感。我们的眼睛看不到远处景物时，特殊的红外底片却能清楚地拍摄出来。装备了红外摄影器材，就可以利用飞机到相当高的高度拍摄地球，照片非常清楚地显示地球的表面呈弧形。

宇宙无限，奥秘无穷。人类
仅为了解和证明地球绕太阳旋转
就用了数千年时间，各种学说纷
起。一些星体的运行轨迹等问题
已开始为人类认识。

第三章天空

现在让我们把思路转向地球及其大气层之外的现象，也就是所谓天文学现象。我们看到各种天体永无休止地在天空中运行，白天出现太阳，夜里出现月亮和星星。看上去它们都是由东向西运行，实际上是因为地球自转带着我们不停地由西向东运动，我们才会看到这种现象。

最引人注目的当然是太阳每天穿越天空的运行，从而带来了光明与黑暗（也就是白天和黑夜）、热与冷的交替。月亮的升起和下落及它在天空中运行的现象同样引人注意，而且这种注意肯定自地球上有了人类就开始了。

我们的大气层只使太阳光线的明暗变化起作用，不能使太阳的形状和亮度改变。但月球就不同了，月球的形状、亮度都在不停地变化着。每个月它都经历一个完整的变化周期，我们称之为“月相”。开始它只是一道细细的光，称为新月；大约一个星期后，新月逐渐变大成了半圆，称为半月；再过一个星期它就成了整圆，称作满月。之后月亮又渐渐变小，直到最后成了细细的新月。

新月时，月球总是离太阳较近；随着月球形状的扩大，它离太阳越来越远；直到满月时，它几乎正对着太阳，因此满月的月球半夜总在南方。

不论是新月、半月还是满月，月球的亮面总朝着太阳，这说明月球本身不发光，只是被阳光照亮的部分看上去有光。在某种罕见的情况下，地球正好走到月球和太阳中间，地球暂时遮住了照射到月球上的阳光，我们就称这种现象为月食。这时我们能亲眼看到月球本身是没有光的。

还有另外的、更罕见的情况就是月球刚好走到地球和太阳中间，——我们称之为日食。当月球经过太阳的正面时，月球看上去完全是个黑影。这使我们又一次亲眼证实了月球本身是不发光的。

人类的这些发现，听起来似乎很简单，实际上它经历了好长一段时间。早期的人类容易受表面现象的误导，对太阳、月球及恒星的大小、运动及物理结构曾有过种种怪诞的想法。如公元前 6 世纪，希腊哲学家阿那克西曼德（大约公元前 611—前 546 年）断言太阳、月球、恒星都不过是苍穹上面的洞，火从天上通过这些洞在闪光。他认为月球的盈亏是慢慢打开和关闭月球洞的结果，而日月食的发生是因为各自的洞口完全被封闭了。

几年之后，我们发现阿那克西门斯（约公元前 585—前 526 年）的主张是太阳、月球和恒星均是由从地球上升到天空中的火组成的。他想像太阳是一种扁平的火叶片，由于幅度宽阔，飘浮在空中，就像滑翔机和飞机

一样。月球也是类似的东西。恒星可就完全不同了，它们更像是些火钉，镶嵌在天空的水晶面上。由于所有这些想法与日月食不沾边，阿那克西门斯不得不假设：天上还有些具有“泥土特性”的暗色球体，大概是这些暗色球体跑到我们的地球和明亮的太阳和月亮之间才造成日、月食的吧？尽管他没这么说。

接下来是色诺芬尼（约公元前 570 年出生）。他认为太阳、月球和恒星是一连串的火云在天空中航行。他相信（正如他之前的埃及人相信的那样）每天有一个新的太阳：前一天的太阳朝西走得那么远以至于看不见了，于是又出现一个新太阳；不时地会有一片火云燃尽了，那便是一次食。

赫拉克莱第斯（约公元前 544 年出生）则认为太阳、月球、恒星都是盆或者碗，它们收集了地球上含火的散发物，从而产生出火焰。月球碗慢慢地转动，使得月球增大又变小，经历了众所周知的月相周期。如果太阳碗或月球碗碰巧转到背离我们的方向，那便会有一次食。

到那时为止，没有一个人的想法接近事实。阿那克萨哥拉斯（约公元前 500 年出生）独具慧眼，以其非凡的洞察力对所有这些现象作了准确的解释。他说月球是“具有泥土特征的”，上面有平原和沟壑，它传送从太阳那里来的光。他解释说月球的相是它沿着太阳轨道运行的结果，通过这种方式它才被照亮。他还明确表示月食是由于月球直接走进了太阳和月球之间的地球的影子里，所以月食总是在满月时发生；而日食则是由于月球插在了太阳和地球之间，所以总是在新月时发生。

早期关于太阳和月球的物理性质的模糊观念总是自然地伴随着对它们的大小和距离的同样模糊的观念。由于太阳和月球在天空中看起来大小几乎相等，所以很明显，它们离地球的距离也肯定是相等的。但这距离是多少，却有着无穷尽的不同意见。阿那克西曼德曾经断言说太阳和地球一般大；几年后，赫拉克莱第斯说太阳的直径只有 1 英尺，而阿那克西曼德采取了中间观点，坚持说太阳比伯罗奔尼撒半岛大。第一个严肃认真地努力去发掘事实真相的人是萨摩斯的阿里斯塔克斯（约公元前 310—前 230 年）。他从唯一可行的方法着手，即在实际测量的基础上进行计算。

在半月的时候我们看到月球刚好是半面被太阳照亮，因此图 33 中的 EMS 角必定是直角。如果这时测量月球和太阳之间的 NES 角的话，三角形中所有的角的大小就都知道了，这也就很容易推算出三角形相应边的长度。阿里斯塔克斯估算说 MES 角比直角差 3 度，并推算出太阳比月球大约远 18 到 20 倍。这种估计可不对。因为事实上这个角比直角差不到 3 度的 1/20，因而太阳比月球大约远 400 倍。

■图 33 萨摩斯的阿里斯塔克斯试用几何方法测量太阳和月球间距离的图示。

阿里斯塔克斯还有一种巧妙地用地球和月球本身测量距离的方法。月食时，我们看到地球的部分影子落在月球的表面，从来都只有部分影子，

因为整个影子要比月球大得多，实际上大约是月球直径的 4 倍。但阿里斯塔克斯估算说地球的整个影子只有月球的 2 倍，并得出结论说地球是月球的 2 倍。用这种方法计算了月球的大小后，就很容易从它空中对的角推算出它的距离了。月球在空中看起来的大小就好比把半个便士拿到 9 英尺远去看一样,直径为 2000 英里的天体看起来这么小肯定是在 24 万英里之外。

这是一种新式计算。令人遗憾的是，阿里斯塔克斯的测量十分错误，整个过程中根本没有丝毫接近他努力估量的量值的地方。他错误地测量了 MES 角，认为地球的直径只是月球的 2 倍而不是 4 倍。除此之外，他还过高估计了月球的大小，误差起码 4 倍，而且根本不知地球的准确体积。又过了好多年，埃拉托色尼才作出了令人震惊的精确估算。这点我们已讨论过了。

我们已经了解了地球怎样在空中转动，而所谓“恒星”（比如牧夫座 a 星和天狼星）却总是停留在相同的方向上，从而形成了一个固定的背景。太阳和月球看起来是在这背景的前面移动的，其他的天体如“行星”（源于希腊词πλανηιεζ，意为漫游者）也是这样。其中五颗最醒目的是金星（一名晨星、长庚星）、土星、火星、木星、水星。这些星在有记载以来的天文学形成前就为人知了，尽管人们还不太清楚金星只是一颗星，不过是早晚交替出现而已。水星也一样。但是巴比伦人似乎知道这点，我们发现毕达哥拉斯和帕美尼德斯在公元前 6 世纪就向希腊人解释了这事。后来，差不多到了现代，又有三颗行星被发现——1781 年是天王星，1846 年是海王星，1930 年是冥王星。除了这些大行星，还有数千颗小行星(minorplanets)，或称它们为微小行星(asteroids)。

从表面观察，行星好像以一种极不固定的方式在漫游。当其他星球以固定不变的方式自东向西在天空中运行时，行星却经常落伍，有时甚至看到它在星群中自西向东运行（叫做“逆行”）。每隔一定时间，金星和水星就会逆行到太阳的背面，之后它们又急速运行，冲到太阳前面。因此，这两颗行星都摆动着不停地绕太阳运行，西边的摆动总比东边的来得迅速。

行星的运行与恒星有秩序的运行形成鲜明的对照，使古人感到非常迷惑。毕达哥拉斯学派的人坚持认为行星的这种不规则运行是幻觉，行星实际上的运动肯定是平稳而有规则的。杰米诺斯(Geminus)写道：“他们不同意把那些神圣的、永恒的事物竟说成是无秩序、无规律的，说什么它们一时飞速疾跑，一时慢慢悠悠，一时又静止不动。即使是一个稳健而有条理的人在旅行，也没有人相信他会出现这么无规律的举动。”而且据说柏拉图还曾经向他的忠实的学生们出过关于找出哪类“一致和有秩序的运动”能解释行星的运行这一难题呢！

当某一天体同时进行两种不同的运动时，即使每种运动都极其简单，它在空中的实际运行轨道也会相当复杂。这是个普通常识。假如我骑着自

行车沿一条笔直的马路行走，我的脚在脚蹬子上绕呀绕，动作很简单，自行车的运动也很简单，可我的脚在空中的路线就十分复杂了。早期的天文学家们就是一次又一次试图以类似的方法解释行星在天空运行的复杂路线的。

第一次尝试作解释的人是公元前 4 世纪的欧多克斯（公元前 408—前 355 年）。他试图用轮子套轮子，或是说球中有球的方法解释行星的运动。这些球是同心球，它们的中心都是地球。每个球都先绕里面的、再绕挨着它的外面的球转，所有的球转动的方向都不相同，每个运动的天体都有自己的球系，并附在这个球系最外面的球上。欧多克斯发现，他需要给太阳和月球各 3 个球,其余 5 颗行星各 4 个,总共 26 个球才能解释它们的运动。后来，卡里帕斯（约公元前 370—前 300 年）发现即使这么复杂的系统也不能完全解释行星的运行现象，就又加了 7 个，总共 33 个。

这套东西变得愈加复杂。但几乎是同时，本都的赫拉克莱第斯（此人我们在前面已经提到过了，他发现了地球的自转）恢复使用简单的方法，并向真理跨近了一大步。他看出没必要用轮子或圆圈的方式来解释金星和水星的运行，只需说明这些行星根本没绕着地球转，而是像卫星一样绕着太阳转。后来萨摩斯的阿里斯塔克斯又向前跨了一大步，他假设地球也是绕太阳转的。下面引用阿基米得（公元前 287—前 212 年）的描述：“萨摩斯的阿里斯塔克斯写了一本书，其中包括某些假设，这些假设得出的结论是宇宙比我们现在所说的要大得多。他们的假设是恒星和太阳是不动的，地球绕着太阳转圈，太阳位于圆圈的中间；而恒星也像太阳一样，位于它们那圈子的中心。它们的运转圈子是非常大的，以至于他认为地球在其中运转的圆圈和恒星的距离与这个圈子的中心到它表面的比例相同。”

这些观点在古希腊时期，或是其他任何时期并不受欢迎。人类从来就不乐意被告知他们的家不像他们经常喜欢想像的那样是宇宙的中心，而只不过是一颗绕着另一颗微粒旋转的微粒，比例是那么小，在浩瀚宇宙中如同一个点。于是我们在普卢塔克的作品中读到克林契斯(Cleanches)是怎样认为阿里斯塔克斯该被指控，因为他太不虔诚，竟然说宇宙的心脏——地球是运动的。阿里斯塔克斯告诉了人类一个令其不快的真理。但人们却很容易从其他天文学家那里听到他们想要听的一切。

阿里斯塔克斯之后约两千年，关于行星运行的最好解释是均轮和本轮说。它不是欧多克斯的轮子套轮子，而是轮子上有轮子。赫拉克莱第斯曾认为水星和金星绕太阳转，而太阳又绕地球转。很快人们就发现这套理论的扩展能解释所有天体的运行。这样一来，不管阿里斯塔克斯说过什么，地球还是宇宙的中心。A 绕着地球转，B 绕着 A 转，C 绕着 B 转，如此类推，就像杰克(Jack)建房一样，直到发现最后一个轮毂上的某个点上确确实实有某个行星在不断地运动时为止。

大约公元 150 年，由亚历山大港的托勒密形成的均轮和本轮理论，在

整个中世纪的黑暗时代里晃来晃去，几乎无人挑战。当然不时地也会有人提出怀疑，但直到公元 1543 年才有了严肃的挑战，波兰修道士哥白尼提议用类似 1800 年前萨摩斯的阿里斯塔克斯提出的理论来代替托勒密的整套理论。简言之，他认为太阳是静止的，而地球和其他 5 颗行星都绕着太阳转。三分之二个世纪之后，伽利略的天文望远镜证实了他的观点的真实性。

这种观点在中欧地区如同在古希腊一样不受欢迎，由于巨大的世俗偏见，哥白尼的书直到他临死也不予发表。伽利略不管这些，大胆地宣称他所信奉的是真理，于是整个余生都和教会的权威频频发生纠葛。

正如阿里斯塔克斯和哥白尼实际上已声称的那样，因为我们在地球上是从一个非中心的位置进行观察的，所以行星的运行才看起来是不规则的。我们就像戏院里的观众看不到舞台上整个布景，因为我们离舞台的左边或是右边太远了。太阳提供了最合适的中心位置，从那里可以看到行星的运动。如果一个观察家把自己安置在太阳上就会看到每一颗行星以一成不变的规律一次又一次地重复着几乎同样的循环路线。他还会看到所有行星的路线几乎在同一平面，这个平面在太阳的赤道上倾斜一个小角度，大约是 7 度。

正如这位观察家从太阳的位置上看我们的家——地球正绕着它以环形路线在空中运行一样，我们从地球的位置上看，太阳正以环形路线在空中运行。太阳在空中运行的明显路线叫做黄道。而且，由于其他所有行星都像地球一样几乎在同一平面上运行，我们看到它们也以与太阳几乎相同的路线在空中运行。3 颗最近的行星——金星、水星和火星有时偏离此路线的角度分别达 9 度、7 度和 5 度，其余 5 颗行星没有一颗是超过 3 度的。因此太阳和行星们在空中的运行路线都集中在相当狭窄的轨道中。古埃及人和巴比伦人都知道这条狭窄的轨道，而且可能通过巴比伦人还传给了古希腊人。这条轨道叫做“黄道带”。

早期的人类只把星星看成是光点，可他们又不能不注意到这些光点很自然地会归属我们称为“星座”的星群中。他们把这些星群起上动物的名字、传说中的英雄，或熟悉的物体。有时以一个想像的类似的东西起名，经常很逗乐，却毫无根据。巴比伦人把黄道带分成 12 个相等的部分，每部分里放进一个星座。除一个是例外，其余星座最初都以动物命名。“Zodiac”这个词意为“动物圈”，这些星座最初被假定为动物的家。太阳在天空中运行时轮流去拜访，每月一次。由于天文方面的原因，一般从 4 月开始排名单，或更精确些说，从春分开始。我们可从瓦特(Watts)博士、歌谣作者的小诗里按顺序记住这 12 个星座：

白羊，金牛和双子座
接下是巨蟹，狮子在闪烁
室女宫，天秤座
天蝎，人马，摩羯

手持宝瓶的人（宝瓶宫）
尾巴闪光的鱼（双鱼宫）

希腊人和埃及人给黄道带上的许多星座起的名字非常相似，可中国的黄道带却是以 12 种截然不同的动物命名的。代替白羊、金牛、双子和巨蝎的是狗、公鸡、猴和羊等。

天空中其余的星也被划成为星座，不少星座已被远古时期的作家提到过。如荷马以及约伯的书中都提到了猎户星座和大熊星座；至于小熊星座，还在公元前 7 世纪就被泰利斯描述过了。很多星座对于许多语言和民族来说都是共通的。如猎户星常常和一个猎人或是英雄人物联系在一起，金牛座则与凶猛的动物相关。

公元前 4 世纪，所有从古希腊时代起就能看到的星座都被天文学家欧多克斯（柏拉图的学生）画在一个圆球上，后来阿拉特斯(Aratus)用文字把它们描写。其中大多数都与很久以前的古希腊或是更远古的文明时期的传说和神话故事有关。于是我们读到了关于大熊星座和小熊星座即大熊和小熊的故事。小熊是一个猎人变的，他不该杀死大熊，因大熊正是他的妈妈，天后朱诺出于妒嫉才把她变成了大熊。还有武仙座（阿拉特斯把它描写成“ 跪着的人 ”）和龙的故事。最好听的、最令人激动的要数英仙座、仙女座和鲸鱼座的故事了。安德洛墨达被囚锁在海边的大岩石上，海怪（鲸鱼座）正准备吞食她的关键时刻，柏尔修斯（英仙座）救了她。柏尔修斯让海怪看杜美沙的头。这头可以使任何看到它的人变成石头。他自己却在镜子里看它而免遭厄运。我还听过当代的一个童谣，说的是一只母牛跳过了月亮。这是由于作者看到月亮经过或是从金牛座下面经过而产生灵感编写的吧！笑着看这有趣情景的小狗无疑指的是下一个星座小犬星座了。天上还有一个圆盘（巨爵座）带着一只汤勺跑着呢。

希腊人不善于旅行，所有赤道以南的天空他们根本看不到，也就不可能划分星座。这真是遗憾。因为给这部分天空的星座起名字的当代人没能保留旧时名字的尊严和简洁。我们发现有这样的星座：印刷工的车间、画家的画架、雕刻家的笔、化学熔炉等等；更怪者，有菲特列(Frederick)的荣耀、乔治的竖琴、查里斯一世的橡树等名称。由于希腊位于赤道北大约 40 度，古希腊人看不见的那部分天空就该是南极以内的了。这样，我们有理由推断那些有现代名称的星座位于以南极为中心的 40 度的圈内。

大胆地说，我们发现这些星确都在 40 度的圈子内，但并不是以南极为中心。了解这一点既有趣又使人增长知识。

地球在空中像陀螺一样旋转，但它的轴不是总朝着同一个方向的，在地球赤道附近的凸出部分一直受日心力的牵引，而当这引力拧着地球轴在空中旋转时地球顶部不停地摇晃，很像小学生玩的陀螺快要停下来时的样子。

我们发现地球的轴摇晃着，每 2.6 万年绕一个完整的小圈。目前轴指

向小熊座的尾巴，可 4000 年前它指向熊的右耳，5000 年前指向熊的鼻尖，1.3 万年之前整个小熊座还在北部天空十分靠下的位置上。当时地球的轴指向织女座附近，而织女座现在又到了天空十分靠下的地方。这些变化都是因为我们赖以生存的这个陀螺——地球在太空中不断运转的结果。希腊人在不同的年代看到的肯定是天空不同的部分，就好比我们在一只左右摇晃的船上，从船舱的舷窗看到的景象是不同的一样。这或许能解释为什么许多南部星座会有希腊的名称，比如半人马座。现在的希腊人是看不到那部分天空了，可那是在 4000 年前，当时的人们信奉半人半马这种怪物。

阿拉特斯在他的诗中所提到的那些星座并不是阿拉特斯那个时代希腊人所能看到的星座。冒昧地说，它们是在公元前 2500 年到 2800 年之前，在希腊的纬度地区所能看到的星座。这样一来，阿拉特斯所描述的只不过是大约公元前 2800 年的一段时间里居住在与希腊不同纬度上的人们最初给起名的星座。这点对巴比伦人尤为重要，特别是因为还有其他证据证明，这些主要的星座中有一些星座在更早些的年代就为巴比伦人所知。

星座的轮廓是靠其中最亮的星才为我们所辨析的。但还有很大数量的较黯淡的星，其中许多我们用肉眼只能勉强看到；还有许多许多不用望远镜是看不到的。

在正常条件下，普通视力的人的眼睛只能看到大约 6 英里远的 1 支烛光。如果我们把光搞暗，或把距离再放到 6 英里处的话，那就一点光也看不到了。我们把我们所能看到 1 支烛光的 6 英里范围叫做“视阈”。

我们把我们所看到的 6 英里远的 1 支烛光作为 1 个亮度单位，那么我们用肉眼所能看到的最微弱的星星恰恰就是 1 个亮度单位。根据这个标准，我们看到的最亮的星——天狼星，被发现有 1080 个亮度单位。换句话说，就是相当于我们看到的 6 英里之外放着 1080 支烛光亮度的灯。第二亮的星——老人星在南部天空很远的地方，有 550 个单位。这两颗星都很突出。最接近它们、能和它们相比的是一串大约各自拥有 200 个单位左右的星：织女座为 220，五车二（御夫座）为 208，α半人马座和南河三（小犬座）每个为 180，等等。整个天空中有 100 个亮度单位左右的星大约只有 20 颗。其次是 200 多颗亮度在 100～10 个单位的星，然后就是 4500 多颗在 10～1 个单位之间的星了。这就列完了我们用肉眼所能看见的所有大于 1 个亮度单位的星了。整个天空中我们能看见的星大约只有 4 720 颗。它们不仅处在我们所能看见的那部分天空，有的还在地平线以下。后者大约有一半会在任何时刻跑到地平线之上，还有相当一部分藏在地平线附近的雾中或是云彩中。总的来讲，如果我们靠普通视力能看到 2000 颗星就算不简单了。

太阳和月亮是那么的明亮，大多数人都高估了它们的大小。它们绕天空运行需一整天，这就很容易证实它们各自仅需 2 分钟就能跨过它自己直径的长度。换句话说，一整个太阳或月亮 2 分钟内就可经过任一个固定点。

这说明，要把太阳或月亮一个挨一个绕天穹排一圈，需要 720 个。由此我们可以计算出，如果把整个天穹排满太阳和月亮，则各自需 20 万个。这个数字和可看见的星星相比就差不多是 42：1。

一旦我们借助了望远镜的威力，我们能看见的恒星的数量便非常迅速地增加了。望远镜的主要功能是收集光波并使其投射在一个大的采光区——望远镜凸出的玻璃或镜片上。这些光波映入我们的眼帘就好比耳机收集声波，再将其传入耳朵一样。人眼（编者注：应指瞳孔）的直径只有 1/5 英寸，因此，直径 1 英寸的望远镜可收集 25 倍于肉眼的光，使我们可以看到任何含 1/25 以上亮度单位的恒星。这样的恒星现有 22.5 万个。可见，仅 1 个 1 英寸的望远镜就能让我们多看到 22 万颗恒星，几乎是以前的 50 倍。威尔逊山上 100 英寸的大望远镜能显示出 3/1000000 个亮度单位的恒星，这些星的总数大概是 15 亿颗。然而这庞大的数字，如我们今后所要看到的，也大约只是恒星总数的 1/100。

■图 34 亮度标准图。右面的数字代表以“ 视阈 ”为单位的倍数，左面的数字代表星等（星的亮度）。天文学家以更高的技术测量星的亮度。通过比较中心线两边的数字，可得知两种测量之间的关系。

尽管恒星的数量庞大，但它们的总亮度并不太大。除了太阳之外，天空中恒星的总亮度只有 10 万个单位，是太阳光的万分之一。它相当于 100 英尺之远的 1 支烛光。

恒星靠自己的光闪烁。而行星却只靠太阳把它照亮，因而来自行星的光自然比恒星少得多，但由于它们离我们近，亮度便得到了补偿。

没有经验的观察者仅向天空草草地看一眼，这样一般是分辨不清行星和恒星的，尽管他可能会记得行星是不会远离黄道而漫游的。最亮的行星是金星、火星和木星。一般仅根据它们的亮度就可认出。金星，只要能看得见它，它总是最亮的；而火星和木星有时比最亮的天狼星亮些，有时则又暗些。

大多数恒星的亮度是稳定不变的，这是由于它们离我们的距离是固定的。但行星的亮度却因两个原因而变化：由于它们绕着太阳转，它们离我们的距离在不停地改变，而我们看到它们被照亮的部分也在变化。这些变化，离我们最近的金星表现最为明显。它被照亮的表面和明显的直径的变化如图 35 所示。显然，当金星离我们最近的时候，它看起来不可能最亮，因为这时我们只能看到被照亮的细细的牙（好像新月）；当它整个表面被照亮时也不是最亮，因为这时它离我们太远，看起来很小；当它处在中间位置时看起来最亮，如图 35(c)所示。这时它有 13000 个亮度单位，有天狼星的 12 倍亮。其他的行星都无法与最亮的天狼星相比。水星最亮时有 760 个亮度单位，土星只有 360 个。

金星接近太阳时，它的直径将增至 63 或 64 秒。但这时它淹没在太阳的光芒中，几乎看不见了。

■图 35 金星的相：(a)当它离地球最远时，直径为 9.5 秒的圆；(b)当它离太阳最远时，直径为 18 秒的半圆；(c)当它最亮的时候，直径为 40 秒的新月形；(d)直径最大时为 62 秒的新月形。

满月的亮度单位是 2 600 万，因此是金星最亮时的 2 000 倍。而太阳，正午时分有 123 000 亿个单位，是满月的近 50 万倍。也许大家会奇怪:我们眼睛是如此敏感，能看 1 个单位的光，而这么亮的光怎么不会使我们变瞎？实际答案是：光对我们眼睛的影响程度不是由亮度单位决定的，而是由它的位数，或是数学家们所称的对数来决定的。这样一来，太阳对我们眼睛的影响不是 12 300 亿而是 14，金星不是 13 000 而是 5，天狼星不是 1080 而是 4。最暗的星还是 1。

尽管行星的位置和亮度在不停地变化，但天空在每个晚上看起来都很相似，它的变化不会让人吃惊。偶尔出现彗星可就激动人心了。不常见的景象中，最不寻常的属彗星和流星。彗星拖着长长的彗尾冲过天空，看上去好像是发了疯。早期的作家曾经把所有的彗星说成“长头发的星”。流星看起来则很像是它失去根柢而掉下来了。

彗星像行星一样绕太阳转，但轨道大不相同。行星几乎是作圆周运动，因此离太阳的距离大致相同，而彗星通常在非常细长的轨道中运行。它的令人震惊的出现通常在几周或几个月内，那是它离太阳最近的时候。这期间，太阳的辐射使彗星喷射出一条长尾巴，这尾巴从不改变地背向太阳。

在彗星的本质被了解之前，它一直被当作不祥之兆。令人奇怪的是，许多次最引人注目的彗星的出现，都和历史上一些重大事件巧合。或者以此预言未来。荷马在《伊利亚特》中写道：

红色的星，从它那火焰般的毛发中
抖落下疾病、瘟疫和战争。

直到牛顿解释了彗星的运动，说明它们是违背了行星运行的同一法则，又被相同的引力牵引着，之后人们才不把它看作不祥之光。

流星的出现更令人兴奋。它们常嗖嗖作响，并经常以流星雨的形式出现。偶尔当我们仰望晴朗的夜空时会看见数十个流星，有时有无数个，像巨大的萤火虫疾驰而过。早期的中国人和日本人似乎受流星的影响很大，他们保存着详细的记录，其中把流星描写成像雪、像大雨、像秋风扫落叶一样飞落下来。这里有一段关于公元 1519 年在朝鲜发生的流星雨的描述，由神户天文台的 Y·Iba 披露：“有些像脱靶的箭在空中乱射，有些像红色的龙腾空狂舞，有的像火球迸裂，有的像弯弓卷曲，而其他的看上去很像双叉锥子，然后又变成多种纷乱的形状和模样。”

其实这些物体根本无权被描绘成星星。它们没有庞大的躯体，也不在数百万里之远的空间，而只是些硬石碎片或金属物质。大多数是那么小，我们一只手中就能握住上百个甚至上千个。它们离家也很近——就在我们的大气层里。

细小的硬质颗粒穿过外层空间不停地旅行。每天有成百万的小颗粒穿射过地球的大气层，以几百倍于机关枪子弹的速度飞行。当它们最初进入大气层时，与空气的摩擦使它们初热，然后很热，然后赤热，最后白热化。到这一步，它们才看起来像星星。它们变得如此之热，以至于几秒钟就结束了生命的历程，化作气体和灰尘，从视野中消失。

这么小的物体竟然看起来会像真的星星，像天狼星和牧夫座α星一样明亮岂不令人吃惊？请记住两件事：首先，流星要离我们近得多，——它们只给少数的观众表演，只在地球上空几英里的地方而不是在几万亿英里以外的空间；其次，它们闪烁的时间要短得多，——仅仅几秒种，而真正的星星至少要闪烁了几十亿年。

与这些小物体性质相同的大些的物体叫陨石。当陨石飞过天空时，往往比真正的星星亮得多，甚至可以照亮整个地带。我们因而把它们描绘成火球。它们的外层表面有时变得如此炽热，以至于它们会迸裂开（就像冷玻璃突然浇上热水会迸裂开一样），经常发出巨大的甚至是可怕的爆裂声响。1533 年日本的一份记录写道：“满天的星星都火花四溅，飞射到地上、海上，分裂成小石块，发出极大的铿锵声，因此到处是恐惧，以为地球要被击碎，王国要崩溃，全体人都在绝望中哀叹。”

这种现象常被看作是天神发怒的象征，结果经常导致国王们或国家改变他们的生活方式。李维（Livy）讲述了公元前 650 年一次陨石降落导致了一场九天的隆重礼仪，以期能抚慰发怒的天神们。日本有记载说：好多次在被看作是告诫的陨石降落后，全国的人都动手修路。哥伦布的日记告诉我们：在他的船员们看到热带鸟之后知道他们已靠近了渴望已久的陆地，但就在此时“看到一块陨石从天上落下，便变得非常悲伤”。

■图 36 巨大的 Hoba 陨星，估计重 60 吨。

■图 37 亚利桑那州靠近 Diablo 大峡谷附近的陨石坑。这是从空中自西北方向拍摄的照片，这个方向和陨石向地面撞击时的方向一致。

小的流星在到达地面之前就化成了蒸气。但大些的流星不会这样，它们通常落到地上，被称作陨星。小些的可能躺在沙漠里或农场上，直到被人发现送到博物馆或实验室里去分析。绝大部分被证实只不过是石头或晶石。少数由铁组成。有时混有岩石或石头，有时混有镍和钴。

大些的陨石也会在地球上掩埋自己，常常在它们落下的地方形成大洞或是陨石坑。图 37 显示的是亚利桑那州的陨石坑。它是椭圆形的，圆周 3 英里，深 570 英尺。据推测，这颗巨大的陨石肯定有 500 英尺宽，大概重 1400 万吨。

月球上温差极大，世界只呈
现黑白两色，每天都有上百万颗
流星和陨石以每秒 30 英里的速
度击向月球。那里没有生命的迹
象，一片死气沉沉。

第四章 月球

我们知道月球在空中看起来总是差不多大，从而我们可以得出结论：月球离地球的距离也总是差不多的。我们可以像测量一座无法攀登的山巅或是一架飞机的飞行高度一样测量月球与地球间的距离。

当一架飞机在空中飞行时，位于不同地点的人们必须向不同的方向观察才能看到它。如果它正好在一个人的头顶上空，它就肯定不会正好在 1 英里之外的另一个人的头顶上空。所以这架飞机的高度可以简单地通过测算它的方位偏离第二个人所在地点的垂直线的距离而计算出来。利用这种方法，天文学家发现地球和月球的距离在 221 462 英里到 252 710 英里之间变动，平均距离为 238 857 英里。所以我们大致可以认为月球距地球 25 万英里远。

从这样远的距离，我们的肉眼看不到月球的细节。事实上，当我们注视着月球横穿夜空时，除了其表面一些或明或暗的斑片以外，我们就看不到更多的东西了。我们可以把这些斑片想像成月亮里一个人背了一捆木柴，或是一位老婆婆在看书，或者像中国人认为的那样，是一只跳跃的玉兔。当然，头脑正常的人谁也不会认为这些想像出来的人或物真的在月亮里。但过去很多人认为月亮只是一面映得出地球面貌的大镜子，因此月亮表面上看起来明明暗暗的斑片只不过是我们地球上陆地和海洋的映像；另外一些人则认为那些暗淡的斑片是一些漂浮在地球和月球之间的物体。我们已知道第一个解释月相和月食现象的是阿那克萨哥拉斯，他曾断言：“月球表面跟地球差不多，有平原，有深谷。”

如果我们用一架天文望远镜，甚至用一部双筒望远镜来观察月球，它的结构之谜就真相大白了，就像 1609 年伽利略把他新制成的天文望远镜对准月球时所发现的一样，他立刻宣布月球是一个与地球相似的星球，有海洋，也有山脉。很久以来，那些暗淡的斑片被认为是真的有水的海洋，还以此命名。例如，图 38 显示的是三个大“海”之一，为麦尔·伊布利姆，即雨海。此外还有麦尔·斯瑞尼塔蒂斯，即澄海；麦尔·柴奎利塔蒂斯，即静海。

然而现在我们知道这些海洋并非真的有水，因为我们从未看到它们像地球景观中的远方湖泊那样反射着阳光、发出灿烂的点点鳞光。由于月球在宇宙空间的公转和自转，太阳的光线可以按顺序地从各个角度照到月球上，但月海却从未反射过太阳的光芒，从未发出过闪烁的波光，所以现在我们相信那些所谓的海洋其实只是干燥的沙漠而已。不难理解为什么“澄”

和“静”被选来命名这些猜想的月球之海了：因为我们从来也没看到过月海里有什么事情发生。“雨海”真是个欠妥的命名，实际上它只是想像的结果罢了。也许早期的天文学家认为有必要把命名多样化吧。

月球上不仅没有水，而且由于根本测算不出气体的数量，所以也可以说没有空气或没有任何气体存在。月球从太阳前方穿过而形成的月食可以清楚地证明这一推断。就在月食即将结束时的那黑暗的最后时刻，当强烈而耀眼的太阳就要从黑暗的月球后面显露出来（也就是说，太阳即将从月亮的丛山之后升起）的时候，如果月球有任何大气存在的话，就应该像在地球上太阳从山后升起时那样有色彩斑斓的曙光预示着太阳的出现。可是实际上月食后的“日出”根本没有曙光，突然之间，太阳就光芒四射地从月球后面露出来了。

■图 38 月球北半球的局部图（威尔逊山天文台摄）。图中部的“海”是雨海。东南部是亚平宁山脉。南端是又大又深的爱拉托逊陨石坑。它左下方是更大的哥白尼陨石坑。

一架大型现代天文望远镜不但可以让我们看到月球景观中的很多细节，而且可以进行拍摄。因为它可以被方便地改装成一架巨型照相机，而且天文望远镜的驱动仪表可以不断转动它，使镜头一直对准月球的某个局部，或对准其他任何我们喜欢的宇宙天体，所以你可以把摄影底片曝光任意长的时间而不必担心会模糊不清。

插图 38 至 41 的 4 幅照片是借助威尔逊山天文台 100 英寸的大天文望远镜拍摄的，显示了月球景观的不同细部。

我们都知道地球上的物体在日出和日落时投射着长长的影子，当太阳高挂时影子会短得多。在月球上的情况也同样，所以月球上山脉的高度可以从太阳不同时刻的投影长度估算出来。尽管月球直径只有地球的 1/4，人们却发现月球山脉的平均高度要比地球山脉的平均高度高一些，不少山脉高达 15 000 多英尺，而且很多山脉还很陡峭。

到目前为止我们还只是从远处观察月球。现在让我们乘飞船去月球上走走。

我们的飞船必须以高速飞行——至少每秒 6.93 英里，否则就会像普通枪支里射出来的子弹一样落回地面。如果飞船恰好以每秒 6.93 英里的速度起飞，虽然刚好能摆脱地心引力，但是摆脱之后它就没有什么速度可以飞离地球、带我们踏上旅途了。所以让我们以每秒 7 英里的速度起飞。在摆脱地球引力之后，飞船仍可以以每秒 1 英里的速度飞离地球。这样我们大约在两天之后就可以到达月球了。

■图 39 月球南半球的局部图（威尔逊山天文台摄）。距图片左边缘的半英寸处的“海洋”是麦尔·胡默鲁姆；其右侧是更大的“海”，即云海。

我们只用了几秒种就穿出了地球大气。在穿越的过程中，我们逐渐将

所有的空气、尘埃、水蒸气等微粒抛在身后。就是这些微粒散射了太阳光线，使天空看起来呈现一片蔚蓝。随着这些微粒数量的减少，我们会看到天空的颜色如前所说的那样依次从蔚蓝、深蓝、深紫一直变到灰黑色。最后我们把所有地球大气都抛到身后时，天空中除了太阳、月亮和星辰之外，到处都是一片漆黑。因为能把天空变蓝的蓝色光线不再被从光束中减掉，所以日月星辰看上去比从地球上看时更亮更蓝。同样，由于不再有大气干扰星星发出的稳定的光束，它们也不再像从地球上看到的那样闪烁不定。而且它们的光线就像尖锐的钢针，使我们感到眼睛刺痛不已。如果我们回头遥望地球，就会看到它有一半左右的表面遮蔽在薄雾、云霭和微雨中。但在我们前方的月球却异常清晰地袒露着全部表面，没有大气将阳光散射，也没有雨雾遮掩着它表面的光泽。

当然，在我们抵达月球之后一切都仍然很清晰，远比地球上的任何物体都更具清晰度。我们知道地球大气产生出许多柔和的色调，使地球的景观更加迷人：日出日落时的橙黄与艳红，雾霭中的紫红与青绿，白天碧蓝的天空，以及远处淡紫的烟霭。但月球上没有大气，也就无法把阳光分解成七彩，也不能把蓝色分配给天空，不能把红色分配给黎明和黄昏。这里只有两种颜色——白色与黑色。阳光下所有的物体都是白色的，而其余的一切则都是黑的。我们觉得这里就像一间电影放映室，唯一的光源是那盏能量巨大的灯——太阳。山谷隐藏在绝对的黑暗里，只有当太阳升到山谷周围的群山当空它才显露出来。这时山谷里的白天像突然打开了电灯一样来临了。

很显然，由于月球上没有大气，如果我们想跨出飞船到月球上四处逛逛，就必须随身带着供我们呼吸用的空气；也就是说，我们需要珠穆朗玛峰登山队员带的那种供给氧气的装备。也许你以为这种沉重的装备会使行走或攀登更为艰难，但是踏上月球的土壤后，我们立刻就会发现事实恰恰相反。月球的质量还不到地球质量的 1/80，因此月球引力也远远小于地球引力，——事实上大约只有地球的 1/6，所以我们可以背起很重很重的东西而毫不费力，甚至可以跳得很高。我们的身体变得灵敏轻松，任何人打破自己的跳高记录都不是难事。在月球上，一位优秀跳高运动员应该能跳到大约 36 英尺的高度，而一名普通跳远运动员也能跳出至少 120 英尺远。打板球赛别有情趣，因为球被击中后能飞得又高又远，所以为职业板球赛设置的投垒间距和场地面积必须是地球上的 6 倍！不过不幸的是，整个比赛的时间是地球上的 6 倍，而且板球落地时间也是地球上的 6 倍。这样慢节奏的比赛实在称不上是比赛。

■图 40 这是月球边缘的局部图（威尔逊山天文台摄）。图左侧边缘的“海”是麦尔·耐克塔利斯，右侧是麦尔·佛昆蒂塔蒂尼，上方是“静海”的一个深“海湾”。

如果我们开枪射击，子弹会射出很远才落回月球。还记得世界大战中

射程几乎达 80 英里的重型武器吧？如果我们把它们架在月球上发射，炮弹就会直入太空、有去无回了。当然，月球上不应设置重型武器，可是一些别的事也有同样结果，例如从我们呼吸器里逸出的氧气刹那间就会飘进太空、无影无踪。

如前所述，我们的飞船必须以每秒 7 英里的速度起飞才能摆脱地心引力，否则它就会像一只板球一样掉回地面。同样，任何其他类型的发射物也必须以这种速度发射才能飞出地球。而空气分子的运动速度极少能达到每秒 7 英里那么快，所以几乎没有空气分子会从地球上逃到太空里去——这就是为什么地球有大气的原因。相反，从月球上发射的物体只需每秒 1.5 英里的速度就可以轻而易举地摆脱月球引力，而多数普通的空气分子都具有这样的速度，因此我们会发现在月球上大气不会存留多久。

也正是由于月球上没有大气才导致月球上没有海洋、河流及任何形式的水。我们习惯认为水温达到 212 华氏度时才会沸腾。但是当我们到山顶高处野炊时就会发现我们犯了个错误：在山顶烧水，水比在平原更容易沸腾，沸点更低。这是因为山顶的气压低，因而阻止液体分子蒸发跑掉的能力弱。如果压根儿没有大气压强存在，不管温度有多低，水分子都会统统蒸发跑掉了。这就是月球上的事实。所以很显然，我们不会在月球上找到水，必须随身携带着自己的饮用水；而且我们也不能把水倒进杯子去喝，否则就在我们想喝进嘴里的时候，杯里的水已消失得无影无踪，——水分子已一个接一个地逃离月球，遨游太空去了。

■图 41“哥白尼”陨石坑近照（威尔逊山天文台摄）。它的直径 46 英里，你可以很容易地在图 38 底部边缘处找到它。

既然月球上没有空气也没有水，我们就无法指望能找到人类、动物、树木或是花草了。多少世纪以来，人们夜复一夜、年复一年地观测月球，从来没有人发现过任何森林、植被及其他生命的迹象。在这颗荒凉干燥的星球上，除了日升日落带来的光明与黑暗、酷热与严寒的更替以外，月球总是一成不变。月球是一个死气沉沉的星球，它只是像一个巨大的反射器、一面大镜子静静地悬浮在太空中，把太阳光反射到地球上。

现在让我们跨出飞船来探索一下月球的景观吧。我无法向你展示我们所能见到的月球细节照片，但是我可以给你看一些同样精彩的照片。大约 50 年前，工程师詹姆士·纳米斯计算出月球上许许多多大大小小的山脉高度，并根据其计算结果制作了一个月球模型。图 42 展示的是模型的一小部分，你可以在图 38 中找到这个地区；图 43 展示的是图 38 中的另一区域。那座靠右侧孤零零耸立着的山叫做皮库山。图 44 是纳米斯对皮库山所作的模拟图样。图 45 和图 46 是对别的一些景观加以想像而绘制的图片（编者注：图 42、43、44 由纳米斯拍摄）。

你当然会感到奇怪：为什么月球的景观会与地球景观迥然不同呢？是因为月球的构成元素和地球的不同吗？或是因为月球的构成元素虽然与地

球相似但元素结构却不同呢？或者这所有的差异都归因于物理环境的不同吗？

■图 42 斜亘于照片下半部的是月球的亚平宁山脉，其上方是巨大的阿基米得陨石坑。你可以在插图 21 的右侧找到它。

我们已经知道地球上的山脉、火山、陨石坑等是怎样形成的了。简言之，地球在形成之初是一团很热很热的气态球，它不断收缩、冷却、液化，最后变成一只充满液滴和气泡的“海绵球”。这只“海绵球”继续冷缩，气泡被挤了出来，形成了海洋和大气。这样，固体的地壳形成了。但是由于过于剧烈的收缩，地壳变得皱折不平，形成了诸如喜马拉雅山和阿尔卑斯山这样的山脉。当初这些山脉要比现在高 5 至 10 倍，后来由于雨雪霜冻的不断侵蚀才变得相对平缓一些。

看来月球山脉最初也是由于月球冷却收缩时形成的。不同的是，从月球内部挤出来的气体和水蒸气却无法以大气或海洋的形式覆盖月球，因为它们的分子早就射向太空、不知去向了。这样，在月球上那些雨雪霜冻等使地球山脉变平坦的侵蚀因素从一开始就不存在，因此月球山脉一直就是这样轮廓清晰、陡峭林立，跟形成之初一模一样。

然而月球上肯定存在着某种因素使这些山脉的轮廓如此陡峭；由于这些山脉都是断裂的岩层，因而肯定有某种因素使岩层断裂开。事实上，观测月球的人们有时能看到一些据称可能是由于岩石滚落而形成的尘埃云。由于月球上既没有雨又没有冰使岩石破碎，那么肯定有别的什么因素在起作用。如果我们到月球上走一走，很快就能发现这些因素是什么了。

我们知道偶尔冲入地球大气的石质或金属质天外物体碎片具有强大的撞击爆炸威力。较小的碎片像流星一样明亮可爱，在到达地面之前就燃烧成尘埃了；但是较大的碎片可就会给地球带来许多灾难。

当然，相似的天外物体碎片也会不断地冲撞月球表面。由于月球上没有大气来减缓它们的下冲速度，更无法趁它们冲到月球表面之前就把碎片燃烧成尘埃，所以大大小小的陨星几乎保持原速穿越宇宙空间直冲月球，就像细细密密的枪林弹雨一样轰击月球表面。我读过许多关于在月球上探险的科幻小说，可是作者们都忘了提及一个情节：那些探险家们会置身于冰雹一样的持续不断的陨星轰击之中。这种经历可一点都不好玩。据保守计算，每天都有上百万的流星和陨星撞击着月球表面，而且其平均速度可能高达每秒 30 英里。这相当于来复枪射出的子弹速度的 100 倍左右呢！就算陨星的体积不太大，但如此高的速度够令人生畏了。每秒 30 英里的速度能使一小粒物质具有时速 30 英里的汽车的能量和毁坏力,而半磅重的陨星就具有时速 70 英里的皇家战斗机的能量。如果这颗陨星冲到地面，立刻就能把一幢房屋夷为平地。显然我们地球居民受到地球大气的恩惠太多了，正是它使我们免遭这种灾难。至此我们就能理解形成月球尘埃云与岩石坠落的原因了：那是陨星的作用。

■图 43 照片左侧的大陨石坑叫柏拉图陨石坑，其右侧稍向下倾的深谷叫阿尔卑斯峡谷。你可在图 38 的右上部找到它们。

■图 44 这座孤零零的山位于柏拉图陨石坑以南（在上图和图 38 中都可找到），名叫皮库山。它从平原上拔地而起，高达 8000 英尺。

人们常常猜测陨星的坠落可能也是形成月球上那些引人注目的环形山的原因。诚然，有些陨星可能确实能形成一些小陨星坑，但这不是所有环形山形成的唯一原因。因为如果所有的环形山都是由陨星撞击而形成的，它们应该都和地球上的陨星坑相似才对。可是事实上月球环形山在很多方面都与地球陨星坑很不相同。月球上最大的环形结构远比地球上所发现的任何陨石坑都大得多，形状也更规则一些。由于陨石坑是由陨星从各种角度冲击到地面造成的，所以陨石坑应该有不同的倾斜度或不规则的形状，但是月球上几乎所有的陨石坑都是正圆形的。因此它们是由于月球内部物质的运动造成的，而不是由月球之外的物体造成的。月球上许多陨石坑中部隆起，有点像地球火山的火山口。这似乎暗示着它们是由于某种火山运动造成的。——简单说，它们似乎是火山喷发后形成的火山口。

■图 45 这幅图显示的不是月球上某个特定的陨石坑，而是密布大大小小陨石坑的典型地区。（选自纳米斯与卡朋特著《月球》）

■图 46 这是地球遮蔽太阳形成日食时月球山区的典型景观。环绕地球的那圈明亮的光晕是由地球大气形成的。（选自纳米斯与卡朋特著《月球》）

其他证据也证明月球表层主要是由火山群以及熔岩、火山灰等喷发物组成的。在地球上，空气、雨水和冰霜的共同作用能把火山喷发物分解成土壤，这些土壤最终可以养育万物。但是在月球上没有任何因素作用于月球火山喷发物，更没有因素把火山灰变成土壤，因此它们永远以熔岩和火山灰的形式遍布于月球表层。

我们可用科学的方法检验这个推测。在图 46 中画家为我们描绘了一幅日食图。让我们假设这次日食发生在我们月球旅行期间，那么我们会有什么发现呢？

我们的第一感觉肯定是觉得奇冷。我们都知道在地球上发生日食时，太阳突然被挡住后的气温是相当冷的。好在地球大气和土壤还储存了一定的热量，所以我们才安然无恙。而在月球上，不但没有大气可以储存热量，而且月球土壤也几乎不储存热量。这是因为火山灰导热性能很差，就像裹在热水管上用以防止散热的石棉一样，阳光的热量都被隔在外面，无法进入土壤里面储存起来。就算月球内部有一定的自身的热量，我们也几乎受益无多，因为那点热量也被厚厚的像石棉板一样的月球土壤层隔在里面了。因此，当太阳的光和热被挡住时，气温会从阳光普照时的炎热骤然降至比地球上任何时候的任何地方都冷的酷寒。

天文学家们可以把一架装备了“温差电偶”的天文望远镜对准某颗星星或月球表面的某一点用以测量其温度。用这种方法我们可以测得日食不

同阶段时月球表层的温度变化，结果发现这些变化不论温差数字或是变化速度都是极惊人的。随着地球投射的阴影移过月球表面，笼罩在黑暗里的地区的气温会在短短数分钟内从大约 200 华氏度降至零下 150 华氏度。

这样剧烈的降温足以证明几乎没有什么储存在月球内部的热量能到达月球表面。这当然也意味着月球表层肯定是热的不良导体。精确的计算结果显示，月球表层只具有与火山灰一样微弱的导热能力。

在月球上，每天的日出日落同样能造成温度的巨大变化。当然，其变化速度不会像日食时那样快得惊人。日出前月球的气温可能只有零下 250 华氏度；等到日上中天时，气温可能高达 200 华氏度，即相当于沸水的温度。即使在这样大幅度的温度变化中，月球表层大片大片的火山灰仍能使月球内部温度一直保持相当稳定。如果我们向地下挖一个大约只有一英寸深的小洞，就会发现那里的温度恒久保持在几乎接近冰水的温度。

人们对月球表面进行观察后猜测月球是由各种各样的物质——冰、雪、岩石、银，甚至还有像干酪一样的绿色物质组成的。然而我们不能仅凭目测就能判断出一种物体的构成情况。许多物体看来类似，其实它们的结构却完全不同，例如钻石和人造宝石、真珍珠和假珍珠，你很难一眼就把它们分辨开来。但是如果我们用不同的色光照射目标物体再进行观察，情况就好得多了。例如，在一种色光下看似相同的两个物体，在另一种色光下看时通常就截然不同了。

现在我们可以利用分光镜来作这种观察。分光镜能把普通光分成七彩，从而便利我们分别使用不同的色光。如此一来，我们就可以让不同的色光讲述它们自己的故事了。在法庭上，法官大人总是坚持让证人分别出庭作证：警察先叙述事故案情，以及他是怎样逮住那个超速驾驶的肇事者的；目击证人则轮流出庭讲述他们各自目睹的事故；车主则讲述他的遭遇，等等。如果这些证人同时在法庭上又叫又嚷，法官是很难判断出真相的。同理，我们从宇宙空间接收到的不同色光发出的信号可以告诉我们其光源物质的性质，而分光镜可以帮助我们“收听”到这些有趣的“故事”。

尽管两种不同的物质有可能在好几种色光中都看似相同，但总会在某一种色光中发出不同的信号。因此，如果两种物质在所有色光中都相同、在整个光谱范围内的信号也类似的话，我们就可以相当确定地说，它们是同类物质。

如果我们用红外线和普通光拍摄同一风景，你能发现很多物体在两张照片上是不尽相同的，这说明它们是由多种物质组成的。然而当我们用同样的方法拍摄月球——不仅用普通光和红外线，而且也用其余各种色光——月球各部分发出的信号却都是相似的。所以，我们可以得出结论：月球表层各部分几乎都是由同种物质组成的。更进一步说，如果我们能在实验室里发现某种物质在各种色光中发出的信号都与月球表层发出的信号相似，那么我们就可以推测说，这种物质与月球表层物质具有相似结构。

另外还有一种更深入、更具技术性的研究方法可以得出更精确的结果。光线不仅可以被分成不同长度的波（例如分成七彩色光），而且还可以分成向不同方向振动的波。当我们用琴弓拉奏小提琴的琴弦时，琴弦会或多或少地向琴弓拉动的方向振动，其振动方向与琴身平行。但如果我们用手拨弄琴弦，弦会向我们弹拨的方向振动，这时的振动方向可能与琴身垂直。此时，琴弦奏出的声音与前者相同，但弦的振动方向却是不同的。

当光线被物体反射时，光波在空间的振动方向也会发生改变。光波转向的幅度在很大程度上取决于这个物体的性质。因此，在某种程度上，我们可以通过测量光波振动方向的改变及其幅度来辨认物质。当然，在我们得出月球的物质构成的最后结论之前还有一项很重要的工作，就是先检测一下我们所研究的物质改变光波振动方向及幅度是不是和月球表层物质所改变的一样大。这项检测工作很严格，也很有说服力，因为我们不仅能检测出在不同色光中该物质发出的信号，而且还能检测出各种色光向不同方向折射的角度。

现在，只有火山喷发物和火山灰非常成功地通过了这一系列严格检测。除了靠近亚里士多德陨石坑的一小片区域以外，月球表层其他部分所发出的信号与火山灰的信号在各个方面都是一模一样的。用紫外线观察时那例外的一小片地方呈现黑色，但在普通光下那里与其他区域几乎没有什么不同。这片小区域的信号与撒了薄薄一层硫磺的火山岩是相同的——而硫磺是地球火山喷发物中很常见的组成物质。

综上所述，月球表层极有可能是由火山灰构成的：不论在一种色光还是在所有色光中，月球表层都看似火山灰；不论在一种色光还是在所有色光中，月球表层物质改变光波振动方向、幅度都和火山灰相同；它微弱的导热能力也和火山灰相同；而且最后一条理由是，月球表层灰状物质就散布于几乎已被确认的火山脚下。

太阳系诸星都有各自的“危
险带”，它是恒星拥有行星、行星
拥有卫星的渊薮。对九大行星逐
个探察，除地球外，其余均不具备
存在生命的条件。

第五章　行星

太阳系中有九大行星，地球是其中之一，它们都围绕太阳作有规律的运动。除地球之外的另外八大行星中，有五颗行星在远古时代就被人类发现了，而另外三颗行星——离太阳最远的三颗行星——相对来说发现得比较晚。

■图 47 太阳系中的太阳（上）和九大行星（下）的相对大小。九大行星按它们与太阳的距离由近而远排列，从左至右依次为：水星、金星、地球（有月亮）、火星、木星、土星（有光环）、天王星、海王星和冥王星（编者注：图不清晰，有两颗星未显示）。

图 47 所展示的模型序列显示出九大行星在体积大小上具有较大的差异。离太阳最近和最远的行星在体积上是最小的；而处于中间位置的行星，如木星和土星的体积是最大的；位于正中的木星是九大行星中最大的一个，其直径达到 9 万英里，它的体积是地球体积的 1300 倍。如果把木星按某一比例缩小成一个足球那么大的话，那么地球在这个比例中只有一个玻璃弹子的大小，而火星则比一粒豌豆稍大一点。

如果我们按照一定的比例将图 47 中九大行星与太阳之间的距离缩小，使离太阳最近的水星（它绕太阳运行的轨道不是圆的）在它离太阳最近时只有 20 英尺，那么地球离太阳的距离则为 50 英尺，而离太阳最远的行星——冥王星，其环绕太阳运动的轨道半径为半英里。

我们知道太阳系主要是由空旷的空间组成，然而如果将太阳系的空旷空间与宇宙的空旷空间相比，那就是小巫见大巫了。假如我们还采用上面的比例来构造我们的模型，那么与我们最近的恒星（除太阳外）至少也有 3000 英里之远，可见宇宙空间是多么的巨大。

九大行星全都沿相同的方向环绕太阳运行。正像我们看到的一样，它们几乎处于同一水平面上，彼此之间都遵循着“单行道”的交通运行规则。除离太阳最近的水星、金星和离太阳最远的冥王星外，其余的行星都有一至多个卫星。位于中间的巨大的木星和土星，它们每个至少有九颗卫星，也许会更多。因为利克（Lick）天文台的杰弗（Jeffer）博士最近发现了一个微小物体环绕着木星运动，他认为那是木星的第十颗卫星，其直径仅有几英里。

毫无例外，所有的卫星都沿着相同的方向环绕着它们的行星运动，而行星本身又环绕太阳运动，它们几乎都在同一水平面上。

除九大行星和它们的卫星之外，还有成千上万的天体，如小行星等，

它们也沿相同的方向环绕太阳运行。到 1933 年底，有 1264 颗这样的天体被发现。此外还有大量的彗星也沿着相同的方向环绕太阳运动。“ 单行道运动规则 ’在整个太阳系中是相同的。那么这个运动规则是如何实施的呢？该“ 交通 ” 应如何指挥并且保持其运行的呢？

如果九大行星被完全分割开来而独自存在的话，那么每一个行星都将作匀速直线运动，而且不久它们都将消失在宇宙深处。在地球上，我们发现我们自己正以每秒 19 英里的速度在寒冷的外层空间中运行。然而，在第一章中我们探讨的历史书告诉我们，一定有某种东西在控制地球，否则地球早就消失在苍茫的太空之中了。正如我们看到一匹马正环绕赶马人在田野中一圈圈在跑一样，有一种东西在控制着马。

这种“ 东西 ” 正是太阳，它对地球的控制正是通过我们所称的引力来完成的。你也许还记得——至少根据故事——牛顿是如何观察到苹果落在地上的，牛顿意识到地球是否也吸引它表面上的任何物体（如苹果等）？那么它是否也吸引外层空间的物体（如月亮等）？他并不认为地球吸引远距离的物体和近距离的物体所用的力是相等的。相反，他认为地球对它们的吸引力与它们之间的距离的平方成反比。

如果真是这样，那么我们就很容易地计算出地球对月亮的吸引力。月球到地球中心的距离是我们自己到地球中心距离的 60 倍，因此，地球对我们的吸引力是对月亮吸引力的 3600 倍。对于近地表的物体来说，物体在 1 秒中内朝向地球可以下落 16 英尺，而对于月亮表面的物体（包括月球本身），它们在 1 秒中内朝向地球下落的距离是地球表面的物体下落距离的 1/3600，相当于 1 英寸的 1/20。虽然地球对月亮的吸引力很微小，但是它却使月亮精确地沿着它的轨道运行，从而避免了月亮逃逸到太空之中。尽管月亮以每小时 2300 英里的速度运行（这个速度相当于一辆特快列车的 40 倍），然而由于月球周而复始连续运行，由于它朝地球方向移动的距离十分微小,结果使得现在月球到地球的距离与 1000 多年前几乎没有什么差异。

正像地球引力保持着月球沿着合适的环形轨道环绕地球运行一样，太阳的引力也保持了地球和其他行星以圆形或近似圆形的轨道环绕其运行。每一个行星都可以比作是在绳子的另一端环绕着我们的手做圆周运动的物体。我们的手相当于太阳，绳上的力相当于太阳的引力。物体环绕手旋转越快，绳上的力就越大。现在观测表明，太阳系中离太阳最近的行星环绕太阳旋转的速度要远远高于太阳系中离太阳最远的行星，因此太阳对最近的行星的吸引力要远远高于最远的行星。这符合牛顿定律，即引力的大小是与距离的平方成反比的。的确，正是这个定律决定了行星运动的速度和距离。所有行星都调节着它们的速度和距离，以便使它们的引力能精确地满足于它们的自转和公转。

水星环绕太阳 1 周所需要的时间要比冥王星少得多。实际上，水星绕

太阳运行 1 周需要 3 个月的时间。而冥王星环绕太阳 1 周的时间是 250 年，这个时间是水星的 1000 倍。所以冥王星仿佛总是停留在天空中的某一位置上一动也不动。很显然，其他的行星环绕太阳 1 周所需要的时间是介于这两个极端行星——水星和冥王星之间的。金星绕太阳 1 圈大约需要 7 个月，地球是 1 年，火星近 2 年，木星几乎需要 12 年，而土星需 29．5 年。

太阳就像一个火球一样向空中的四面八方放射出光和热。九大行星如同哨兵一样围绕着火球一圈一圈地行走。最接近火球的哨兵一定是热得非常难受。而离火球最远的哨兵却非常寒冷，除非它自己有热量来源用以保持它的温度，否则仅依靠火球给它传送的热量，它将永远处于寒冷的状态。

如果行星没有来自它内部的热量补充的话，那么它从太阳那儿所吸收的热量将很快地辐射到太空中去。行星吸收的太阳光能是很容易计算出来的，然而行星辐射到太空中的能量是由它的温度所决定的。其表面的温度越高，它辐射的能量就越多。本身内部没有热量供给的行星，它从太阳吸收的能量正好与它向太空中释放的能量相等。如果一个行星以很快的速度自转，那么该行星表面的温度基本上是一致的，这就像在火上旋转烤的羊肉一样，其周身受热是均匀的。实际上，大多数行星的自转速度很慢，这样就导致朝向太阳的一面的温度要高于背向太阳的那面的温度，其结果是行星晚上的温度要低于白天的温度。行星表面任一点的温度是不稳定的，通常是在平均温度上下波动。

地球所吸收的太阳能是很容易计算出来的。为了将这些能量释放回太空中去，地球表面必须具有 40 华氏度的温度，而这一温度正好高于冰点；同时地球还要被看作是一个无大气层的坚硬的黑色球体。在允许的范围内做了一些规定后，我们发现，计算出来的地球的平均温度要比实际观测到的平均温度低。实际观测值是 57 华氏度。这说明地球并不是从太阳那里得到了它的全部的热量，而地球本身一定有内部热量的供给。这些热量可能是地壳中的一些放射性物质。这些知识我们在本书的第一章中就介绍过了。

我们可以采用相同的方法计算其他的行星的平均温度，但须假定这些行星都只从太阳那里获得热量，没有其内部的热量供给。九大行星的温度，从水星温度 343 华氏度开始，一直可以变化到冥王星的平均温度 380 华氏度。有趣的是，九大行星平均温度的计算值与实际观测值极其吻合，这表明九大行星几乎都没有来自它们自己内部的热量供给，它们所有的热量几乎都来自于太阳的电磁辐射。

距离太阳最近的水星的温度是相当独特的。计算结果显示，如果水星迅速旋转，它表面的温度将恒定保持在 343 华氏度；如果旋转得慢，那么它表面的温度将在 343 华氏度上下波动。在极端情况下，即水星的一面始终朝向太阳，而另一面始终背向太阳这一情况下，向阳一面的温度将远高于 343 华氏度，背阳的一面将远低于 343 华氏度。计算结果还表明：水星

向阳面的中心，由于太阳直接照射，它的温度将达到 675 华氏度。目前观测到水星向阳面中心点的温度与计算的结果相当吻合，这就证明水星总是一面朝向太阳，就像月球总是一面永远朝向地球一样。换一句话说，水星总是一面永远是白天，而另一面永远是黑夜。永远为白天的这一面，由于它的温度永远是 675 华氏度，因此这么高的温度便不可能使任何大气存在。由于水星的质量仅仅是地球的 1/25，因此它的引力也比地球的引力小得多，它表面上的大气分子或任何抛射物都将以每秒 2.25 英里的速度飞向茫茫太空。如果水星表层有大气层存在的话，水星阳面表面的气体分子运动不断被高温加速，气体分子也早已逸散到太空中去了。水星外表看起来像一个黑色的圆盘，说明水星没有大气存在，因此也不可能看见反射的太阳光。

水星离太阳很近，所以它完全消失在太阳的光芒之中了。即使在最有利的时机，观测水星表面的景观也是极其困难的。然而某些永久标志我们还是能够看到的，正像月球表面那些醒目的标志一样。通过对从水星上反射回来的光的研究，我们发现：水星表面可能与月球表面十分相似，其表面可能也布满了高低不平的火山灰和尘埃。

金星是水星之外离太阳最近的行星。它与我们的地球有许多相似之处，在许多方面可以说是地球的孪生姐妹。其直径为 3870 英里，几乎与地球直径 3960 英里一样长。但是金星上物质的密度却比地球上的要小。金星上物质的平均密度是水密度的 4.86 倍，而地球上却是水密度的 5.52 倍。由于这个原因，金星的总质量比地球轻 19%，它表面的引力也比地球表面的引力小 15%。当金星表面的气体分子或抛射物的运动速度达到每秒 6.3 英里时，这些气体分子或抛射物将脱离金星的引力逃逸到太空中去。而在地球上这个速度是每秒 6.93 英里。

因此，这两颗星球具有明显的相似性。如果有所不同的话，也是因为金星比地球更靠近太阳。通过计算发现：金星上的平均温度比地球上的平均温度约高 90 华氏度。然而，即使在此温度下，水依旧能以液体状态存在，同时该星球也能保持大气，所以我们期待着在金星上也能发现地球上面也有的海、河、大气、云和暴雨等自然景观和自然现象。

我们对于金星上有大气层和云的看法是非常肯定的。因为当金星以很少有的次数通过太阳前方时，它表面的反应与没有大气的水星和月球有极大的不同。当金星进入或离开太阳明亮的一面时，我们看不到金星是一个明显而清晰的黑色圆盘，看到的是其边缘为梨形的闪烁着光芒的黑色圆盘，边缘上的光是它的大气层反射太阳的光而产生的。现在的研究表明：金星完全被云层所包裹，该云层相当厚而且永远存在，我们无法透过该云层观察金星表面，即使我们采用能穿透云层的红外光也无法办到。

用红外光和紫外光分别拍摄金星，发现这两张照片没有本质上的区别。在紫外光拍摄的照片上有许多黑色的斑点，但是这些斑点并不是永远

存在的，它们可能是云和雾的阴影。如果它们是金星表面上固定的景物的话，那么它们在红外光拍摄的照片上就能够明显地反映出来。因此，我们必须放弃我们曾经认为可以透过云层而看到金星表面上任何固定景物的希望。

对金星被浓厚的云和雾所包裹这一事实并不难理解，因为它的表面温度太高，导致其表面上的水以气态的形式存在，其量要比地球上多得多。但是无论什么原因，云层是客观存在的，要想对云层下面进行深入研究几乎是不可能的。现在可以说，我们仅仅对金星表面云层和雾层以上的平流层作了一点初步研究。

我们通过对穿过地球平流层的太阳光的分析，可以研究地球平流层的组成。我们发现太阳光中有些波长的波被平流层过滤掉了，由此我们可推断，在平流层中有臭氧存在。

我们采用相似的方法对金星进行了研究。我们发现金星的光实际上是已经两次穿透了金星平流层的太阳光，即一次是来自太阳的光射进金星云层，另一次是再从云层中反射回来进入我们的眼睛。我们将金星的这种光与太阳直接到达地球的光进行比较研究，发现来自金星的太阳光中有些波长的光已经丧失了。由于这些光的丧失只能发生在金星的平流层中，所以我们可以推断出金星平流层的组成。

这样我们立刻就发现了地球的平流层与金星平流层在组成成分上的不同之处。金星上没有可以看见的大量的水蒸气。这一点也许并不令人惊奇，因为地球的平流层中也没有大量的水蒸气。事实上。它们最明显的区别在于：金星的平流层中几乎不含有氧气。

氧气的存在是极其重要的，因为许多化学物质都极易与氧发生化学反应，正像我们所看到的铁生锈、腐蚀和燃料燃烧现象一样。令人吃惊的是氧气居然在地球的大气层依然存在至今。这要归功于覆盖在地球表面大量的植被进行的光合作用，绿色植物不断地向地球大气中释放氧气。植物发挥着氧气制造工厂的作用。金星表面没有氧气是非常可能的，因为金星表面没有植被，从而也就没有氧气的来源。

为了推测金星表面的物理环境，让我们先来研究月球和水星表面的物理环境。在月球和水星表面，我们可能发现干旱的岩石荒漠。这些荒漠是由太阳过分的烘烤和背阳面过分寒冷形成的，但是它们却完全没有受到风和雨的侵蚀。金星表面也有岩石荒漠，然而这些荒漠肯定不是干旱的，至少要发生一些变化。如果金星也像我们地球一样自转，那么我们就可以很自信地认为金星表面也会发生与地球相似的风、干湿季节等自然现象。然而我们已经看到，水星总是以相同的一面朝着太阳转动，金星也极有可能是以相同的一面朝着太阳，或者可能以极其缓慢的速度像地球一样自转。换句话说，金星可能与水星一样有一个永久的白天和一个永久的黑夜，或者可能以极其缓慢的速度交替出现白天和黑夜。在这两种情况下，金星可

能几乎没有风也没有雨，仅仅有一个永远潮湿而炎热的气候。

金星表面与地球在生命开始出现并改变了地球表面的景观和大气组成之前的远古时代有非常相似之处。当我们乘坐“时间列车”返回到过去，我们一定会发现，地球比现在要热得多。这些热量一部分来自于地球内部，另一部分是太阳本身比现在热得多，所以太阳提供了极其丰富的热辐射。也许今天的金星正展现地球早期的风貌，而未来的金星也许将重演我们地球现在的历史。即使今天，金星仍没有植被存在，但是随着它的演化，它可能会出现植被，并向它的大气层中提供氧气，以至于最后导致非常高级的生命出现。然而我们对生命的本质和特征知之甚少，我们目前对生命起源的想法都是最大胆的设想和猜测。也许生命在金星上将以完全不同的形式出现，或者生命在金星上永远不会出现。我们显然并不清楚，因此我们无法去妄自猜测。

如果我们继续在太空中遨游，当我们从远离太阳的地方经过我们早已熟悉的地球后再向前遨游，我们就来到了与地球相邻的火星。如果金星是地球的孪生姐妹，那么火星就是地球的小弟弟；假如金星是地球温暖的姐妹，那么火星就是一个非常寒冷的小弟弟；如果金星勾画出了地球遥远的过去，那么火星则可能预示着地球遥远的未来。

由于火星的直径仅为地球的一半，质量仅是地球的 1/10，所以火星无法在体积和质量上与地球和金星相比，它的密度也比地球和金星小，因此它的引力也小得多。用相同的力我们在火星上跳的高度可以达到地球上的 3 倍，跳远也是地球上的 3 倍，月球上跳的高度和距离是地球上的 6 倍。火星上大气分子或抛射物仅需每秒 3.1 英里的速度就可挣脱火星对它的吸引而飞进太空之中。而这个速度在地球上是每秒 6.9 英里。如果火星位于现在水星的位置上，那么它的大气分子将会不断地被加速到每秒 3.l 英里，从而它的大部分或全部大气分子都将消失在太空中。但是火星距离太阳越远，它就越能改变这种命运，即它的大气层将变得越厚。利克天文台用紫外光和红外光拍摄了火星照片。当我们把这两张照片重合时立即发现，用紫外光拍摄的照片明显地大于红外光拍摄的照片。这个差异正是火星大气层的厚度。

正如我们对金星的观测一样，我们看到的火星表面的光也是两次穿越了火星的大气层。因此，我们也希望能从它的光谱中找出丢失的波段，并从中推论出火星大气层的组成。但是我们在分析它的光谱时发现，它的光谱中几乎没有什么波段被滤掉。威尔逊山的天文学家有非常先进的设备，他们对火星大气层中的氧气和水蒸气的存在进行了细致的研究。他们没有发现在火星上有氧气存在，并且认为火星表面每平方英里面积中的氧含量远远不及地球表面相同面积氧含量的千分之一。

虽然有一些证据表明火星上有一定量水蒸气存在，但是通过分析仍然没有发现火星大气层中有水蒸气存在的直接证据。火星上有我们地球上一

样的冷热季节的交替，并且已注意到它的表面上的某些特征是随着其季节而作有规律的变化。例如，覆盖在两极地区的白色极冠在寒冷的季节存在，而在温暖的季节里便消失了。白色极冠常被猜测是冰或雪——也许是在空气中的冰晶颗粒形成的云，或者是其表面上所覆盖的雪——虽然它也可能是仅仅由二氧化碳或其他物质组成的雪，而不是凝结的水蒸气。

人们还注意到，每到火星的春天，黑斑就出现，秋天便又消失。当然这主要是在赤道和南半球。开始人们以为这些黑斑是海洋，但现在认为这是不可能的。其一是因为其颜色变化太多太快。比如，据观察，有一黑斑在短短的几个月内就由蓝绿色变为巧克力棕色，然后又恢复到黑色。这些黑斑还与月球上假设的海洋相像，同样地从不反射阳光。天文学家曾一度认为它们可能是森林或大片的植被。自此，以考察月球表面的同样方式对火星的表面进行考察，发现火星似乎具有与月球表面相似的成分，即火山灰或诸如此类的东西。因此黑斑可能是像月球那样由阵雨打湿极干的表面而造成的。

如果我们乘航天器到火星上去，很显然我们必须再带上空气和水，得对应付极其恶劣的气候做好准备，并做最坏的打算。

火星的昼夜和四季与地球很像。它自转 1 圈为 24 小时 37 分，因此它的一天比地球上的一天略长一点。同时又因其轴心的角度为 25 度 10 分，比地球的 23 度 27 分角稍倾斜一些，我们会发现火星的四季比地球四季更分明，冬夏的差别会更大。还有别的一些原因影响火星气候的变化。

地球绕太阳运行的轨道虽然不是非常圆，但近乎圆形。由于其与太阳的距离在 12 月比在 6 月少 3%，我们北半球的居民在冬季中期距离太阳最近，而南半球的人们在夏季中期距太阳最近。与太阳的距离的微小差异就减小了北半球冬夏之间的差别而加剧了南半球冬夏间的差异。因此，我们去南极而不是去北极才更能领略到极端气候的滋味。

但是，地球与太阳之间距离的变化还没有大到足以影响我们生存。而在火星上就不同了，其轨道不像地球轨道那样圆。我们与太阳距离之差不足 300 万英里，而火星与太阳的距离之差高达 2600 万英里。因此，当火星接近太阳时，整个行星上的气候变得相当温暖；当其离太阳远时，整个行星又变得很冷。整个火星的冷热变化当然对火星的四季有相当大的影响。最热的时候，即火星离太阳最近的时候，是在南半球仲夏之前。因此，在火星上与在地球上一样，极端气候出现在南半球，而且其差异程度要比地球大得多。

那么，如果我们乘航天器到火星上去，我们不妨利用其热源。但即使如此，我们会很快发现仍不够用。因此，让我们安排在火星离太阳最近的时候着陆，即在整个行星最温暖的期间，并在中午着陆于赤道以南。在这儿，气温可能高于 60 华氏度。但是，即使碰上晴朗暖和的天气，严寒也将伴随着夜晚到来。因为行星上既没有足够的云层，也没有足够的大气层来

保持它的温度，阳光一旦消失，火星就很快地变冷，就像在地球上的沙漠里一样，而且有过之而无不及。在太阳落下之前，其温度很可能降至零度，而在太阳升起之前，可能降至零下 40 度。

这就是火星所能够提供的最好天气。到了行星距太阳最远时，整个行星的温度还要大大下降，我们可能无法在行星上找到任何一个气温在冰点以上的地方。

我们已经看到火星表面与月球表面非常相似，所以当我们跨出登陆舱时所看到的自然景观与在月球上所看到的基本相似。我们几乎不抱能看到地球上所有植被的任何希望。因为地球上的植被比火星有更多的水分来滋养，因而也就释放出更多的氧气。

我们会不会遇到火星人？这是一个让人激动不已的问题。

1877 年，意大利天文学家斯基帕雷利(Schiaparelli)用小功率望远镜广泛地研究了火星并宣称，除了看上去像海的大片斑点外，还有更精致的斑痕，即他用意大利语描述为“运河”的东西。他所用的这个意大利字眼意为“水道”，像威尼斯的大运河和其他运河等水道。但它并不意味着英语意义上的运河，不管笔直的水道是不是人造工程。然而，当他的描述被译成英文“运河”一词时，人们就开始争论说：如果有运河，就一定由智能人修建。至今仍在争论。

然而最近人们对到底有无这些水道或运河产生了怀疑。毫无疑问，天文学家似乎看到火星上两种斑痕的不同印迹，这两种东西可分别被描述成“主观的”和“客观的”。在光线不足的情况下，人们竭力睁大眼睛看一物体时必然产生这样一种倾向，即看到想像中的直线连接着阴影。我认识的一位天文学家是这么解释这一现象的。他把一张行星的发亮照片放在他花园的一头，然后请朋友使用小望远镜观看。相当一部分人说，他们看到了像火星运河一样清晰的黑线。解释其原因很简单：在光线微弱的画面上，其细节只能凭睁大眼睛使劲地去看，而这一使劲反倒造成了看见本不存在的线条。另一位天文学家把火星图画上的运河擦掉，让一个班的男生去画他们所见到的东西。坐在教室后面的学生在画上画了很多运河，与天文学家们事先所画的非常相似。由于男生所画线条是想像中的，那么有理由认为天文学家所看到的线条也是想像出来的。

那些声称看到火星上有运河的天文学家们通常以直线把运河画在地图上。但是很显然，不管这些线条是否笔直，它们不可能在火星处于任何位置时看上去都是笔直的。在火星处于某一位置时看上去笔直的运河，当其自转到一个新的位置，由于火星表面的曲度，这条运河就会显得弯曲。这又似乎说明运河主要是主观的幻觉。这一结论也为以下的事实所证明：在表面不可能存在运河的星球（金星、水星及木星的卫星）上也可看到类似的线条。由于金星是被厚厚的云层覆盖，水星上水会沸腾，木星的卫星上水会结冰，因此这些星球上是不可能有运河的。

■图 48 为了验证一些天文学家认为他们在火星上看见有运河存在的想法，先画了这幅没有运河的火星图像。

相机拍摄的照片常常被用作最后的证据。虽然火星的照片上显示出很明确的斑迹，但与所谓的运河系统并不相像。可能这还不能作为结论性的证据，因为摄影由于技术原因，并不适合于非常精细的斑迹的记录；而且正如运河观察者们所言，对这些斑迹很可能还是以肉眼观察为最佳。

综上所述，大部分证据及天文学家们的观点都否定运河的存在。当然这并不能说明火星上没有生命，但至少我们不会因此而认为火星上有生命。

因此，如果我们决定登上火星，我觉得我们大可不必担心会遇到火星人，倒是更有可能看到荒无人烟、条件恶劣的沙漠。那里气候的极大变化虽不及月球那么明显，但在某些方面甚至比月球更糟，因为其热度一次只能持续几个小时。

■图 49 许多男生在他们的图中绘出了一些像河一样的线条,尽管给他们的原图中并没有这些线条。这里是两个男生所绘制的图。

如果我们离开火星，继续向太空深处运行，我们将发现到达下一个行星木星要走很长的距离，而且还可能遇上事故，因为要穿过刚才提到的小行星带。其中最大的谷神星的直径只有 480 英里，不及月球直径的 1/4。观察最小的小行星只能取决于望远镜的功率了。一定还有成千上万个更小的小行星，只是由于它们太小，我们从地球上看不见罢了。当火箭穿行在火星与木星间广阔无垠的太空中时，我们也许会看到很多小行星。

■图 50 斯基帕雷利绘制的水星表面的详图

在太空中很多小行星都在转动。完整的自转 1 圈通常要 8 小时到 10 小时。而且相当一部分小行星在转动时亮度不断变化。其原因也许是小行星形状不规则，因此在转动时我们所看到的表面在不断变化。像地球这样的大物体的巨大引力往往导致该物体的形状逐渐变成球形，而小天体却不受这样的影响。很多小行星太小，引力几乎无法使它成为球状。很多小行星的引力非常小，如果板球手在小行星上打球，他会把所有的球都投到太空中去，而这些球也一个个变成绕太阳转动的新行星。当然，由于小行星太小，也就不可能拥有大气层。

我们终于走出这团小行星而接近木星了，但很快就看出木星根本不是球状，它比地球扁 20 倍，以至于我们看到了一个能称之为像橘子一样的椭圆的行星（见图 51）。

■图 51 木星的紫外光照片（左）和蓝光照片（右）

这个行星如果静止不动的话，是不会如此扁的，因为其巨大的引力会使它变为球形。因此我们毫不惊讶地发现木星在快速地旋转着，转 1 圈的时间接近 10 个小时。其扁圆正是这种快速转动的结果，——地球赤道上的某一点沿轴心转动的速度仅为每小时 1040 英里，而木星则为 2.8 万英里。

虽然火星很冷，但木星则更冷。木星与太阳之间的距离为地球与太阳间距离的 5 倍，以致其 25 英亩的表面所受到的太阳辐射还不及地球上 1 英亩面积所受到的辐射多。你只要想像一下，如果地球所受的太阳辐射突然减少到现在的 1/25 或更少会是什么样,那么木星上的自然环境也就不难想像了。它的整个表面将被冻结得非常坚固，一切生命活动都将停止。我们自然期望木星处于休眠状态，但是它现在不是。像金星一样，它现在完全被一层很厚的云层所覆盖，这个云层厚得连红外光也不能穿透。这些云层表现了极其明显而持续的变化。最著名的例子就是其表面上的红色斑点。这个斑点在 1878 年被首次观测到，其后逐渐增大，一直达到 3 万英里长、7 千英里宽，即面积相当于整个地球的表面那么大。然后这个巨大的红色斑点逐渐地转变为圆形，而且面积逐渐缩小，现在这个红色斑点几乎要消失了。这种现象是可以理解的，也许这个特殊的斑点是由一些特殊的灾变引起的，但是其他正在进行之中的较小的变化总是反映那些物质不是死亡的冰冻物质。这一点由木星的云层带显示出来，即木星不同纬度云层带的云层的旋转速度是不一样的，赤道处的云层旋转得最快。

所有这些活动，过去曾经认为是木星有很高温度的证据，认为这些热量大部分来自于它的自身内部、少部分来自对遥远的太阳能量的吸收。现在我们已经认识到这是错误的。直接的测量显示，木星的温度至少在零下 180 华氏度以下。这反映出木星的热量主要来自于太阳，它本身内部的热量极其微小。

由于木星的温度如此之低，所以很明显它的云层决不可能是普通的水蒸气，云层一定含有那种在水蒸气结冰温度之下而仍保持气体状态的物质。像其他行星一样，通过测定两次穿透木星大气层（一进一出）的太阳光的光谱成分，我们就能确定出木星大气层的组成成分。观测的结果却是不容易解释的，但是它们提供了目前两种气体存在于木星大气层中的证据，这两种气体是氨气和甲烷。

我们都知道，当我们闻到氨气或不小心打碎装有氨气的瓶子的时候，这种气体的味道会刺激我们流出泪来。我们常常在食盐中也能感受到它的存在。食盐生产者们企图将有芳香味的物质搀和进去。我们也发现氨在治疗蜜蜂蛰和蚊子叮的伤口时有奇效，因为它是碱性的，中和了蚊虫叮咬时分泌的酸性物质，所以我们立刻就会感到不再疼或痒了。

甲烷的俗名“沼气”更为常用。当植物在水下分解时，这种气体就会冒到水面，使水面发亮，看上去诱人。它是引起煤矿爆炸的气体成分之一，也是火山爆发时所喷射的气体之一。

这两种气体都不怎么宜人。而从总体来说，木星的大气层似乎就如哈姆雷特所描述的那样，“只不过是各种污浊气体的聚集”。所以我们最好不去那里，否则我们只能把时间放在咳嗽、打喷嚏和流泪上。由于木星的质量是我们地球的 317 倍，其引力是不容小看的，我们不会再像登上月球

那样不费吹灰之力就打破了我们自己及任何其他人的体育记录。相反，我们会非常担心如何支撑自己的体重。一个 168 磅的人在木星上双腿所负担的重量与一个 448 磅的人在地球上双腿所负担的重量相同。除非我们像塞提奥索拉斯曾在地球上所做的那样，把自己淹没在水中来减轻重负，否则我们会被自己的体重压垮。如果我们想环游宇宙而不出任何事故，我们就不能不从上面提到的哪怕已经灭绝的古爬行动物那里得到某些启发。

比木星更有吸引力的行星之一是土星。天王星、海王星和冥王星都远离太阳。冥王星比土星还缺乏魅力。我们对这些远距离的行星知之甚少。土星的大气层中含有的氨气比木星少得多。但它的大气层主要是由甲烷（沼气）组成的。土星比木星寒冷得多。此外，由于它的地心引力仅是地球地心引力的 1/6，因此对它的地心引力我们还是较习惯的。土星区别于其他行星最明显的外貌特征，是它具有许多个在望远镜中看起来十分美丽的环绕着它的大环。然而正是这些大环的存在，使我们不便于在土星上着陆。因为这些环是由土星极其多的卫星组成，每一个卫星都近似以圆形轨道环绕土星运动（图 52）。然而，由于这些小卫星彼此之间存在引力吸引，它们的轨道不可能是完美的圆形，因此这些小卫星彼此之间会偶尔发生碰撞。当这种情况发生之后，卫星的碎片就会掉落在土星表面，其结果很可能对正在它表面访问的航天飞行器造成致命的打击。

■图 52 土星和它的卫星环系统

在我们离开这可怕的一幕之前，让我们看一眼最后一个被发现的、最遥远也是最寒冷的行星——冥王星。在九大行星中我们对冥王星的了解是最少的。它可能与火星是孪生兄弟，因为它们的体积和质量是一样的，所不同的是它们存在于完全不同的物理环境中。冥王星表面每平方码从太阳接受的能量是地球上相同面积所接受能量的 1/1600，所以冥王星的物理环境是无法想像的。冥天星的“地心”引力如此之小，以至于它几乎不存在大气层。但它的大气比火星多，因为冥王星的温度要比火星低得多。

考察了冥王星的景观后，我们基本上游历了整个太阳系。但是我们没有遇到像我们一样的人，或是同我们地球上存在的一样的动物和植物。然而在我们自己的行星上，我们也仅仅认识了地球的一部分。生命无所不在，以至于我们几乎都不敢相信，在任何条件下生命总是以这样或那样的形式存在。在地球上最冷和最热的气候条件下，在最深的海洋里，在最坚硬的土壤中，甚至在地下的石油里我们都发现了生命。在这些不同的地方，生命都有非常不同的形式，而每一种生命形式都是它对所在特殊环境的最好适应。正因为如此，我几乎不能否认生命会以其他的形式在其他的行星上存在，并且对那里的不同环境有着很好的适应。我们没有权力说除地球以外其他的行星上不可能有生命。但是我们可以相信，如果生命在别的星球上存在的话，那么它一定与我们现在的生命形式不同，也许它们是以我们连想也想不到的形式存在。

九大行星已经显示出无穷的奥秘，以至于我们都没有时间去考察它们的卫星。地球只有 1 个卫星，即月亮。但是其他的行星却有许多卫星，例如：木星有 10 个卫星；土星有 9 个相当大的卫星，此外还有几百万个小卫星，它们组成了一个环状结构。天王星有 4 个卫星，火星有 2 个，海王星 1 个。离太阳最近的水星和金星 1 个卫星也没有。冥王星可能也没有卫星。

除了土星环中的无数小卫星外，九大行星共有 27 个卫星，平均每颗行星有 3 个。地球因只有 1 个卫星，其卫星的数目低于平均数。然而，如果我们从质量方面来看的话，我们的地球就处于质量的平均数之上了，因为地球与月球的质量之比，比其他任何一个行星与它卫星的质量之比都大。

我们已经十分熟悉由月亮引起的海洋潮汐现象。如图 53，当月球与地球之间的距离大约是地球直径的 30 倍时，月球对正下方地球表面上的 B 点的引力比地心对 B 点的引力大 1/30。同样道理，月球对地球另一面 D 点的引力比地心对 D 点的引力小 1/30。我们可以把月球的引力在 B、C、D 三点分别表示 31、30 和 29。如果我们把 31 分解成 30+1，把 29 改为 30-1，那么在地球表面的任何一点的均衡引力就是 30。当该引力加 1，它就是朝月球方向的 B 点；当引力减 1，它就是朝向地球的 D 点（当然后者是远离月球的）。这个均衡引力 30 准确地保持着地球和它的卫星——月球的运行轨道。然而这个均衡引力的高值是 30＋1，而相对地球的另一面则是 30－1。这些相反的力紧紧吸引着地球，正像我们的两手朝相反的方向用力拉一根橡胶一样，这样就引起了潮汐现象。我们知道地球比钢硬得多，因此固体的地球表面在月球引力作用下的变形要比地球表面液态海洋的变形小。这样，除了在海洋上的人以外，我们在地球上很难感觉到有什么潮汐现象。然而，我们所看到的潮汐实际上是液体海洋与固体的地球表面在月球引力作用下两种潮汐间的差，只是后者与前者相比，潮汐现象甚微，不易观察罢了。

■图 53 月球对地球的潮汐引力图解

如果小小的月球能以这种方式吸引地球的话，那么大地球理所当然地更有力地吸引着月球。这个道理对其他行星与它们的卫星来说也是适用的。我们从未看见月球被拉过来，因为我们不可能从正面看到这种现象，但是我们却能在木星的一个卫星上非常清晰地看到发生这种情况的过程。从望远镜中发现这个最接近巨大木星的卫星在木星巨大的引力作用下被拉长了，以至于看起来它更像一个鸡蛋，而不是我们所想像的圆形。随着时间的推移，这个小卫星将越来越接近木星。卫星离木星越近，木星对它的吸收力就越大，该卫星也就被拉得越长，其卵形也就越明显。木星正在使它越来越长，仿佛该卫星是块橡胶或具有弹性似的。

我们知道没有一件有弹性的物体可以无限地被拉长，最终有断裂的时候。所以那个小卫星也一定会发生断裂。计算结果表明：这个卫星将会分裂成两个独立的天体，这样木星将会比现在多一个卫星。但是当这两个新

形成的小卫星仍然像过去那个卫星向木星靠近的话，那么它们也将变成卵形，而且终究在某一天会各自再一分为二。这个过程将一直持续下去，木星卫星的数量将会无限地增加。

我们可以说木星是被某种危险地带所包围。当一个卫星或者其他天体靠近这个危险带时，它就会被拽成卵形；当这个卫星或者其他天体最终进入这个危险带的时候，它将被分裂成两个天体，并且如果它一直在这个危险带中存在下去，那么这个卫星或者其他天体将会被分裂成无数个微小的卫星。

这并不只是猜测，而是经过精确数学计算得出的结论。只要我们知道了某个行星的重心引力或者任何一个别的天体的重心引力，我们就可以确定出它的危险带。不同的物质有着根本不同的危险带。在一个稀薄气体的气团的危险带，一个坚硬的固体运行其间可安然无恙。现在这样的计算表明木星的一个卵形的卫星是非常接近这个危险带的。火星卫星中的一个小卫星也是接近于火星危险带的（虽然没有太接近），土星也有一个卫星正在接近土星的危险带。

土星的危险带是非常有趣的，因为环绕土星并且形成环带的成百万个小卫星已经处于这个危险带里了。这似乎是在过去的某个时间有一个普通的卫星逐渐被分裂成无数颗小卫星而形成现在的环带。这些环是一个永久的证据，证明如果一些天体被较大质量的引力吸引住的话，等待它们的将是相同的命运。我已经使你们想起了吉卜林先生关于大象的鼻子是如何变长的故事。我现在已经告诉你们土星的卫星环是如何形成的故事，也许这个故事没有吉卜林先生的故事优美动听，但是至少我认为我的故事是真实可信的故事，而不只是一个本该如此的故事。

我们的地球也有它的危险带。月球现在仍完好地在外层空间运行，但是终究会有一天地球和月球一定会彼此吸引得很接近。当它们真的发生这种情况时，月球将会变成越来越明显的卵形，并且当它进入危险带的警戒线时，它就会被分裂成两部分，我们也会有一个像土星所拥有的美丽的卫星环。这仅仅是一个时间问题。在遥远的未来，我们将失去我们的月球，但是并不失去月光，因为无数小卫星在夜晚仍会把太阳光反射到我们的地球上。那时我们将会有比现在多得多的月光，因为当一个物体分裂成许多碎片时，它的总表面积是增加的，因此整个夜晚我们会有更为明亮的月光。当然，那时地球上的生命将会感到十分不舒服，因为如果两个小卫星彼此相撞，它们的碎片就会以巨大的流星散向地面，就像现在土星正在发生的流星一样。

太阳系提供了这些危险带存在的其他证据。我们已经看到彗星并不是以圆形轨道环绕太阳运行，而是以一个拉长的椭圆曲线（我们称之为椭圆）环绕太阳运行。彗星通常并不显得十分有趣，而只有当它运行到非常接近太阳（近日点）时，它才会显示出迷人的风姿。那时太阳的辐射热大量投

射到它的表面，使彗星形成一个巨大的“尾巴”。这个尾巴常常有数百万英里长。那时，这颗彗星就变得十分壮观、美丽，甚至有些可怕。

有时彗星会进入危险带内部，也许进入太阳的危险带，也许进入木星或土星的危险带，并且依次分裂成许多个小天体。有一个彗星已经被观察到，它分裂成两个部分，并且观察到其中的一个部分已经分裂成了四个小部分了。最有意思的是贝拉彗星的故事。1846 年，人们通过观察发现贝拉彗星分裂成两个。6 年以后，当这个彗星的轨道再次把它带到近日点时，人们发现这两个彗星之间已经相距 150 万英里。从那时起，人们再也没有看到它们以彗星的形式出现，而是在它们应该出现的空间位置上出现了数百万个密集的流星，这就是著名的仙女座流星群。当它们偶然经过地球时，它们就会呈现出壮丽的流星雨的景观，这种景观通常发生在 11 月 27 日或稍后。这颗彗星首次分裂为两颗的事实是毋庸置疑的，而且分裂后的两颗小彗星也一定进入了一些其他的危险带，并分裂成了无数个小流星。还有许多彗星最终变成密集的流星雨的证据。

不仅是太阳具有引力，其他恒星也同样具有，并且各自都具有危险带。当恒星在太空中运行时，一个恒星一定会偶然进入另一个恒星的危险带中。那么我们上面所谈到的现象也一定会发生。正像鳄鱼捉住幼象的鼻子一样，较大的恒星将会把较小的恒星拽出一个“长鼻子”，这个“长鼻子”最终会分裂成许多小碎片。在过去的某个时期，太阳似乎遇上了这种不幸，这些碎片就是我们的九大行星。所以我们可以在我们的故事中增加一个章节的内容，即“太阳是如何得到它的九大行星的”。

九大行星或许也经历了相同的不幸，它们进入了太阳的危险带，导致它们彼此各自发生分裂。如果这是真的，那么我们又可以写另一个章节，题为“九大行星是如何得到它们的卫星的”。这一章最悲哀的内容莫过于讲一个具有悲惨命运的特殊行星的故事。它原来在木星和火星之间运行，但是它的运动轨道使它可能进入了木星的危险带。该行星开始分裂，起初似乎形成自己的几个小卫星，然而最后它却因分裂得太多而不能称为行星，只不过是一大群小卫星而已。那颗爱神星（小行星 433 号）现在距离地球最近。据观察，它的形状为卵形或梨形，或称其为哑铃形，眼看它就要进一步分裂。当未来的某一天它的两部分完全脱离开时，它们便都成为独立的小天体。

太阳的光为我们传递了有关
它的许多信息。在其内部，一磅
重的物质被压成针头大小。这么
大物质的能量可以使 1000 英里
处的人立即烧焦。

第六章　太阳

到目前为止，我们仅仅讲过太空中比较小的天体。其中最小的是那些颗粒状的物质，当它们进入大气层时，我们把它们称为流星。这些物体非常小，一把就可以抓起几千个。

而我们目前讨论过的最大天体是巨大的行星——直径为地球 11 倍的木星。一个能盛下木星的盒子可以盛下 11×11×11 或 1331 个地球，盒子的每一边有 11 个地球直径那么长。而与太阳相比，木星就显得非常小；而太阳与我们在后面要提到的更大的恒星和其他天体来比，又显得小了。太阳与木星之比约等于木星与地球之比：木星内可以容纳 1000 多个地球，而太阳可以盛下 1000 多个木星。让我们继续比较下去：后面提到的蓝色恒星可以盛下 1000 多个太阳，“红巨星”可以盛下 1000 多个蓝色恒星。最后一章讨论的星云不但能够盛下，而且实际上它本身就包含几十亿颗恒星。

我们可以用下面的表来说明这个比例序列，当然所有的数字都是近似值：

地球	1
木星	1000
太阳	1 000 000
蓝星	1 000 000 000
红星	1 000 000 000 000
星云	1 000 000 000 000 000

假设我们乘火箭到靠近太阳的地方观察它的表面，在前去的路上，我们可以看见如图 54 中的太阳。最引人注目的特征可能是太阳边缘的阴暗部分，我们一眼就可以发现太阳的边缘远不如它的中心明亮。如果太阳是固态或液态的话，那它就应该像一个普通的发光的球那样，表面的亮度是相等的。太阳边缘明显的阴暗部分表明它的表面为气态。

在这个画面上，我们除了看到一些太阳黑子外，看不到其他的细节。这些黑子有异乎寻常的面积和复杂的形状。至少有五六个黑子比地球的投影面大得多。按这张照片的比例，地球仅有直径为 1/25 英寸的沙粒大小。然而就是这样巨大的黑子也不足为奇，因为有时太阳黑子能装下所有行星的投影面。太阳上经常出现一些黑子，但这样的黑子并不是每天可以见到，甚至一年都不一定能见到。黑子的数目并不固定，时多时少，其周期约为 11 年。1906 年、1917 年和 1928 年是太阳黑子的多发年。1939 年也将是多发年。

当我们在太阳表面寻找黑子时，一定要注意透过墨镜或透过烟熏过的玻璃来观察，否则我们的眼睛会受到伤害而难以恢复。伽利略是第一个研究太阳黑子的人，他晚年就失明了。他认为其原因就是在观察明亮的太阳时没有保护自己的眼睛。

人们经常讨论像满月、新月这样的天文现象是否会对天气产生影响。总的来说，科学家难以把天文现象和天气变化联系起来，但只有太阳黑子是个例外。有证据表明气候和太阳黑子一样也同样有个 11 年的变化周期。随着太阳黑子数目的增减，夏季的气候逐渐由干热变得阴凉潮湿，然后又逐渐变得干热。其整个变化周期约为 11 年。这里有两个例子说明了这一点。

■图 54 这是 1917 年 8 月 12 日拍摄的太阳照片。我们可以看到大量形状复杂的黑子。这是自 1870 年以来观测到的太阳黑子面积最大的一次。

砍倒一棵树，可以在树干的横断面上看见一些同心圆，每个圆代表一个夏季生长的结果。数一数这些圆就知道树龄。然而，尽管每一年的时间是一样长，但这些圆圈的宽窄却不一样。潮湿的夏天树木繁茂，树干上形成的年轮就宽，干旱的夏天形成的年轮就窄。道格拉斯教授说，他可以根据不同的年轮推断出树木生长期中的某一年是干燥还是潮湿。因此我们可以说树木是它生长年代天气的活记录。图 55 是个有趣的例子。仔细研究树的横断面常会发现年轮的宽窄变化有一个 11 年的规律周期。这与太阳黑子的变化周期相吻合（见图 56）。最宽的年轮形成于太阳黑子最多的年份。我们一眼就可以看出在太阳黑子多发年份的夏季潮湿，树木生长茂盛。

■图 55 这棵道格拉斯冷杉的横断面向我们展示它自 1073 年开始生长到 1260 年被砍伐这期间的各种气候情况。1260 年它被用于盖房子，房子倒塌后它被埋在废墟里。1933 年人们挖掘出它，并对它进行研究。它的价值在于它填补了其生长年代那两个世纪的气象资料的空白。

图 57 同样证明了这一点。下面一条曲线中每一段起伏的波浪就代表太阳黑子 1 个 11 年的活动周期。上面一条曲线代表维多利亚湖（非洲赤道附近的一个大型淡水湖）的水位高度。我们立刻就可以发现水位的高度与太阳黑子的活动周期几乎一致，也表现为 11 年 1 个周期。在潮湿的年份水位当然是最高的。这表明当太阳黑子活动频繁时气候是最潮湿的。反过来也是一样。

■图 56 这是在德国艾勃思沃德砍伐的苏格兰松横断面。黑点标示的年轮是在 1830 年到 1906 年间太阳黑子多发年份形成的。

太阳黑子数量的变化缓慢，所以它的活动周期以年计算。但单个太阳黑子的寿命很少有超过几天的。图 59 显示了一群形状复杂的太阳黑子逐步变化的过程。图中有 5 幅是连续几天拍摄的。这些黑子平稳地向右移动。这并不是因为它们正穿越太阳表面，而是由太阳的自转而带动它们一起移动的。第 6 天以后就再也不能看见这些黑子了，因为太阳的自转使它们离

开了我们的视线。

由于太阳的自转，一个罕见的大黑子会暂时消失。约两周后，它又会从太阳的另一侧出现。伽利略根据太阳黑子的这一运动，证明太阳在自转，其自转周期约为 26 天。

乘火箭飞越太阳黑子就如同乘飞机飞过轮船的烟囱。我们会看到有大量的热气喷出。太阳黑子类似一个喷发口，大量的热气以极高的速度喷射出来。太阳内部的高温使太阳表层处于不停的动荡之中，这就如同水在炽热的火上剧烈地沸腾一样。我们都见过开水中升起的大气泡。当气泡到达水面时，阻碍它的压力消失了，这时气体膨胀并与外面的空气混合在一起。太阳黑子中喷出的物质也是一样：当它到达太阳表面时，它所受到的压力减少，体积膨胀；由于膨胀而降低了自身的温度（原理在第一章已述）。

■图 57 上面的一条曲线表示维多利亚湖的水位高度（单位：英寸）；下面一条曲线表示在对应年份里太阳黑子的数量。两条曲线的变化几乎一致，这说明太阳黑子对地球气候的影响。

构成太阳黑子的物质由于其温度低于太阳表面其他地方的温度，所以看上去发黑。实际上黑子的亮度也极高，只是由于它们不如周围的更热的气体活跃，与之相比才显得暗淡。黑子喷发出的物质可能全部为原子和原子碎片的混合物，其中包括各种各样的带电粒子。喷射出来的粒子飞向四面八方，在太空中经过一两天的飞行后，一些粒子会到达地球。当它们穿过大气层时，就产生了北极光。然后它们将空气电离，形成一层无线电波反射层，将无线电波反射回地面。这样我们就可以收听到远处无线电台的声音。前文中我们已经讨论了当这些带电粒子到达地球时会产生什么样的情况。而我们现在看到的这些粒子的情况是其旅程中一系列事件的最初情况。其后的事件将对地球上的生活产生影响。

黑子中喷射出的大团气体常常升到远离太阳表面的地方，这就是日珥。地球上剧烈的爆炸或火山口喷发出的物质，其运动速度可达每小时几百英里。而日珥中喷发出的物质，其速度可达每小时数十万英里。图 60 是 6 张连续拍摄的日珥的照片，每张拍摄间隔仅为几分钟。最后一张照片是日珥出现后两小时拍摄的。然而这时喷射出的物质已升到距太阳表面 56.7 万英里的高度。它的运动速度约为每小时 30 万英里。

■图 58 这是 24 小时内一群太阳黑子的变化情况。下图中的黑圆代表地球的大小。

■图 59 一群形状复杂的太阳黑子。图中显示出在 6 天内（1920 年 3 月 19 日至 23 日及 25 日）太阳黑子的运动、发展及移过太阳表面时的情况。

这是一个形状最简单的日珥。通常日珥的形状比这要复杂得多，并且经常变化。下一组照片（图 61）展示了形状更为复杂的一类日珥和它在连续 4 天内发生的变化。当太阳转动时，我们慢慢地看到起初像烟一样的东西是从太阳表面类似一个长长的裂缝中冒出的气体。与图 60 中的喷发相

比，这种喷发要弱得多、缓慢得多。

日珥是非常稀薄的物质，像一缕缕热气一样。它们的温度也比太阳本身低得多。由于这两个原因，它们没有太阳表面那么明亮，因此通常都消失在太阳的光芒里。在一般情况下我们难以观察到它们。但当月亮从太阳前面穿过，即产生日全食时，太阳光的主体被完全遮挡住了，星星像在夜晚一样出现在天空，这时地球上的景物变得越来越黑，最后呈现为灰色或蓝紫色。这正是观察太阳周围微弱光线的好时机。当太阳的最后一部分被月亮挡住时，日冕那珍珠般的光芒闪现在我们眼前。太阳周围几十万英里内是由分子、原子和带电粒子组成的稀薄的大气。日冕只不过是被太阳光照亮的大气而已。日冕的亮度比日珥还要弱，所以我们常常能在日冕中看到闪烁的日珥。图 62、63 是用不同曝光时间拍摄的 1919 年的那次日全食。

天文学家已经发明了不用等到日食出现就可以观察研究日冕的方法。我们知道如何根据行星表面和大气发出的光的颜色来对它们进行详细的研究，找出每种光色的含意。用同样的方法也可以研究太阳的表面。这不但更容易做到，而且收获更大。我们再也用不到去捕捉那一点点反射光，因为太阳本身就发出大量的各种颜色的混合光，所以很容易拍摄到我们所选择的光色。我们只需将阳光在分光镜下分解，只让我们所需要的光色通过分光镜进入相机，而不让其他的光线进入。但我们必须考虑到这种方法与研究行星的方法有着根本的区别。

■图 60 1928 年 11 月 19 日观测到的一次日珥的异常喷发的情景。不到两个小时，日珥就升到 567000 英里的高度。

■图 61 日珥的发展及通过太阳表面时的情况。这是 1929 年在连续 4 天的时间内用钙光色(K3)拍摄的。

光和声音都有波的特性，所以它们在许多方面是类似的。自然界中的一切噪声如瀑布声、森林大火的声音、海啸声是各种波长声音的混合体。与这些混杂的噪声有着本质区别的那些简单的、柔和的、我们称之为有音乐感的声音：田野中的牛铃声、教堂的钟声、钢琴与提琴的声音。杂乱的声音由各种波长的声音组成，而有音乐感的声音只包括几个波长，这就是为什么我们觉得这些声音悦耳的原因。

光线也是一样。太阳光就像是着火的声音或瀑布声，是各种波长光线的混合物。但也有只包括几种波长的光线，就像音乐的和声一样。如果一束这样的光线通过分光镜，它不会像太阳光一样出现一个各种颜色都有的光谱。我们会发现许多颜色根本不存在。所以它并不是一条从红色到紫色各种颜色都有的、连续的光谱。它只是由几条窄窄的、不连续的、明亮的色线组成的光谱。我们把它称为线状光谱。

这样的光谱通常是由化学上的单一物质、化学家称为元素的原子发出的。不仅如此，所有同一元素的原子，例如氢，都发出同样的谱线。其他元素的原子，如氧，会形成另一种全然不同的谱线。有些物质发出的光几

乎是单色的，这些物质被普遍用于电信号和发光管上。

假如我们把少量的某种物质，比如说一撮普通的食盐，放在炽热的火焰中，来看看火焰的光谱会出现什么变化。结果光谱中会立刻出现几条新的色线。这些色线当然是由食盐产生的。我们还可能识别出其中的一些色线。例如钠的色带非常特别，它由两条靠得非常近的、极亮的黄色线组成。我们在食盐的光谱中发现了这样的色线，我们就知道食盐中含有钠。

■图 62 1919 年 5 月 29 日日全食时拍摄的日冕照片。在照片的左上边透过日冕的光线隐隐可见一个日珥（见图 63）。

这种研究物质化学结构的方法叫做“光谱分析法”，它是一种极灵敏的探测方法，用以查找多种化学元素。例如当锂的含量仅为十万分之一毫克时，用这种方法就可以测出锂的存在。当然我们并不需要亲自把化学物质放入火中。任何火光，无论它来自多么遥远的地方，只要我们能将它分解为单色，我们就能对它有所了解，至少能知道这火焰的成分是什么。火焰中的光告诉我们是什么物质发出的光。这个方法使我们有可能分析太阳和恒星的成分。

当牛顿将阳光分解为各种颜色时，他认为这是一条连续的光谱，这里面包括按顺序排列的、我们可以想到的一切颜色。但当夫琅和费在 1803 年重复这个实验时，他惊讶地发现光谱中有一些黑线条。他用 A、B、C……K 将这些线条标出。这条光谱并不是连续的，而是在连续的颜色中出现了一些间隔。我们很容易解释出现这些间隔的原因。

太阳大气中的每一种原子可以发出一条只含某种特别颜色的清晰光带，但它只能在吸收了同类颜色后才可以做到这一点。一般来讲，炽热原子处于我们所说的“活跃”状态。在这种状态下它发出自身特有的光线，而冰冷物质的原子处于“不活跃状态”，它们缺少同类颜色的光。

弄清楚了这一点，让我们再来看一下由太阳炽热内部不断向温度相对低的太阳表面射出的光线。这种光线包含各种颜色的光，所以温度相对低的太阳大气中的每一个原子，和其他许多原子一道，始终处于各自特殊颜色光线的包围之中。原子不但能够，而且渴望吸收这种颜色。原子吸收了这种特殊颜色的光线以后，太阳光中的这种颜色就被减弱了。当太阳光冲出太阳大气中温度较低的原子的包围最终进入太空时，阳光中与这种原子相应的颜色被吸收殆尽。

由于这个原因，太阳光谱中必定会有一些黑色线条。它们不是太阳内部炽热原子发光的证据，而是太阳大气中温度较低的原子吸收这种光线的证据。夫琅和费只知道有 11 条这样的线条，但现代天文学家知道有几千条这样的线条。其他的恒星光谱也有同样的情况。图 64 是太阳光谱的一部分。图 65 至 68 是其他恒星的光谱。

这些黑色线条在光谱中的位置成为天文学家的巨大信息库。他们一再从中得到有关恒星的亮度、体积、距离、在太空中的运动速度、自转的速

度等等信息。有一点非常重要，那就是太阳和恒星光谱中消失的颜色，我们几乎都能从地球上已知物质发出的光线中找到。这样我们就知道是什么样物质的原子在太阳大气中起了作用、是哪种原子将阳光中的同类颜色吸收而阻止它射到地球上。就是用这种方法，我们发现了地球大气外层臭氧的存在。

太阳和恒星光谱中的数千条线能与地球上物质产生的光线一一对应，这一点非常重要。这就说明组成太阳和恒星的原子与我们熟悉的地球上的原子如氢、氧、氮、铁、铜、金等等为同一类型。如果我们飞向太阳或其他恒星，大概我们能看到许多奇特的景致，但决不能指望我们会发现任何新的元素。宇宙看来是用同样的材料组成的。

现在我们再回到对太阳表面的研究。假设我们在某种光下，比如说在氢原子发出的光下拍一张太阳的照片，我们肯定得不到一幅完整的太阳照片。这照片甚至不能反映出太阳上的全部氢原子，而只能反映那些目前正在发出这种特定光的氢原子。与此同时，这些光出现在太阳表面，几乎足以到达地球。例如图 69 拍的是氢光下的太阳。夫琅和费把这条线标为 C，现在我们叫它 Ha。

图 69 与图 54 几乎是同时拍摄的。但拍图 54 那张照片时，阳光中的所有颜色共同起了作用。它告诉我们的惟一信息就是太阳的黑子。图 69 是用氢光拍摄的太阳。它在没有其他光的干扰下独自静静地在展示自己。这的确很有意思。我们看到氢不是均匀地分布在太阳上，而是以浮云般的形式出现。看上去它们就如同地球大气中的云一样漂来荡去。然而如果从面积大小上来说，这种比喻并不合适，因为许多这样的云比整个地球还大。团团氢云有时变为丝状的长线。我们可以在照片的右上角看到三条这样的长线。在黑子群附近还有一条。粗略地观察一下，我们就可以发现太阳表面受黑子群影响的区域要比黑子本身大得多。图 70 也是用氢光拍摄的太阳黑子群及附近区域的照片。看得出氢云的结构与太阳黑子的位置有着密切的关系。

图 71 和 72 是同时拍摄的太阳的照片，一张是用特殊的氢光(Hδ)拍摄的，另一张是用钙光(H_2)拍摄的。因此这两张照片截然不同。

■图 63 与图 62 相同，但减少了曝光量。现在左上边的日珥可以看得很清楚。它的长度超过 25 万英里。

■图 64 太阳光谱

■图 65 天琴座 a 星光谱

■图 66 天狼星光谱

■图 67 大熊星座ζ星光谱。中间一条是ζ星的光谱。上下两条为地球光谱，用来与它作对照，以便最容易地识别这些线条。

■图 68 大熊星座ζ星光谱。中间也是它的光谱，拍摄时间稍晚。我们可以看到每条线都为双线。这说明这颗恒星为双星系。

气体原子只要处于不活跃状态，并在不受其他原子干扰的情况下就不会发光。要想使气体发光，就像是让电灯泡或马蹄铁发光一样，就得采取某些措施。例如给它通电——这几乎只能在地球上才可以做到；或给它加热，就像我们给马蹄铁加热，使它发光发亮一样。对气体也可以这样做。就是用这种方法使构成太阳的各种原子发出了光。

■图 69 这是用氢光(Ha)拍摄的太阳照片。这张照片与图 54 中的照片是同时拍摄的。

铁匠根据烧红的铁的颜色来判断温度。当把铁加热时，铁的颜色逐渐改变为深红、黄色、白色等。同样的颜色指示同样的温度，不论发光的物体是不是铁，一律如此。

■图 70 用氢光(Ha)拍摄的一群形状复杂的太阳黑子照片

气体也是一样，我们能从它发出的光得知它的温度。在图 71 的照片底片上留下痕迹的所有原子，其活跃程度都是一样的。因此，在一定范围之内，同样温度下的所有原子的活动程度都一样。因此这张底片上记录的光为我们提供了太阳大气在这个特定温度下（不是在其他温度下）发出特殊的 Hδ光时太阳大气那些部位的精确画面。图 72 是原子在不同温度下发出的光，我们称之为 H_2。因此我们可以说图 71 和 72 表现的是处于不同温度下的太阳原子。

由于太阳的热量由炽热的内部流向温度较低的表层，所以太阳的最深层自然就是最热的地方。前面我们曾把那两张照片作为描述太阳上不同区域在不同温度下的图像，但我们也可以把它们称为太阳的不同深浅层次的图像。用这个方法得到太阳各个不同层次的图像时，各层的光显示出每一层中的多数原子都处于一种特殊的状态。简单地说，就是它们都因受热而部分分解了。越是深入太阳的内部，被分解的原子就越多。

当我们加热固态的冰时冰就变为液态的水。因为加热破坏了分子间的束缚力，使分子运动更加容易。当分子可以很容易地摆脱相互间的束缚力时，冰就完全融化为水。当加热水时，水就变成蒸气。这时分子间的束缚力被进一步减弱，所以分子可以独立地活动。如果我们加热蒸气，分子内部的束缚力将减弱，这样分子本身就被分解为氢原子和氧原子。如果我们能将原子加热到太阳大气的温度，我们就会发现，甚至原子本身也被分解了——就如它们在太阳外层所处的状态一样。

如果我们驾驶火箭接近太阳表面分析太阳大气的样品，我们将会发现太阳大气是由正在开始分解的原子组成。如果继续向太阳深层前进，我们就会发现被分解的原子越来越多。在太阳的核心部分，原子几乎全部被分解了。这是我们不曾见过的物质状态，不知道该把它称为固态、液态还是气态。

我们知道地球核心的压力为大气压的 100 万倍。在质量更大的太阳内部，压力是大气压的 500 亿倍。如此大的压力将把分解的原子碎片紧紧地

压缩在一起。这样 1 磅重的物质只有针尖大小。原子只有在分解后才能被压缩得这么紧。

■图 71 用氢光(Hδ)拍摄的太阳照片

■图 72 用钙光(H_2)拍摄的太阳照片（这张照片与上图是同时拍摄的）

我们根本不可能在实验室中用这种状态下的物质做实验。这根本不允许，因为其后果将是致命的。大概地计算一下，太阳核心的温度约为 4000 万至 5000 万度。在这样高的温度下，针尖大的物质都会向太空中辐射出巨大的能量。要想补偿如此巨大的消耗，使针尖大的物质依然保持那么高的温度，就得需要 1 台约 30 亿兆马力的机器。这么一点点物质发出的辐射流如爆炸的冲击波一般，没有任何东西能够阻挡它。靠近它的地方，辐射流产生的压力高达每平方英寸数百万吨。正是这么大的压力才使太阳不致于向内塌缩。在体积更大的恒星上，这种压力起的作用更大。当这些恒星的表层像大气泡一样薄的时候，其内部的压力会使它们爆炸。即使在离开这针尖大小物质数百码以外，其辐射冲击波也能把我们现在所能构筑的任何防御设施摧毁。谁胆敢走到距它 1000 英里以内的地方，他立刻就会被烧焦。

太阳是离我们最近的恒星，
其余恒星分布在该距离的 100 万
倍以远处，肉眼所见约 5000 颗，
是其总量的四千万分之一。人类
用各种方法探测它们。

第七章　恒星

现在我们都知道太阳是个非常普通的恒星，但是人类通过一个漫长的时期才发现了这一点。也许这并不奇怪，因为太阳对人类来说确实不同凡响。这当然是因为它是离我们最近的恒星。

我们已经知道我们的祖先如何把地球想像成宇宙中固定的中心，而其余的一切都围绕着它转。其他恒星发出的光只不过是衬托，借助于它们，古人可以看出太阳在移动，能看到月转星移。他们认为那些恒星都在一个空球的内壁上，这个空球就围绕着地球不停地转。虽然有一些希腊人较多地带着哲学情调，提出一些理由，认为地球是围绕太阳转的，但是他们没有办法使自己的观点和论据广为流传，因此他们的见解逐渐被世人遗忘，整个世界淹没在中世纪的思想黑暗之中。后来，在 1543 年，一位波兰修道士哥白尼提出了一套与 1800 年前萨摩斯的阿里斯塔克斯很类似的观点。但是哥白尼的观点在多大程度上是受阿氏的影响却不得而知。

归纳起来，哥白尼的观点如下：是太阳而不是地球构成了太阳系的中心；地球只不过是颗行星，就像其他行星一样是围绕太阳转的。

针对这 1800 年前的论点，著名的丹麦天文学家弟谷·布拉赫及许多其他天文学家群起而攻之。这种反对意见也差不多有 1800 年了。实际上阿基米得本人就率先提出跟上述反对意见完全一样的观点，反对萨摩斯的观点。反对意见主要是：在太空中，如果地球真的围绕太阳转，那些很明显的星球的位置应当不断变化才对。如果我绕着花园走，我看到树木的位置不断地变化，一棵树似乎移到另一棵后面，接着第三棵进入视野，如此等等。但是，一个在玫瑰花蕾上爬行的蚜虫不大可能注意到树木的这种变化。它的玫瑰花蕾太渺小了。反对哥白尼学说的人争辩说：由于星空里的恒星的位置没有发生这种变化，地球一定是在中央固定不动的。他们并不知道，就像在太空花园里看到的景物那样，地球轨道，甚至于整个太阳系在宇宙中比最小的玫瑰花蕾还要小。正如早于哥白尼 1800 年的阿里斯塔克斯所说的，地球绕太阳转的整个轨道在宇宙中是不变的，就像一个球的中心与球的表面的关系一样。

但是当恒星的位置用高倍望远镜测定出来时，发现它们的位置确实在不断变化。有两种突出的变化：随着太阳在恒星间穿行，我们的地球也随着太阳一起运动，此时周围星球景观的变化看上去就像我们驱车穿过森林一样；除此之外，地球围绕太阳旋转还产生另外一种变化。7 月的星空看上去跟 1 月的星空是有区别的，因为从 1 月到 7 月地球在轨道上移动了 1.86

亿英里，转到了轨道的对面去了。当 1 月再次来到时，星空的景观又像前一个 1 月一样了，因为地球转了一圈又回到原来的位置，恢复了原来与太阳之间的关系。

如果我们继续从地球角度来思考问题,我们会觉得地球运行 1.86 亿英里是个惊人的长途跋涉，但是用天文尺度来衡量却太微不足道了，致使天文学家用了很长很长的时间仍难以确定这种公转在星球间的位置上有何变化。直到 1838 年才测量出这种变化，而且从这时开始才能测定恒星与地球之间的距离。

现代准确的测量表明，离我们最近的恒星也比离我们最近的行星远上 100 万倍。我们已经看到太阳系的行星相距多么遥远，而在茫茫太空中，恒星的分布比太阳系的行星分布更为稀疏，就像在五大洲各放一个水果那样。这就是恒星之间的距离和它们互相间大小的比较。我们马上就明白为什么恒星看上去只是些光点；我们还会进一步发现，即使有些恒星像太阳一样有行星包围着，这些行星在太空中看上去非常暗，距离中心太阳非常近，因此很难看出这些行星与太阳是分开的天体。如果我们把 6 只大黄蜂放进一个 1000 立方英里的笼子里，让它们随便乱飞，这也可以算是太空中恒星分布的模式。如果我们能使黄蜂用蜗牛速度的 1/100 的速度飞行，这也是恒星在太空中运行的速度。

我们可以肯定，当黄蜂以这样的速度在这巨大的笼子里运动时它们就不会相互碰撞，也很少有机会在近距离内互相擦肩而过。但是，很可能只有当恒星处于这种状态时才能出现地球这样的行星。这种过程我们在前面已经描述过。正因为这个原因，行星的诞生是很罕见的事；而且由于宇宙本身也并不是永远处于生成中的，行星的出现就更为罕见了。从前人们认为每颗恒星周围都有一群行星，要把它们照亮，要维持上面的生命。但是现在看来，有行星的恒星似乎是例外。通过较准确的计算，人们发现似乎只有十万分之一的恒星才有一个行星家庭。

我们已经看到恒星彼此在亮度上的差别很大，原因主要有两个：恒星本身的亮度就有差别，再加上与地球间的距离不同。某颗恒星可能看上去很亮，那是因为它离我们近。最明显的例子就是我们的太阳。或者这颗恒星本身就很明亮。也可能两个理由都有。

如果我们知道了恒星的距离，我们立刻就知道在多大程度上距离影响它的明暗以及多大程度上是由自身固有的亮度造成的，这样就有可能对不同恒星的明暗即光度进行比较。

比较的依据是一条著名的物理定律：光的强度与距离的平方成反比。通俗地说，就是如果我离开某一街灯的距离加倍，亮度只是原来亮度的 1/4。同样的道理，如果我们把太阳到地球的距离扩大 100 万倍，那么它的亮度看上去只有现在亮度的一万亿分之一。在现在的距离下，太阳的光度有 12 万亿单位。如果太阳的距离远 100 万倍，它的光度将减少到 12 个单

位，这时我们仍然能看见它，只是非常暗罢了。

在天空中，有大量恒星的光度超过 12 单位，但是天狼星、a 半人马座和南河三（即小犬座 a）这 3 颗星除外。所有这些恒星的距离都是太阳的 100 多万倍。这些星肯定自身就比太阳亮得多。天狼星、a 半人马星和南河三这 3 颗星的自身光度也比太阳高。其他那些我们用肉眼能看到的星体自身亮度就超过太阳。从广义上讲，所有肉眼能看到的恒星的自身亮度都超过太阳。

天狼星是整个星空中最明亮的恒星，距地球约为 51 万亿英里，也就是太阳距离的 55 万倍。如果把太阳摆在天狼星的位置上，其光度只有 40 单位，而天狼星的光度是 1080 单位，因此天狼星是非常明亮的星体，比太阳亮 27 倍。它之所以这么明亮，一是自身本来就非常亮，二是距离较近。在我们用肉眼能看到的星体中只有 1/5000 的恒星比天狼星离地球更近。

有很多距地球最近的恒星的光度很低，不用高倍望远镜根本就看不见。距地球最近的已知恒星是半人马座的比邻星，其光度只有 1/60 单位，非常暗，是在近几年才发现的。它自身的光度非常低，只有太阳光度的 1/20000，热量就更小了。如果把它放在太阳的位置上替代之，我们的地球将比现在的冥王星还冷得多，生灵在顷刻之间就被冻僵。

我们发现有大量恒星甚至比天狼星还亮得多，但是由于相距遥远而看上去并不怎么明亮。最亮的恒星 S 剑鱼星发出的辐射至少是太阳的 30 万倍，如果它有朝一日取代了太阳，地球上的万物将在一瞬间化为一缕青烟，江河湖海、高山大地，无一幸免。

但是，大多数恒星都不如太阳明亮。在最靠近太阳的 30 颗恒星中，有 3 颗比太阳亮，而剩下的 27 颗都不如太阳明亮。这还不是事情的全部，还要进一步指出的是：我们所处的恒星，其光度恰好大大超过恒星的平均光度。

我们已经知道星体的表面亮度受两个因素的影响：一是距离，二是自身亮度。在这两个因素中，后者，即自身亮度，也受两个条件的制约：恒星的大小和每平方英寸表面的辐射量。例如，我们发现天狼星比太阳明亮 27 倍。于是我们就有个问题：天狼星的表面是否也是太阳表面的 27 倍？它是否跟太阳一样大而每平方英寸的辐射量却是太阳的 27 倍？或者还有哪些别的因素共同起作用使天狼星有现在这么大的辐射量？

恒星光谱是回答上述一系列问题的有力工具。它告诉我们恒星表面每平方英寸有多大辐射量，据此我们可以推算出恒星的实际大小。我们已经知道，恒星的光谱质量取决于恒星的表面温度。形形色色的光谱反映出相应的表面温度，结果是除了细微的差别外，所有的光谱可以排成一个连续的系列。当我们从光谱的一端看到光谱的另一端时，我们也就了解了恒星表面的一系列连续的温度。如果我们能把某个星体的表面温度逐渐升高，我们就能发现它的光谱依次发生一系列变化的全过程。事实上大自然本身

在为我们做这个试验。我们知道有某些变星就会自行发生这种变化，我们只需在大自然试验室里观察光谱连续不断的一系列变化就行了。

物体表面的辐射量还取决于物体的表面温度。当一种物质被加热时，它放出的能量也就越来越多。火车机车的锅炉里燃烧的煤火表面每平方英寸可能发出 1/4 马力的能量，而电弧光中的碳却热得多，每平方英寸可以发出 6 马力能量。

当两颗恒星，例如天狼星和织女星的光谱相同或相似时，我们就知道它们的表面温度一定是相同的或相近的，因此每平方英寸放出的能量也是相同或相近的。任何两颗此类恒星，如果光度有什么差别，其原因只能是它们的大小不同。从另一方面说，如果两颗恒星的光谱不同，它们的表面温度也一定不同，因此每平方英寸放出的能量也就不同。构成光谱序的光谱有助于了解不同的温度和每平方英寸发出的不同能量。

表面温度低于摄氏 1400 度的恒星，其表面每平方英寸释放出去的能量只有大约 1/4 马力，跟煤火差不多，它的光出现在光谱序的一端。一块铁在被加热时，我们看到它表面的颜色正是按照光谱中的红色的一端变向紫色的一端。这跟恒星的光非常相似。表面温度低的恒星，它们的光几乎全在光谱的红色区域。其实它们只不过处于赤热状态。其中很多恒星看上去是红色，或者至少裸眼看上去发红，因而通常被称为“红星”。

在光谱序的中段，我们会看到太阳光谱。这就表明该恒星的表面温度大约 5 600 摄氏度，每平方英寸排放大约 50 马力的能量。我们可以用下列方式来检验这种估测的准确性如何：

如果我们能测出地球表面每平方英寸接收多少阳光，我们首先能算出整个地球接受多少阳光，进而算出整个太阳放射能量的总量。然后我们把这最后一个数字用太阳的整个面积去除，就能得出太阳表面每平方英寸能放射出多少能量。我们发现计算出的每平方英寸放出的能量差不多就是 50 马力，整个太阳放出的能量足以驱动一辆大功率汽车昼夜不停地跑上 100 万年。当然不可能永远跑下去，因为即使有太阳这样巨大的储量，也总有一天是要消耗完的。在太阳上，火车头那么大一块地方发出的能量足以使英伦三岛的全部铁路运行起来。

远端的光谱显示出的温度在 6 万或 7 万摄氏度，因此这种恒星每平方英寸放射出的能量在 50 万至 100 万马力之间。这些恒星每平方英寸所放出的能量足以驱动大西洋上全部轮船。这些恒星辐射的主要部分是看不见的光，这些光处于光谱仪上紫色区以外；而可见部分则主要集中在紫色区内，因此这些恒星通常被称为“蓝星”。

恒星的光谱告诉我们一颗恒星表面每平方英寸能放射出多少能量。知道了一颗恒星的光度就等于知道了它能放射出多少能量。一个简单的除法就能告诉我们这颗恒星的表面面积，通过这个表面面积就能知道该恒星的直径和体积。

这种计算的结果是很有趣的。它们显示的越多，越说明那些数字不是随便得到的，而是跟恒星的物理状态密切联系在一起的。现在我们从最大的星体开始到最小的星体，讨论各因素之间的关系。最大的星体毫无例外都是那些表面温度低的红星。它们的表面每平方英寸只放射出大约 1/4 马力的能量，因此需要很大的面积释放它们的热量。它们都是些庞然大物，辐射的压力使它们臌胀起来像巨大的泡泡。关于这一点，我们在前面已提到过。我们讨论过，如果用 S 剑鱼星座或者用半人马星座来代替太阳将会产生什么样的灾难性后果。如果用这些红巨星中的任何一个来代替太阳，那后果将更为严重。因为到那时，我们就会钻进这些庞然大物体内，这些星比地球的轨道还大。迄今已经知道的最大的恒星心宿二的直径是太阳直径的 450 倍（即 4 亿英里长）。这就是说，它的肚子里装下 6 000 万个太阳还绰绰有余。平均每小时能飞行 5 000 英里以上的火箭，要 2 天才飞到月球上。如果要在太阳上从一边穿向另一边（飞越太阳的直径）要 7 天整。但是，如是以同样的速度穿过这庞大的星球心宿二则需要 9 年。因此，无怪乎天文学家们称之为“巨星”。

现在我们观测全部恒星的体积，然后按大小排列起来。我们同样会发现，如果按颜色顺序排，它们之间的差距也是巨大的。正如我们刚才讲过的，最大的恒星都是红色的。当我们从最大的看到最小的时，我们会发现它们的红颜色将越来越浅。我们再继续看更小的恒星，它们的直径只有太阳直径的 10 至 20 倍。它们的表面积大约只有红巨星表面积的 1/1000，因此，如果它们要放射出同样的能量，每平方英寸的表面就必须放出红巨星每平方英寸放出能量的 1000 倍。这样一来，这些星的表面温度就极高。这就是我们前面谈到的炽热的蓝星。

事实上，绝大多数恒星的体积都比上文提到的蓝星要小得多，它们的直径往往是太阳直径的 10 至 20 倍。如果我们看更小的恒星，我们会发现整个颜色的辐度和光谱只不过再重复一遍。这些较小的星体不是更热、更蓝，而是温度更低些、颜色更红些。因此，它们不仅表面面积越来越小，每平方英寸所发射出来的能量也越来越少。这些星显然比我们开始时讲的那些巨星要暗得多。到最后，我们看到的这些星体跟我们一开始看到的巨星一样红、温度一样低，但是体积却小得多。这些恒星被称为“红矮星”。它们当中的大多数的直径比太阳的直径小，只有红巨星的直径的 1/1000 左右。如果我们用一个句号代表一个红矮星，那么红巨星就好比是大车轮子。到现在为止，我们讲了三种类型的恒星：

巨星——红色，温度较低，

中等星——蓝色，炽热，

矮星——红色，温度较低。

但是，还有比红矮星更小的恒星。红矮星的体积差不多有木星和土星那么大。它只有太阳体积的 1/1000 那么大，质量却是地球的 1000 倍。已知的

最小恒星的体积都跟地球差不多大，这些恒星被称作“白矮星”。因为它们中大多数是白色的，在光谱仪的相应温度上一般是 1 万摄氏度或者更高些。这样高的温度使它们表面每平方英寸的辐射强度很高。但是由于总面积不大，因此放射出来的总能量并不高。它们非常暗，迄今只发现了少数几颗。

我们已经知道太阳光中包含有多种波长的光，其中有 4 个倍频程的光比较强烈，只有 1 个倍频程的光到达地球。我们已经知道有很多恒星的温度比太阳的温度低得多。如果我们把太阳说成是白热的。那些温度较低的恒星只能说是赤热的，它们发出的光可能要比太阳发出的光要低 1 个甚至 2 个倍频程。如果太阳也发这种光，假定我们的眼睛能自行调整，那么这些可见光在光谱上就要低 1 个或 2 个倍频程。到那时，我们的眼睛根本就看不到目前有的绿、蓝等颜色，只有几种我们的语言现在还表达不出的颜色。青草，现在吸收除绿色之外的任何颜色，到那时将是白色的，而天空将是黑色的。普通景色看上去就像用红外光拍的照片一样，而且许多细节要跟目前的样子不同。

这些红星的温度比太阳低，放射出的光是太阳光谱以外的红外光。当然，表面温度更热的恒星发出的光应当是太阳光谱另一端以外的紫外光。例如，天狼星表面温度大致是太阳温度的两倍，它的光谱要比太阳光谱高出 1 个倍频程。这种光就不能像普通照片那样显示，因为这种照片只能显示倾向于红色的这一面；而它发出的光主要是紫外光，因此被大气层的臭氧层阻挡在天外。如果天狼星有行星，那上面生物的眼睛必须能接收紫外光。对这种光，我们也没有名称，因为我们看不见它们。那里“人们”的生活肯定大不一样。举个微不足道的例子：在紫外光下玻璃不透明，因此那里的人们就不可能用玻璃做窗户，相反可以当墙用。在紫外光下，空气几乎是不透明的，因为空气具有散射性。如果空气再含有一部分臭氧，那就更不透明了。因此，如果天狼星有我们地球的大气层，那么天空看上去是黑紫黑紫的。

最热的恒星的光谱要比太阳光谱高出 3.5 至 5.5 个倍频程。如果我们要找到波长更短的光，我们就得深入到这些恒星的内部。如果我们在太阳内部几千英里处为采样，我们就能找到类似天狼星那样的光谱。

往太阳内部深入一些，光谱就会升高 1 个倍频程。以此类推。在太阳的中心，光谱可能升到第 13 个倍频程。也许大多数恒星的中心也如此。这种区域的辐射就像我们已经描述过的 x 光辐射那样。在这种情况下，大多数物质都变成透明的了。因此，如果我们住在这样的星球上，贝壳、花木等看上去就像图 73、74 所显示的那样。

到目前为止，我们只讨论了有关恒星的温度、体积等通过观察、测量可见的某些性质。现在我们要进一步讨论那些更为基本的问题——恒星内部含有多少物质（我们称之为“质量”）。在地球上，当我们想知道某物

有多重，我们就用秤去称一下，这就是说测量一下地球对该物体的引力有多大。大体上我们可以用同样的方法来称恒星，看看它们有多重。

大多数恒星在宇宙中沿着一定的轨道独自遨游，但有时我们偶而发现恒星会成双成对地漫游。天文学家称它们为“双星系统”或“双星”。由于引力的作用，它们彼此紧紧地抓住，相互围绕对方旋转，翩翩起舞，在太空遨游。它们相依相伴就像太阳和地球一样相互吸引，强大的引力使它们不能分离，它们各自运行的速度都没有大到可以甩掉对方的程度。

一会儿我们会看到，这种双星系统非常有趣。有意义的是它们给我们提供了能够称出其他恒星质量的机会。

■图 73 海星的 X 光照片

■图 74 罂粟蒴果的 x 光照片

双星系统中的两个成员有点像地球与太阳那样彼此绕对方旋转。不过有一个重大区别：地球的质量与太阳的质量相比（比例为 1：332 000），两者相差太远，因此太阳在地球吸引下绕地球旋转的运动状态很难被观察出来。而在真正的双星系统中，两颗星在质量上要接近得多，因此在引力量上彼此也接近得多，两颗星中哪一颗也不是单纯围绕另一颗转，而是互绕互转。根据两颗星相互吸引的情况，我们就能得到它们之间的质量比；如果我们还能测到轨道的长度，我们就能算出这两颗星的实际质量。

有时组成双星系统的两颗星在体积、颜色和光度方面相当相似，这两颗星就常被说成是般配的一对。在最明亮和最热的恒星中这种双星特别常见。实际上这些最亮、最热的恒星大多成为双星系的成员。天文学家们常常发现这种双星彼此很接近，它们有时会接触，在极特殊的情况下甚至会重叠。看来这种非常接近的双星在当初很有可能是一个大星体，由于旋转过快而分裂。

有些情况下，双星系的两颗星相去甚远，非常不协调。一个引人注目的例子就是天狼星座。这是一个双星系统，其中有一个白矮星。主星天狼星在天空中非常明亮，其直径是太阳直径的一半，而其伴星白矮星的直径只有太阳直径的 1/30。红巨星“o 赛提”为我们提供了一个更为不协调的例子。它的直径是太阳直径的 400 倍左右。与它共同组成双星系统的那颗伴星是白矮星，其直径不为人所知，但是决不会超过主星的万分之一。如果把主星比作大车轮子，那么这颗伴星只相当于一颗砂粒，也许就像一粒微小的尘埃。

尽管在体积上有时差距极大，但它们在质量上却相当接近。那个庞然大物的质量可能只有那个微小伴星质量的 5 倍或 10 倍。总之，似乎可以说：即使是白矮星，它们的质量跟普通恒星的质量差不太多。它们的大小像地球，质量接近太阳，这显然说明白矮星内部物质的结构要比太阳物质的结构紧密得多。平常 1 吨重的物质在太阳上占的空间约 1 立方码（0.765 立方米），而在白矮星上 1 吨重的物质只不过樱桃那么大。与此相反，1 吨

重的物质在 o 赛提星上则大得像滑铁卢车站的内部空间那么大！

在地球条件下，无论如何不能使物质的密度像白矮星上的物质那样。其中的奥秘在于白矮星上物质破裂成基本粒子。当我们向太阳内部深入时，我们会发现太阳内部的温度越来越高，有越来越多的原子破裂（第六章已述及）。在白矮星的中心部位，温度要比太阳中心的温度高得难以置信，因此原子全部破裂，这样就使物质非常紧密。

大多数双星系统并不像前文描绘的那样异乎寻常。两个成员既不那么接近，也不那么相差甚远。例如图 75 显示的是对普通的双星克留格尔 60 在 1908、1915 和 1920 年拍的照片。一旦掌握更多的观察数据，就很容易测出其轨道，然后再算出它们的质量。克留格尔 60 这对双星的质量分别是太阳质量的 1/4 和 1/5。没有多少双星系统的成员的质量比上面的双星小太多；但是在星序的另一端，恒星的质量要大许多，达到数百倍。

■图 75 这是双星克留格尔 60（图中左上角）在不同时间（自左至右是 1908 年 7 月、1915 年 9 月、1920 年 7 月）的位置。两颗子星互相环绕转 1 圈要 55 年，所以要到 1963 年 7 月才能回到左图的位置。

克留格尔 60 这对双星要用 55 年才彼此各转 1 圈。即使如此，对于双星来说已经够快的了。许多双星要用数千年才能互相转一圈，有的甚至要花上数十万年呢！

另一个极端是有些双星系统互相转一圈的时间却很短，只需要几天，甚至几个小时！这样的恒星系统无论是观察还是照像都只能看成是一个光点，因为它们彼此相距太近，在望远镜中看不出它们是分离的星体。有时这样一对双星在宇宙中的轨道是这样的：它们在相互环绕运行中每转一圈，其中一星竟然在其伴星与地球之间通过。每逢这一时刻，离地球较远的那颗星的光被较近的这一颗星遮住，此时在地球上看，这对双星暂时要暗一点。这样的双星系被统称为“食变星”。在条件好的时候，观察到的总光量的变化数据能帮助我们重现双星的整个运行情况，并能算出它的轨道以及两个子星的直径和质量。

当然，如果双星系统的运行轨道不跟地球在一个平面上，一个子星不在地球与另一个子星之间，不从另一个子星的正面通过，那么我们在地球上是看不到双星的相互遮掩效应的。不过还有其他方法可以发现双星系统。

当火车或汽车响着汽笛或喇叭从我们身边经过时，我们注意到当车辆离去时音响的音高或音量随之下降。这种响度的下降是由声波的性质造成的。我们的耳朵每秒钟接收的声波在火车驶近时要比离去时多。

光也有波的属性，所以当一颗恒星接近我们时，我们的眼睛每秒钟接收的光波要比恒星在静止时接收的光波多，同时这光的颜色也就更蓝。如果恒星离我们而去，我们的眼睛每秒钟接收的光波就更少了（比静止时还少），颜色也比平时更红。因此，通过观察光谱，我们就会知道恒星是迎

面而来还是远离而去。当光谱中出现界限分明的谱线时，我们可以准确地测量谱线的量，进而可以准确地推算出恒星接近或离去的速度。

光谱上显示出的谱线的线数如果每年都一样，那么我们就知道这颗恒星向我们接近或离我们而去都是匀速的；相反，如果光谱上谱线的线数不断变化，那么我们就知道这颗恒星的运动速度也在不断改变。据此我们可以得到结论：这颗恒星显示出来一条围绕一个伴星的轨道，这颗伴星要么完全是黑的；要么是非常暗的，我们看不到它的光谱。有时，例如像大熊星座的光谱照片（图 68）上两颗子星的光谱都能看见，因此我们就可以根据光谱来计算两颗子星的确定的轨道，就像我们看到恒星本身在太空运行一样。知道轨道，我们就能算出两颗子星的质量。

由此可见，我们估算恒星质量的办法多得很。不论用哪种方法，我们都能发现巨星和蓝星的质量总比矮星的质量大得多。现在已经确切知道的质量最大的巨星是普拉斯凯特星双星，其中每一颗子星的质量都是太阳质量的百倍左右。

用前文提到的各种方法，我们能获得大量有关恒星质量、体积和温度的信息。几年前天文学家能够告诉我们的有关恒星的信息很少，一般只知道它们的名称和在天空的位置；而现在却能够告诉我们每颗星的许多信息，我们可以观察它们的大小、运动、质量、颜色及其他物理特征。在此过程中，我们常发现一个星座并不是对恒星随心所欲地胡乱撮合；其实它们的主星在物理结构上非常相似，而且还发现它们都以相同的速度往同一个方向运动，因此它们在物理性能上是有联系的。

一个引人注目的例子是猎户星座的诸星。除了星座中那颗最亮的星猎户座 a 或者叫参宿四之外，其他所有的亮星都以同样的速度向同一个方向运动。它们彼此在物理特性上都非常相似，难怪人们称它们为一群难以分辨的鸟儿。除了参宿四之外，其他所有 12 颗都异乎寻常地热，极亮又都特别庞大。它们都是蓝星，都属于可能破裂成双星的那类恒星。在这 12 颗中，参宿七或猎户座 β 是已知的最亮的恒星之一，它固有的光度是太阳光度的 1.5 万倍！

我们暂时离开猎户座到大熊星座去看看。虽然它们都属于同一种类型，但是情况略有差别。所有的星都是一种颜色白色。它们所组成的星座倒不像猎户座那么壮观，距我们那么近、那么亲切，但是也很引人注目。在组成家喻户晓的北斗七星中有六颗是白星，它们在物理特征上跟天狼星很相似。它们都是很热的巨星，都比太阳大得多、明亮得多，但是比起猎户座群星则差得远了。星座中最明亮的星是大熊座，或叫天枢星（北斗一）。它跟其他星体大不一样，它很庞大，温度较低，是颗红星，独自在轨道上运行。在北斗七星中只有三颗是双星。

我们已经注意到那些引人注目的恒星组成的星座几乎都比太阳明亮。从天文学角度说，它们距离我们也都很近。因为即便是最明亮的恒星，如

果距我们很远，如果不借助于工具，我们的肉眼也是看不到的。因此，我们可以肯定它们都格外明亮，也都格外近。

如果我们想了解一下普通的恒星，那就得借助于望远镜。我们已经知道这种仪器如何聚光、如何有效地扩大我们瞳孔的直径。如果一架望远镜10倍于我们的瞳孔直径，它就能帮助我们看到宇宙中距我们更远的天体，它们的距离应当是我们裸眼能看到的距离的10倍。如果宇宙中的恒星整齐均匀地分布在天空，我们能看到的恒星将是现在裸眼所看到的恒星数量的1000倍。如果使用1架20倍于瞳孔直径的望远镜，我们所看到的恒星数量将相当于目前所看到的恒星数量的8000倍。以此类推。当我们动手做这项试验时，我们发现这条规律只在一定的距离上适用，再远就不适用了。我们实际看到的恒星数量比我们按这一规律想像的数量要少，好像有些恒星不在自己的位置上。这当然意味着星体并不是整齐均匀地分布在天空中。当我们观察的距离远到一定程度时，就到了某个极限，这时星体的数量开始减少。这个极限开始之处就是这条规律失灵之时。

■图76 御夫座的一小部分。图中只有1颗星（箭头所示）比第9星等的星场亮些。这是同一星场的一系列照片的第一幅。（箭头及箭头所指的那颗星，编者已作夸张式加工，否则读者难以找到。）

■图77 这里显示的是前幅照片上的同一个星场，是第12星等时所看到的星空。

■图78 这里显示的是同一个星场第15星等的星空。图中明亮星外面的光环是由仪器自身的缺陷造成的。

图76至80显示的是上述方法的具体运用。这5幅照片是采用不同的曝光量拍摄的同一个星场的情景。每幅照片（最后一幅除外）显示的星场都比前一幅照片低3个星等（译者注：星等是表示恒星亮度的单位，第1星等最亮），大约是前一颗的亮度的1/6。

如果天空的恒星均匀分布，那就很容易显示每幅照片（图80除外）中所包含的星体数量是前一幅的64倍。图80的比例应当是16倍。事实上在连续拍摄的图像中恒星增加的数量远远低于前文推算的数目。这说明在系列照片中，很快就要到达这个星系的极限了。

赫歇尔父子用类似的方法标出了太阳所在的恒星系统的形状和极限。如果太阳处于这个球状星团的中心，当然，不论在哪个方向，都会在同一距离达到极限。而事实上在不同方向的极限距离不一样。

如果我们在海上或陆地的平原上遇上暴风雪，我们会发现雪片把我们包围起来，四周形成不透明的雪障，可是往天空看却可能相对明亮些。造成这种区别的原因是我们四周各个方向数英里之外都是雪，而往上顶多有一英里高。

赫歇尔父子发现恒星的分布结构就像暴风雪中的雪障，也就是说像个平的圆盘一样，因此他们得出结论：恒星系统的形状想必像暴风雪，或者

像枚硬币，或者像大车轮子。他们认为太阳处于中心的某个位置。我们现在知道，在这一点上他们错了。他们的望远镜的功率远远达不到该星系的边缘。太阳离该恒星系统的中心远着呢，虽然说已很接近该星系的平面的中心。

■图 79 图中显示的是第 18 星等的同一个星场的景象

■图 80 同一个星场第 20 星等的星空景象

如果我们看的方向正好是硬币状星系或大车轮状星系的平面所处的位置，那么，我们看过去的就是星系那难以想像的厚度，仿佛看到一堵看不透的由星体构成的墙，就如同我们在暴风雪中往远处看的感受一样。这就是银河系——在晴朗的无月之夜，它像一条淡淡的光带横跨星空。银河系的构成在伽利略之前一直是个不解之谜。但是伽利略的望远镜立刻使世人明了银河是由恒星组成的。这正是 2000 年前阿那克萨哥拉和德谟克利特所想像的那样。这些星体离我们非常遥远，我们根本就不可能看出它们是一颗一颗的恒星。成千亿、成万亿非常遥远的星体使我们把它们看成是一条连续不断的光云。

夜晚我们的肉眼所看到的星空就是以这些非常遥远又较暗的星体为背景、加上距离较近的少数明亮的恒星共同组成的银河系。用望远镜观察，我们马上会看到在遥远的背景星团和眼前的明亮恒星之间还有处于中间距离的星体。这些恒星既不明亮又很稀疏，因此还没形成连续不断的光云。这样一来，太阳就被看成是一个单一星系的成员。这个星系的形状，我们已经说过，它像个圆盘、硬币或大车轮子。

我们在前面已经谈到用观察法确定恒星的距离。我们走了 1.86 亿英里从地球轨道的一侧到了另一侧，并且注意到一颗恒星的方向连续不断的明显的变化。遗憾的是，这种方法只适用于观察距离较近的星体。近的恒星是半人马座的比邻星，它与我们相距 25 万亿英里。为了避免使用这么大的数字，我们常把这个距离说成 4.25 光年。光每年传播近 6 万亿英里，因此比邻星星光得用 4.25 年才能传到地球上。这就是说，我们现在看到的比邻星不是现在的比邻星，而是 4.25 光年前的比邻星！

观察法使我们找到这种距离的恒星，得出的距离还蛮准确。当然喽，对于距离非常远的恒星来说就没有这么准确了。对于数百光年以外的星体来说这种方法很不准确；对于那些位于银河系边缘的恒星来说根本就不适用了。因此，必须找出别种方法来确定那些十分遥远的恒星的距离。

最有效的方法是根据恒星的一般物理特征来估计恒星固有的亮度。因为我们一旦得到一颗恒星自身的亮度，就可以通过比较其表面亮度得知这颗恒星与我们的距离。

对三种特殊类型的恒星可以较为满意地、准确地测出其本身的光度（当然有误差）。我们已经注意到所有的蓝星都非常明亮，其实其自身光度几乎完全取决于自身蓝色的深度，换句话说，要看恒星的光谱型。对于那些

我们已经提到的红巨星来说也是如此。

因此，通过观察这两类恒星的光谱，我们就能得知它们自身的光度，由此就可以推算出它们的距离。但是还有第三类恒星，它们的距离可以更准确地确定下来。这就是人们已知的类似造父变星的变星。它们发的光是不稳定的，它们的亮度在持续不断地变化，亮度变化的周期完全一样，有规律。因此，恒星自身的光度完全取决于明暗变化的时间长度。变化最慢的恒星自身光度最高，变化最快的恒星自身光度就低。不管这些恒星相距多远，我们都可以测量它们从亮到亮的间隔、从暗到暗的间隔。这种简单的观察可以揭示变星自身的光度，并进而推算出它们的距离。

即使用以上我们所提到的所有方法，也很难标出一个完整的恒星系统。除非我们有个更大胆的、更具冒险色彩的工具。“球状星团”的假想却能为我们提供这样的工具。球状星团本身就是一些小型恒星系统，比主恒星系统要小得多。但是每个星团都有成千上万个恒星，每个这种星团都有大量的造父变星，而这些变星使得确定该星团距离变得简单易行。如果我们知道了星团的距离，我们当然也就很容易确定其大小。令人感兴趣的是，人们发现这种球状星团在形状、大小和总的分布上都几乎完全一样，对此我们也甚感疑惑不解。

当我们标出这些球状星团之后，发现它们在整体上呈硬币状或圆盘状，大体上呈旋转形对称，处于银河系的两侧。似乎有理由假设球状星团体系的位置和总体布局与实际恒星系统不谋而合，因此星团的边缘恰好也是恒星系统的边缘。如果真是这样，银河系的直径想必有 20 万光年左右。太阳距星系中心约 4 万光年，比赫歇尔父子想像的要远多了。

我们可以把银河系看成是圆盘状或大车轮子形，太阳处在接近恒星系统中心平面位置（其实可能在距中心约半径 1/3 的区域之外）。恒星系统中心的明亮恒星距我们非常遥远，我们用裸眼根本就看不到。我们充其量只能看到 3000 光年的恒星。这就说明为什么一些明亮的星系的恒星看起来在各个方向上都分布得很均匀整齐。其实我们见到的只是结构中很小的部分，而在这一小部分中，恒星确实分布得相当均匀。

近来发现，恒星的运动既不是随意的，也不是整齐划一安排好了的。看起来整个银河系在围着一个中心旋转，就像个车轮围绕轮轴转。由这些恒星组成的巨大车轮在太空旋转，把太阳甩得以每秒钟 200 英里的速度飞转；但是这个轮子太大了，太阳以这个速度得花上 25 亿年才能转完 1 圈！

25 亿年转 1 圈这种旋转速度之慢是令人难以置信的。为了确切了解这种速度的含义，我们可以把这个车轮的旋转跟钟表时针的转动作个比较。如果让时针 25 亿年转 1 圈，那么现在每秒钟 1 次的跳动，就得变成 5000 多年跳 1 次。对恒星星龄的研究表明，这个大轮子肯定已经转了数千圈甚至数十万圈了。

要不是有其他恒星的引力把太阳保留在现在的位置上，它早就像自行

车轮子上的一块泥巴被甩出去一样被星系大轮子甩入太空了。引力使太阳在自己的轨道上运行，就像太阳的引力使地球在自己的轨道上运转一样。我们可以根据地球轨道而计算出太阳的质量，同样我们也可以根据太阳的轨道计算出该星系中其他恒星的质量。我们认为银河系中的恒星数量肯定有千亿以上，也许还会翻一番。

我们的裸眼在这浩瀚的星海中顶多能分辨出大约 5 000 颗是单独光点的恒星，与总量的比大概是 1∶40 000 000。这就是说，我们每看到一个被认为是恒星的光点，就是 39 999 999 颗恒星要么根本看不到，要么淹没在银河系那片暗淡的光云中。地球上居住着 20 亿人，如果把这些恒星按人口平均分配，每人可分得 100 颗星。但是，如果我们以抽签的方式挑选自己的星星，每个人都会发现自己有 400 000∶1 的机会；如果不借助望远镜，根本就看不到属于自己的那些星星。

原始宇宙是一团混沌的气
体。当它分裂成星云后宇宙开始
膨胀，每 130 亿年体积扩大 1 倍。
星云始于球形，渐变为车轮形，并
最终分裂成许多恒星。

第八章　星云

行星和卫星在太空中是十分明显的天体。然而只有当它们离我们较近时，我们才能看到它们的光亮和大小。如果只凭借我们的肉眼来观察茫茫宇宙，那么除了恒星之外，我们是什么也不会看到的。

一架单筒或双筒天文望远镜将会把我们带进浩繁的恒星世界和其他的星空世界。在我们的知识范畴中出现了一类新的天体，那就是闪着微弱光芒的模糊的我们称之为“星云”的天体。

“星云”这个词是拉丁语，其意义为薄雾或薄云。在天文学的早期，这个词被广泛用于描述那些薄雾状的天体，或者任何一个具有模糊轮廓的天体。从那时起，人们就已发现星云可以分为明显的三个类群。

第一个类群是完全位于我们的恒星系统里的被称作行星状星云的天体。现在人们已经知道这些星云是由恒星本身及其周围非常广阔的大气层所构成。图 81 给出了星云的例子。当我们把它们的大气层也考虑在内时，那么这颗巨大的红色恒星就非常庞大了。我们的航空飞行器若以每小时 5 000 英里的速度飞向这颗恒星团中最大的恒星，需要 9 年的时间才能到达；若要飞向这些行星状星云中的一个行星时，以同样的速度则需要 9 万年的时间。这就意味着如果我们把这个行星状星云称做恒星，那么它的体积将是我们所已经观察到的最大恒星体积的 1 万倍。

■图 81 三个行星状星云：N.G.C.6720（天琴星座中的环状星云）、N.G.C.2022 和 N.G.C.1501。

严格地说，这些星云是恒星的大气层而不是恒星本身。透过这些大气层，我们可以看到位于星云中心的恒星。这些恒星要比环绕着它们的大气层更应值得我们注意。它们非常小，其直径仅为太阳直径的 1/5。它们的表面温度异常高，大约在 7 万℃至 7.5 万℃之间。这么高的温度在我们宇宙中是无法实际观测到的。虽然我们知道我们不能直接观测到恒星内部的温度，但它一定也是非常高的。从某种意义上说，我们上面提到的温度是恒星自身内部的温度，因为这些温度是在恒星大气层的底部测到的，而不是在大气层的上层表面测到的。研究表明，这些具有小的体积和高温度的在行星状星云中央的恒星与我们已经讨论过的白矮星是属于相同类型的。

第二类星云是由银河系中许多的恒星系统所构成。第一类星云是大气层包围单一恒星；而第二类星云可能是大气层包围着整个一组恒星，有的甚至是整个恒星系星云座。图 82 显示的是我们所熟悉的昴星团的恒星。照片是经过长时间曝光拍摄成的。用我们的肉眼或者用望远镜偶尔看一眼这

些恒星时，我们不会发现任何形式的星云状物质。但是当这个星座长时间地曝光于胶卷底片上时，我们就会发现每一个恒星都有一个闪光的朦胧的星云状云层。图 83 详细地显示了恒星周围的星云状物。

■图 82 环绕昴星团恒星的星云物质

由于长时间地持续曝光，环绕不同恒星的星云状物质将联合成一个连续的闪光的云层，并且我们将会发现一个巨大的其中包含有无数颗恒星的连续的星云状物质的海洋。这样的星云状物质的海洋在图 84 中被展现了出来。在许多情况下星云状物质并不具有明亮的云层形式，而是具有黑暗的斑块。图 85 就是一个显著的例子。这些黑暗的斑纹是由能够吸收光线的物质引起的。这一点似乎是非常确定的，并且吸收的光谱与产生星云光谱的黑暗线条和从我们自己大气层中所穿行的紫外光辐射是相同的。这种光被冷气团所吸收，又被热气团放射出来。

■图 83 御夫星座中一个恒星周围的星云物质

这些星云看起来是十分令人吃惊的，但是在某些方面，星云中的卫星和行星也许更令人吃惊，因为它们相对来说离我们较近。第三个类型的星云本身就十分奇特。一个行星状星云发光强度也许可以是太阳的 10 倍甚至 100 倍，而前面已描述过的银河中的星云也许可以放射出几百倍甚至几千倍于太阳的光。但是第三个类型的星云——银河系之外的星云却可以放射出数十亿倍于太阳的光。它们要比银河大得多，但是由于它们离我们太遥远了，所以看起来它们却又小、又不引起人们的注意。

这三类星云在形态和总的外形上有着巨大不同，我们可以很容易地区分出它们。如果需要的话，它们的光谱还可以提示更进一步的不同之处。当对行星状星云或银河系星云的光谱进行对比分析时，发现它们与我们地球上已知的各种原子的光谱是一致的。这说明这两类星云只是不同发光原子的云层，是被镶嵌在这些气体中的恒星所点亮的气团。

■图 84 Sobieski 中的星云物质

然而，银河系以外的星云的光谱与恒星光谱有相似之处。这就很自然地使人们怀疑这些星云不是由于原子发光而形成的云，而是恒星的云层。在很长一段时间里，人们对这一假说是坚信不疑的。因为正像伽利略的望远镜将银河系分割成一个个他称之为恒星的光点一样，现代的高能望远镜也分辨出了最外层空间星云中的一个个恒星光点。

■图 85 猎户星座中的星云物质。图上的明亮天体是恒星 ζ 猎户星，它位于猎户星座的 3 个恒星的最南端。该照片是经过 11 个小时曝光拍摄成的。它详细显示模糊状星云的物质云团。

没有理由怀疑它们是真正的恒星，因为它们具有我们自己系统中恒星的所有特征。例如，许多不是持续发光而是间歇式发光的恒星与我们自己系统中的造父变星具有相同的特征。最近又发现的一些其他的天体也与我们自己的恒星有很大相似之处，其中不仅有已经发现的各种恒星，而且还

有许多“新星”或新的恒星。这些恒星会突然地、数千次地以它们普通的亮度闪烁，然后在经历几次明亮和黑暗的波动之后，它们的亮度就会再次变得暗淡。许多球状星云与我们的银河系的形状有许多相似之处，因此没有理由怀疑这些银河系之外的星云中的恒星与我们银河系中的恒星系统非常相似（至少在某些方面是如此）。

我们已经看到变化的恒星和星形聚集物在整个银河系中是如何发展的。因此，我们可以利用这个变化规律来估算这个遥远天体的距离。用相同的方法可以精确地确定出比较近的星云的距离，可以通过亮度变化的特殊特征来识别出这些星云中的造父变星和其他变化的恒星。它们与离我们较近的恒星有相同之处，即距离我们越遥远的看起就越暗淡。正像我们已经看到的，亮度的差异立刻就能反映出距离间的差异。

用同样的方法我们估算出两个最近的星云之间的距离是 80 万光年,即我们现在看到的光是 80 万年前发射出来的。那时人类第一次在地球上出现。图 87 表现的是这两个较近的星云中的一个，即仙女星座中较大的星云。尽管它的距离十分遥远，但是它仍然在天空中占据相当大的空间；而且这还没有显示出这个星云的整个大小。对这个星云研究得越多，我们发现它的体积就越大，而且该星云的大小已经比最初发现时扩大了好几倍。这在照片上已经显示出来了。

十分遥远的充满大部分空间的天体具有十分巨大的体积。我们的火箭需要 2 天才能到达月球，需要 7 天才能到达太阳，运行 9 年才能到达一个普通的较大恒星，需要 9 万年才能到达行星状星云，但是我们却不清楚若要到达仙女星座需要多长时间。实际上，这个星座的直径大约有 10 万光年，要到达这个星云的时间大约需要 120 亿年。我们只有把仙女星云的照片放大到整个欧洲那么大时，太阳在其中看起来才像一个天体。

■图 86 猎犬星座中的旋涡状星云

■图 87 仙女星座中巨大的星云

正像我们已经讨论过的银河系一样，我们看到这个星云的形状如同一个车轮。的确，在大小、形状和整体结构上，这个星云与我们的太阳系有许多相似之处。这个星云和许多其他的星云不仅在形状上像车轮，而且它们都像车轮一样绕它们的轴或中心旋转。这一点与我们的银河系也是相同的。每一个轮子都被它的星云引力紧密地控制着，因此我们就可以利用我们曾经计算过太阳和银河系质量的方法来计算每个星云的质量，只是这种方法不是十分精确罢了。仙女星云绕着它的轴旋转一周需要 2 000 万年的时间。从这一规律出发，最粗略的计算表明，它的质量一定是数十亿个太阳的质量。

■图 88 后发座中的星云(N.G.C.4565)

银河系以外的星云并不都具有车轮的形状，它们在形状和总的外形上显示出巨大的不同；然而它们几乎可以被排列成单一的连续系列。这个系

列开始于外形模糊的星云、球形或几乎是球形的星云，并且在这个星云中恒星是不可能被辨认出来的，结束于纯粹像我们银河系的许多恒星的云层。仅仅是在这个系列的后一半的星云才具有车轮的形状。这样的比喻是十分恰当的，因为许多星云都是环绕着它们突出的轴旋转的。这看起来极像一个车轮的轴。当从不同角度看星云的时候，这个星云的车轮形状会或多或少地有所区别。但是我们从它们的边缘来看它们时，这个差异就变得更明显了（见图 88）。当我们从所有的角度观看这个星云之后，我们发现，这个有疑问的系列其实是非常简单的一个系列，其形状是从球形到不同的车轮形。

■图 89 飞马星座中的一组星云。接近图中心的所有星云看上去大小相同、亮度一样，而且彼此间的距离基本相等，它们在太空中形成了一个密集的团体。其他看上去较小和较暗的星云也许是距离太遥远，而且它们与这个密集的星团体之间没有关系。

当我们在橡树林中穿行时，我们可以看到所有不同年龄的树木，即从成熟的参天大树到幼苗，甚至是橡树种子刚萌发出的幼芽以及散落在地上的橡树种子。在这里我们再一次发现了一个连续的系列。该系列从开始于新的橡树种子的萌生，到嫩芽的出土、幼苗的形成，从幼树、中年树直到完全成熟的树木。我们自然地会认为这些不同的形状代表着生长的不同阶段，因此就构成了一个“演化系列”。但是实际上这仅仅是一个猜想，因为橡树的生长十分缓慢，我们不可能一直等着看到整个过程的发生。

对于星云来说也是相同的道理。任何可以感觉到的一点变化一定发生在几百万年以前。因此虽然我们不可能看到这个变化，但是我们可以假设当它们变化的时候它们其实是在它的系列中从一个状态运动到另一个状态。如果这是真的话，那么这个系列就像被电影摄像机录下的星云的整个生命历程。目前系列中的一个星云的形态是它之前星云状态的未来，又是它之后星云状态的过去。

星云形状系列具有一个更为有趣的现象：通过计算发现，这个系列正好与一个体积逐渐缩小而其旋转速度比过去增加的巨大气体球的系列相吻合。这个气体球旋转越快，它的形状就越扁平。这一点与我们太阳系中的行星有相似之处。经过一段时间，该气团的形状极其扁平，其速度也得到了最大的增加，从而导致其赤道处的物质全都逸散出去了。这个赤道是我们按照我们地球的规律假想的，我们可以设想车轮的边缘和辐条就是以这样的方式形成的。正在变得极其扁平的轴处保留了原来的气体球。这个系列最终的结局将更有趣，因为到那时，整个气团被压缩并分裂成许多的球，并且计算表明每一个球的质量都与一个实际的恒星的质量相同。这很自然地就成为一个假说，即每一个星云都产生于一个旋转的气团，这个气团已经经历过或将经历我们前面已经描述过的形状系列，并且结束于或将要结束于恒星的云层状态。因此，这些星云是众多恒星的诞生地。在这个诞生

地中，旋转着的气团铸造出了像我们在银河系中所熟知和发现的众多的恒星。

如果这些假说是正确的，那么我们就可以将我们的地球追溯到太阳，而太阳可以追溯到起源于星云。但是星云本身是如何演变的呢？

大多数的宇宙演化学说认为宇宙开始于一个混沌的气团。这样的气团是不能停留下来并且统一地向太空中扩散，这一点是可以证明的。比如：来自于水壶或火车头烟囱里的水蒸气是不可能完全聚集起来统一地向外扩散的，而是气体分子首先凝结成微小的水珠，这一点与任何一种扩散到太空中去的气体是相同的。统一扩散的气体，无论它的特性如何，它都是不稳定的。任何一点扰动都会增加它运动的随机性而打破它原有的运动规律。整个气团最终将冷凝，或分裂成几个密度不同的气团。计算结果表明这些部分非常像实际星云的气团的大小，并且在远离已经观察到的星云的平均距离之处形成了这些气团。气团就是更遥远的过去的某个状态。由于我们已经完成了从地球到太阳和从太阳到星云的旅行，我们的故事也结束于此：星云来自充满整个宇宙的一团混沌气体。

如果星云确是以这种方式形成的话，那么我们应该看到，所有这些星云都应该具有相同的大小、重量和它们本身固有的亮度。这一点与实际情况相当吻合。相同形状的星云常常在亮度和大小上是非常不同的，但是这些外形上的差异通常是它们距离我们远近不同而造成的视觉差异。

如果这是一个普遍的规律，那么当任何已知形状的星云出现以后都是可以被当做标准的天体，正像造父变星为量天尺一样，并且从它们明显的光亮弱度上可以估算它们的距离。蒙特·威尔逊山天文台用 100 英寸直径的大望远镜拍摄到的发光最微弱的星云离我们极其遥远，它的光需要 14 亿年才到达我们的地球。这个时间是银河系中最遥远的恒星发射出的光到达我们地球所需时间的 1000 倍。在这个距离内，大约存在 200 多万个星云。

从望远镜中观看正在形成的天体的时候，其景色是极其迷人的。从天体演化的角度看，这些景色更为有趣壮观，因为如同一部电影摄像机一样，它记录并向我们展示了太阳和恒星是如何形成的过程。但是，最近人们又发现了一个更为奇特的情况，即这些已形成的星云全都以极高的速度正在背离我们远去。

我们已经注意到了一颗恒星的运动是如何产生它的正在被移位的光谱线条，即如果恒星是远离我们运动，它就是红线；若恒星朝向我们运动，它就是紫线。已经发现星云光谱中的许多线条被移到了不正常的位置上，这一点可以非常简单地解释为这些星云本身是处于运动之中。朝向我们运动的星云几乎占据了一半的天空，而另一半被背离我们运动的星云占据了。这些现象的形成，也许是因为太阳正以每秒成百上千英里的速度朝着前一个星云团运动，因此对于太阳后面的星云团来说，当然就以相同的速度背离它运动。

星云明显的运动证明的是某件事，而不仅仅是太阳在宇宙中运动的反映。当将太阳的运动从星云的运动中扣除的时候，星云不是静止的，也不是像气体分子一样作随机运动。相反我们发现有的星云正以和它的距离极其成比例的速度远离我们。

若取整数的话,每 100 万光年的距离大致相当于每秒 100 英里的速度。距离我们 100 万光年的星云就是以这个速度离开我们，那些距离我们 200 万光年的星云是以两倍于这个速度远离我们。依此类推。目前观测到的远离我们运动的最高速度是每秒 1.5 万英里。这个速度是特快列车速度的 100 万倍。具有这个速度的星云距离我们大约 1.35 光年。

当一个弹壳在战场上爆炸的时候，其碎片会以不同的速度飞行，那些飞行速度最快的碎片也是飞行距离最远的。在爆炸的一刹那，每一碎片所运行的距离，精确地与它们的运动速度成正比。也可以说碎片的飞行速度与爆炸点与落地点间的距离成正比。这是正在远离地球的星云所遵循的规律，并且该规律使我们想像到：在过去的某一时刻，宇宙突然发生爆炸，并产生了许多碎片，我们整个的银河系正好是这些碎片之一，而我们居住于其中的这个特殊的碎片上。

然而有另外一种方法可以解释星云的运动。想像一下许多正在河流中漂流的稻草。如果在某一地点河流变窄时，我们看到稻草彼此之间会靠得很近；当河流变宽时，它们彼此就会迅速地分开。当这样的扩散发生的时候，居住在漂浮稻草上的昆虫将会看到所有的其他正在分开的稻草的离去。而且如果河水正好通过一个非常狭窄的曲颈瓶的颈部时，稻草离散的速度与它的运动的距离成正比。这也是星云运动的规律。

这样就有两种非常相似的有关星云的运动的可能解释，然而这两种解释有根本的区别。如果我们把星云比作炸弹的碎片，我们可以想像星云在太空中运动；而把星云比作展现在我们面前的稻草那样在当前的太空中分离，这样从速度与距离成正比的定理中可以推出，宇宙正在均匀地膨大。

也许后者的解释是最好的，因为现在我们认为宇宙是弯曲的、圆形的，并且是有限的，很像一个气球的表面。宇宙不能被比拟成气球内的空气，而应该是气球的橡胶皮。这样我们就能在这个宇宙中一直运动下去，正像一个苍蝇能够一直在气球内沿表面运动一样。当然，苍蝇的运动一定是重复地在气球内运动，但是它决不会遇到阻止它运动的任何障碍，因为气球的表面是光滑的。

同样，如果我们要想在宇宙中一直运动下去，那么我们也不会有任何障碍，虽然或早或晚我们还会回到我们的出发点。环游宇宙是徒劳的，因为生命是非常短暂的。光线也许具有很好的机会，因为它每分钟运行 1000 万英里，并且对于一个 70 岁寿命来说并不是有限的。曾经有一段时间人们认为一个强有力的天文望远镜能够使我们看到开始于数百万年前且已经穿过了整个宇宙而最终又回到它的出发点的地球的光。很自然，这给了我们

一个非常直接的并且有说服力的宇宙是弯曲的证据。但是我们已经不再相信上述的说法，因为即使以光速运动，也不能穿越整个宇宙。许多的天文学家设计了许多方法来估计整个宇宙的大小，这些方法基本都是不相同的，但是他们至少都同意这样一个事实，即宇宙太大了，我们决不可能看完圆形的宇宙。威尔逊山天文台的大天文望远镜能够看到宇宙较远处。那里的星云的光开始于我们的地球上有超自然的动物居住的时候，并且光线已经一直运行了 1.4 亿年才到我们地球。然而这也仅仅告诉了我们宇宙中很小的一部分内容。这极小的知识也许与整个宇宙相关联，正像维特岛是地球表面极小的部分一样。

所以，我们看到的是一个不仅大的几乎令人难以置信的宇宙，而且它还是一个持续增大的宇宙。每 13 亿年左右，其大小就增加 1 倍。到现在，宇宙已经比它最早的状态增大了 8 倍，并且地球已经比它从太阳中分离出来时大了 100 多倍。随着钟表的滴答一响，宇宙的直径至少增加了数十万英里。

然而，也许我们对物质的兴趣要比对空旷的宇宙更大。甚至在微小的空间中，我们都可以看到几百万个星云，而在这一部分里，我们却不可能看到无数亿个星云，其中每个星云中又含有无数颗恒星。每一星云中含有的恒星如同手中满把沙子的数量，所以在这微小空间中的星云所含有的恒星的数目和全世界海滨沙滩上的沙粒数目相同。当我们把整个宇宙作为一个整体来看待的时候，我们发现我们的太阳就如同一粒沙子那样大，而我们的地球却是这粒沙子的百万分之一。地球这一极小尘埃微粒正围绕着是自己 100 万倍大的那颗沙子在运动。在整个宇宙中，无限小的物质比比皆是。我们愉快地发现，宇宙是高雅的东西，但是我们不能够自鸣得意，因为在其中我们世俗的东西却占了较大的部分。

这就是我们旅行过的宇宙。我们已经看到了宇宙过去历史的某些片段。我们首先看到的最原始的宇宙是一团混沌的气体（虽然我不认为混沌气团已经被严格地证明存在过）。这个混沌的气体逐渐浓缩并分裂成许多星云。当混沌的气体变成星云之后，宇宙即开始了它的膨胀。由于这样或那样的原因，宇宙本身在星云的形成过程中和形成之后就以一定的速度开始膨胀，星云彼此之间稳定地持续远离开。

在整个时期，星云一直以我们已经观测到的方式改变着它们的形状，并且最终分裂成许多的恒星。有一个特殊的星云是我们熟悉的许多星系，如天狼星、毕宿五、大角星座等，以及相当远的较小的明亮天体——太阳的诞生地。在遥远的过去，这些恒星和其他无数的恒星彼此之间在黑暗中运动，但最终我们知道我们的太阳漫游进了一个较大恒星的危险地带。在这个危险地带中，我们的九大行星诞生了，我们的地球也在其中。最初地球是一个简单的热气球，像现在的太阳一样，只是它相当小而已。地球逐渐冷却成液体状，直到最后形成了固体的表面；水蒸气凝结水，形成了海

洋和众多的河流。然而最神秘的是生命出现了。生命的最初形式是非常简单的，但是它逐渐地演化形成了复杂的结构。最后，其实在天文时钟仅相当于过了几分钟后人类出现了，人类开始逐步地进化到了高度文明的现代人的阶段。然而仅仅在天文钟的最近几声滴答声中人类才意识到人类本身及空旷宇宙的意义。埃及人、中国人、巴比伦人和希腊人开始反思宇宙的全部意义。仅在天文钟的最后一声滴答之前，人类发明了望远镜，并且发现了外层空间。正是在那滴答声中，我告诉给你们的所有东西几乎都已经被发现了，并且还发现了远比我所说的多得多的事情。然而随着我们对宇宙知识的不断增加，有谁能够预言在下一个滴答声中又有什么惊奇的事情要发生呢？

浩瀚的宇宙

前言

本书以通俗的语言简要阐述了当代天文学理论与观察研究的方法以及成果，并专门讲述宇宙和进化问题及宇宙的总结构。这本书也许不能全部表达我的意思，但我还是想让那些即使不具备专门科学知识的读者也能看懂。

书中有些内容与我在各大学和其他地方所作的报告大致相同，其中包括去年秋天我在无线电台的讲话。这些报告似乎应该完整地写下来，但我没有照搬原样。不过，那些让我出版这些讲稿的朋友仍能在本书中找到有关内容。

詹姆士·金斯

1929 年 5 月 1 日

天文学与其他科学一样，它
的进步提供了一系列近似真理的
真理，每一个都比前一个更精确。
我们获得的天文知识可与物理、
化学等知识互为补充。

序：天文学的研究

1610 年 1 月 7 日是人类历史进程中一个极为重要的日子。当天夜晚，帕多瓦大学的数学教授伽利略用他亲手研制的一台望远镜对准星空。

在 3 个世纪以前，眼镜发明者罗格·培根曾解释过望远镜应该做成什么样子才能“想要星星离我们多近就有多近”。他还说明把镜片做成什么形状就能收集远方物体发射到它上面的光线，这些光线经折射聚焦于一点后通过眼睛的瞳孔传到视网膜上。这种仪器可以增强人眼的视力，就像助听器能增强人耳的听力一样。助听器就是集中所有打在一个大孔径上的声波，然后将之折射并通过耳道传到耳鼓。

直到 1608 年，第一架望远镜才由弗兰德斯的一位眼镜制造者利普什(Lippershey)做成。一听到这个消息，伽利略马上着手钻研它的制造原理。没多久他做了一架比最初那台要好得多的望远镜。他的仪器在意大利引起了不小的轰动。消息很快传开，人们都在谈论望远镜的超常功能。于是，威尼斯总督和元老院下令伽利略把望远镜带来展示。之后，威尼斯的市民们看到年岁最高的参议员爬上最高的钟楼，通过望远镜观察远处海上船只的动向。若不借助望远镜，那是根本看不到的。这架望远镜能接收比裸眼所见的光还弱约 100 倍的光线。据伽利略所言，它可以使 50 英里外的物体看起来就像只有 5 英里远，看得非常清楚。

伽利略对这台新仪器如此热衷是因为有个问题曾经一度萦绕于他脑海中。2 000 多年以前，毕达哥拉斯和费罗劳斯(Philolaus)曾教导说宇宙中地球并非固定不动，而是绕自己的轴每 24 小时旋转 1 周，从而产生白天与黑夜的交替。萨摩斯岛的阿里斯塔克斯堪称希腊最伟大的一位数学家，他进一步阐明地球不仅自转，而且还绕太阳作 1 年 1 周的公转，由此而出现四季循环。

但这些学说却遭到冷遇。亚里士多德坚决反对，他断言地球是宇宙中一个固定的中心。后来托勒密解释说行星在天空运行的轨道是一种复杂的运行轨道和本轮。行星围绕运动中的点作圆周运转。这些运动中的点本身又绕固定不动的地球作圆周运动。教会赞同并积极支持这种地球中心论。对他们来说，人的生死轮回是一部伟大的戏剧，地球就是舞台，而且上帝的儿子也亲自参加演出，所以认为这个舞台不是宇宙的核心的观点是极不虔诚的。真不知道教会除了这点还能干些什么。

然而，即使在教会里，这种学说也没得到普遍认同。奥瑞斯姆(Oresme)，Lisieux 的大主教，还有库萨(Cusa)的卡迪纳尔·尼古拉斯，

都声明反对它。后者在 1440 年写道：

“长期以来，我一直认为地球不是固定的，而是像其他星体一样在运动，而且地球每绕自己的轴旋转一周就是一个白天和黑夜。”

再后来，那些持有这种观点的人惹得教会怒不可遏。1600 年，哥尔达诺·布鲁诺被烧死在火刑柱上。他曾写道：

“我一直感到，仁慈万能的上帝除能创造出一个无边的世界之外，还当再创造出一个或更多的无边世界时，他却只创造了这一个，似乎太不相称了，因此我说过还有无数个类似地球的特殊世界；和毕达哥拉斯一样，我也认为除地球这颗行星之外，还有月亮、行星和其他许多数不完的恒星，所有这些星体才是世界。”

而给予那些传统学说以最沉重打击的人，既不是神学家，也非哲学家，而是波兰天文学家哥白尼。哥白尼在他的巨著《天体运行论》中说托勒密没有必要精细到划分运行轨道和本轮结构，因为行星在天空中运行的轨道可以被简单地解释为地球和其他行星都绕着固定不动的太阳运转。这本书出版 66 年了，这些理论还在热烈的探讨之中，究竟孰是孰非仍争执不下。

伽利略已发觉他制造的新望远镜是一种验证天文理论的工具。当他将望远镜转向银河之时，一大堆有关银河本身及其结构的神话传说立显苍白无力，因为通过望远镜看到的银河只不过是光线微弱的星群，它们看起来就像撒在天空黑色背景上的金色沙尘。通过望远镜还能瞥见月亮的真貌。月亮上有山及山的阴影，这就证实了布鲁诺当初所说的月亮是一个和我们地球类似的世界。旧的传统学说认为地球是宇宙的中心，而新学说则说地球只是众星体中的一个，且像蛾虫绕着烛焰飞绕一样绕着太阳转。如果望远镜现在能以某种方式证明它有能力决定这两种学说孰是孰非的话，情况又会如何呢？

现在伽利略通过望远镜追视到木星，而且还看见有四个星体正绕着一大群行星旋转，看起来就像蛾虫绕着烛焰飞一样。他所看到的正是哥白尼想像中的太阳系，这就以亲眼所见证明了像太阳系之类的体系起码不会在宇宙构造平面图之外。然而奇怪得很，伽利略竟不能马上看出自己的发现所蕴含的意义，只是断定发现了 4 颗新的行星，它们不仅相互追绕，而且还绕着木星转。

9 个月后当他发现金星的“相”时才终于明白了。金星可能是个自己发光的星体，因它看上去整体是一个光环。如果它自己不发光，而是以托勒密所说的本轮运行，那么，如托勒密自己指出的，它决不会发生大半个表面不发光的现象。另一方面，哥白尼的太阳系观点认为金星和水星也应该和月亮一样有自己的“相”，它们闪光表面的变化过程也是以新月、半月到满月，然后再由满月、半月到新月。若金星不产生这种相位变化，就真的会与哥白尼的理论相对立了。

伽利略现在通过望远镜观察到的，也如哥白尼先前所言，就是金星经

过相变化的全过程。为此，用伽利略自己的话说：“我们现在得出了最可靠的结论，而且多亏我们还有感觉为凭。”“金星和水星以及其他所有的行星都围绕太阳旋转，这个真理一直为毕达哥拉斯派、哥白尼和开普勒所坚信，但从来没有证据来证明这种感觉，现在终于根据金星和水星的情况得到证实。”

伽利略的发现明显证明过去 2 000 年里亚里士多德、托勒密等人对这些情况的看法是彻底地错了。到目前为止，人类在估计自己在宇宙中的地位时一直自以为是、自高自大；由于长期以无限的希望为精神食粮，当科学思想不厌其烦地提供更为明了的资料时，人类总是采取拒绝的态度。然而势不可挡的事实把人类从自封的宇宙中心的宝座上推下来，重新认识到自己不过是宇宙中一颗尘粒上的居民，而且还得相应地调整自己对人生意义的看法。

这种看法的调整不是一下子就能实现的。教会利用自己的权力强加给人们的虚荣，为那些敢于关注地球在宇宙中的次要地位的人们铺了一条坎坷不平的道路。伽利略为此被迫放弃自己的信念。而进入 18 世纪后，巴黎的老牌大学教导学生说，地球绕太阳运行的说法是一种图省事的错误推想；相对新一点的美国哈佛大学和耶鲁大学则把托勒密和哥白尼的天文学体系相提并论，好像它们是一样的合理。然而人类不可能永远一叶障目。就在人们终于接受以上这些学说的时候,由伽利略 1610 年 1 月 7 日的观测引起的思想革命成为人类历史进程中的一大突变。这与抽象思想的境界完全不同，人类由此将重新理解自身的存在，并站在另外的角度去看待所有的抱负和理想。

这种现象已经不止一次地出现，借此可以说明有些兴趣为什么会在天文学方面产生。实际上，越是普通的学科就越是需要通过增添生命上的舒适和愉快，或者通过减轻痛苦和压力来体现自己的价值。那么，天文学需提供什么好处呢？对于那些遥远的星体，还不知它们对人类会有何影响，为什么天文学家们要日以继夜、废寝忘食地研究它们的构造及运行和变化情况呢？

答案看来至少是因为许多人和伽利略一样，开始猜想当今的天文学，想知道人类生命和其所在的宇宙之间的关系，还有人类历史进程的开端、意义和命运。据圣比德记载，约 12 个世纪以前，人类的生命在诗中被比作小鸟的飞行。鸟儿飞过温暖的大厅，里面的人正坐着行祭礼，而外面则是狂风暴雪的冬天。

“鸟儿暂时躲过了暴风雪，但马上又从一个冬天进入另一个冬天，而人的生命犹如昙花一现，之前或过后会是什么样，我们一无所知。所以，如果有一种新的理论能告诉我们某种特定的东西，我们似乎理应遵循它。”

这些起初是为了支持基督教信仰而说的话，可能描述的就是当今天文学的主要兴趣所在。只知道生命介于黑暗与黑暗之间的人希望在有限的生

命期内进一步地探索过去和未来。他希望看到在人类产生以前宇宙的模样，以及在最后一个人再次进入他来时的黑暗后宇宙会是什么样子。即使只是一块从未想过要涉足的土地，也希望越过下一个山峦或到一个能开阔视野的山顶看看。这种愿望不单是出于一种好奇心，更多的还是来自思想深处的某种意愿和个人的兴趣。在人类了解自己之前，得先了解一下产生自己所有感知的宇宙，同时还希望探索宇宙的时空，因为人类和宇宙本为一体。

我们也承认目前科学不可能在人的存在和命运问题上作出任何定论，但这并不说明不能去了解它所需要的最好条件。的确，科学在面临任何一个问题的时候从不会妄下结论说“是”或“不是”。当我们能以明确的方式提出问题且随便哪个答案都能回答的时候，我们基本上已经掌握了为自己提供答案的权力了。科学的进步就是靠提供一系列近似真理的真理，每个都比前一个更精确，但永无止境。比如“人类站在宇宙的哪个地方”这个问题，就从较近的时代说起：第一个答案是“在中心”。这是托勒密提供的。而伽利略则通过望远镜的观察提供了一个托勒密根本比不上的答案，大意是：“人类在宇宙中的家（即地球）只是围绕巨大的太阳运行的众多小星体中的一个。”19 世纪天文学界基本还是围绕这个答案，但有些偏颇，说：“天上有几百万颗星星，每个都和太阳类似；而且和太阳一样，其周围肯定有一个行星家族，靠太阳的光和热来维持它们上面的生命。”20 世纪的天文学界正和我们的看法一样，认为 19 世纪的说法太过分了。其实生命是极为稀有可贵的，并不是 19 世纪的前辈所随想的那样。

我们现在来谈谈 20 世纪天文学界所说的真理。毫无疑问，它不是最终的真理，但是它向前迈进了一步。如果我们没有说错的话，它比起 19 世纪所说的真理更接近事实。这不是因为 20 世纪的天文学家比 19 世纪的天文学家猜得对，而是因为他们能用更多的事实作为反驳的理由。猜测在科学研究上早就过时了。猜测最容易不过是用来取代知识，而现代科学则竭力避免猜测，除了极个别的情况，一般都要有确凿的事实，即使推理也是以事实为根据的。

当然，把刚才提到的那个问题当作整个天文学界所关心的中心问题是白费工夫。天文学方面至少还有另外三个兴趣点，即它的实用性、科学性和美感。

起初，天文学跟别的学科一样是从实用的角度进行研究的。它提供测量时间的方法，使人类能够揣测季节的变化情况，还教给人类在穿过茫茫沙漠及后来渡过浩瀚大海时如何寻路。它还假借占星术希望告诉人类自己的未来。本质上讲，它没有半点邪意，今天的天文学家大部分都是在预测与人类无关的未来天体的运行情况（这是本书关注的部分，包括预知未来的愿望和预测物质世界的最终命运）。占星术者所犯的错误是认为地球上的王国、国王和个人在宇宙结构中极其重要，以至于所有天体的运行都和

他们的命运息息相关。在人类开始认识或者说稍微醒悟到自己并非宇宙的中心时，占星术也就自然而然消亡了。

天文学实用的一面到现在已经微不足道了。国家观察台仍在播报每天的时间，指引轮船航海；但是天文学的兴趣中心已完全转移到遥远的星云上去了，它可比“报时—星星”引起的兴趣要浓厚得多。天文学家们无暇顾及星空中离我们最近的行星，因为星星实在太远了：它们的光得走几百、几千，甚至百万年的时间才能到达地球。

近来，天文学通过确立自己在整个科学体系中的地位产生了一种新的科学热点。各门学科再不是各自孤立的了：科学发现一直沿着一条延绵不断的战线继续前进，大到直径为成百上千亿英里的星云，小到直径只有几亿分之一英寸的原子粒。在天文方面获得的知识可以补充到物理和化学知识当中。反之亦然。星星早就不被看作是光点了。每颗星星现在都被当作一个超大型的试验品，它在酷热的高温下承受我们实验室远远不能达到的温度和压力，并允许我们看到其反应结果。这样一来，我们可能就会碰到一些由于有限的物理条件而被地球上的物理学家错过的物质。比如星云中存在的物质，其密度比我们地球上拥有的任何物质都至少低 100 万倍，而在某些星星里物质的密度则高出 100 万倍。我们的实验品既然只有整个宇宙的物质密度的几万亿分之一，又怎能希冀了解物质的全部特性呢？

然而，纯粹被天文学的科学性所吸引的人中，可能有一打会被它的美所感动。许多人甚至只是为了寻求知识。由于对人与动物的根本区别抱有强烈的好奇心，发觉自己对天文学特别感兴趣是因为这门学科很富有诗意和美的愉悦。他们想把自己的才能和想像力放在远离日常琐事的事物上，不必去理睬自身外面的庞大世界，从而使自己能在“漫长而又转瞬即逝的生命”里稍作喘息。对许多人来讲，天文学提供了某种幻想，离开它，人类就失去了生存的希望。

在我们继续讲述现代天文学家观测天空的结果之前，让我们先试着按正确的透视比例设想一下他们的观测立脚点。

稍后,我们将看到地球是怎样从太阳中产生的及它在 20 多亿年前的样子。我们的地球在宇宙中形成的时候是一个高温气体球，没有任何生命和立足之地。它诞生时的样子很难使我们想到如今它会是固体的，而且上面还有大海、河流、茂密的植物和运动的生命。

渐渐地，这个气体球冷却下来，先是液体状，然后就是塑胶状。最后它的外壳固化，岩石和山峦都成为它早期不规则塑胶形状的永恒见证。蒸气冷缩成液体，形成了河流和大海，同时“永恒”的气体就成为地球的大气。慢慢地，地球产生了适于生命生存的条件。至于它是怎么出现的、什么时候出现的以及为什么如此，我们都无从知道。

地球上生命出现的时间难以估计，但它似乎不会很长，只是地球存在的 20 亿年当中的一小段时间。不管怎样，至少在 3 亿年前地球上可能就有

生命存在。最初的生命完全是水生植物，慢慢出现鱼，再由鱼变成两栖动物；之后又逐渐变成哺乳动物，最后演化成人。有证据表明人的形成大约是在 30 万年以前。这样，生命在地球上才存在了一小段时间，而人存在的时间则更短。从另一个角度说，天文上的时间段很长，这是人类所说的时间段无法比拟的——人类的繁衍甚至是人类存在以来的整个历程只不过是天文表上的“滴答”一声。

在我们现代人与我们远祖类人猿之间大约有 1 万代生息繁衍。大多数类人猿的生活肯定与他们的动物祖先没有太大的区别。打猎、捕鱼和武力冲突成为他们生活的全部，没有时间和机会去用大脑思考。后来，人类开始从愚钝中清醒，随着文明的逐渐产生，感到需要的东西不仅仅是吃饭穿衣，还有占有。人类开始注意到人体的优美造型或者大海的波光倒影，并试图用精心雕刻的大理石或精选的文字来表达自己的感受。他们开始用金属和草药做试验以产生火和水的效果。他们开始去注意、去理解天体的运行，对于那些能读懂天空写着什么的人来说，星星的夕起晨落证明在地球以外的地方还躺着一个无人知晓的无垠世界。

艺术和科学也随之产生，还有天文学。我们说不出它们什么时候产生，但和人类的历程相比，它们就像是在昨天出现的；而如果跟地球的整个年龄相比，它们的年龄也不过是一眨眼的工夫。

科学上的天文学，与只盯着星星看不同，所以它的历史最多不超过 3 000 年。毕达哥拉斯、阿里斯塔克斯和其他人解释说地球绕着不动的太阳转。这个学说产生的时间更短。然而真正重要的不是人类用了多长时间开始探索宇宙结构，而是人类开始借助确凿的事实来揭示宇宙的真相。最重要的一段时间当数 1610 年伽利略将望远镜对准木星的那个夜晚。那已经过去 3 个世纪了（本书写于 1929 年——编者注）。

当我们再次以表格的形式把估计的数字写出来时，我们才开始领悟其中的真正含义。

地球的年龄	约 20 亿年
地球上生命的年龄	约 3 亿年
地球上人类的年龄	约 30 万年
天文学的年龄	约 3000 年
望远镜天文学的年龄	约 300 年

从这个表中的数字看，我们发现天文学是多么新的学科呀！它总共只是人类年龄的一百分之一，是地球上有生命存在的时间的十万分之一。地球上存在的 10 万个生命里几乎有 99 999 个不涉及地球以外的东西。而且过去的天文学是按人为时间单位计算的，就这样延续了 100 多代。也许它未来会以天文学上的时间单位计算，或者它将来会因天文方面的原因被中断也说不定。由于地球已经有 20 亿年的历史，说它包括人类和天文学在内还能存在 20 亿年也未尝不可。实际上我们会找出很多理由让地球生存更长

的时间。但如果一旦地球未来的生命需要按照天文学上的时间单位来计算的话，反正不管怎么精确，天文学尚处于最初始的阶段。这就是为什么它提供的信息没有止境的原因。——我们不是在讲一个人成熟与否，只是在说一个初生婴儿刚刚睁开双眼，头一次看周围世界。即便是这样，也比在学会看自己和周围情况之前迷迷糊糊要强。

所以我们开始学习天文学，让它告诉我们有关宇宙的事情。我们不能只局限在这一门学科里，还应顾及其他学科，如物理、化学和地理学；还有近似的学科，如天体物理学和天体演化学。它们对天文的观察可能会带来帮助。我们从中获得的信息将是零散的。如果非要把这比作什么的话，我们就把它比作许多幅犬牙交错的图案好了。假如能把所有的图案抓在手中，我们相信，它们会拼成一张完整的连续的图案。但目前这些图案还不够全。想从我们现有的不完整的一系列图案看出整幅画面的内容是不切实际的，不过起码我们可以把它们集中起来，按一定顺序排列，把明显相连的图案拼在一起。也许等所有的图案都凑齐到最后连起来的时候，我们就可以猜出完整图案所要证实的内容了。

探索太阳系、银河系的结构
及恒星的距离曾是人类探索天空
的三个里程碑。我们进而探索恒
星的质量、亮度、运行速度以及整
个宇宙空间的深度及其结构。

第一章　探索天空

人类在地球上居住了 30 万年之后,在最近的 300 年——他们在地球上生活的千分之一的年代——才拥有了研究外部空间的光学工具。本章着重描述人类用崭新的目光看空间所形成的印象。内容大致按年月先后顺序排列。这顺序是由于望远镜不断增大倍数，使我们能朝空间越看越远的顺序，因此等于是从太阳开始，越看越远。我们不打算采用任何连续性的记载，而只想提出几个里程碑来概括地表明这个顺序。人类依此顺序对宇宙观察的领域不断扩大与巩固。

太阳系

我们的第一个里程碑，或许最好说成我们的出发点，就是伽利略和他的继承者所解开的太阳系的结构之谜。

太阳的行星族很自然地分为两个截然不同的群组——4 个“小行星”水星、金星、地球和火星，它们的体积小，离太阳也近；4 个“大行星”土星、木星、天王星和海王星，它们体积大，且离太阳很远。

水星是所有行星中离太阳最近的，接下来是金星。这两颗星的轨道位于地球的轨道和太阳之间。正如从地球上看到的那样，这两颗星绕太阳的圆周相对小些，在天空中必然出现在离太阳较近的地方，因此只能在凌晨（如果它们刚好在日出前升起）及晚上（如果它们恰恰在日落后降落）作为“晨星”或“昏星”被看见。古时候的人可不是都能认清同一颗行星既能在早晨出现、又能在晚上出现这个事实的，于是给不同时间出现的它们起了不同的名字。早晨出现的金星，希腊人称作“启明星”，罗马人称作“晓星”（“明亮之星”），而晚上出现的金星，希腊人和罗马人都称之为“长庚星”。

接下来，除地球以外，从太阳朝外向空间行进的是火星——小行星的最后一颗行星。火星、水星、金星都比地球小。金星只比地球小一点点。

小行星群最外面的火星的轨道和大行星群最里面的木星的轨道之间有一条很宽的空间。这空间不是空无一物，而是布满了成千上万颗小行星的轨道。没有一颗小行星比地球大。最大的谷神星，直径只有 480 英里。直径大于 100 英里的据知只有 4 颗。水星、金星、火星在远古时期便为人知，小行星们却是在 19 世纪才进入天文学领域的。谷神星，这小行星中的第一颗，也是最大的一颗，是 1801 年 1 月 1 日由皮亚齐发现的。

小行星之外是 4 颗大行星，即木星、土星、天王星和海王星，它们一般都比地球大。最大的木星，据桑普森(Sampson)测得，直径有 88640 英里，

或者说有地球直径的 11 倍多，在木星内填满 1400 个地球后还有空隙。土星排在第二，仅比木星小，直径大约为 7 万英里。这两颗星到目前为止是行星中最大的。其他所有的行星滚成一个球也只有土星的 1/5 大。所有这些行星再加上土星也只能滚一个比木星一半稍大些的球。

尽管太阳系最外端的天王星和海王星比木星和土星小得多，但每一颗也有地球的 4 倍大。木星和土星在天空中那样引人注目，很早就为人所知了。天王星和海王星则是近期才发现的。1781 年，威廉·赫歇尔偶然地发现了天王星。当时他正毫无目的地在他的望远镜里看，希望发现天空中什么有趣的东西。与之相反，海王星却是 1840 年经数学的复杂推算而被发现的，那个时候，很多人都把这看作是自牛顿时代以来人类才智的重大胜利。荣耀应归属于两个人：一个是英国人约翰·亚当斯，他后来是剑桥大学的天文学教授；另一个是法国天文学家勒威耶。他们都认为天王星运动的过程中有一颗外部行星的引力在起作用，于是都着手计算这颗假设的外部行星的运行轨道以解释这种奇想。两个人都算出了这条重要的轨道。虽然计算不是太精确，但对于找到这颗假设的新行星在天空中的行踪是够准确的了。

亚当斯先完成这项计算，并告知剑桥的观察家们新行星应当存在的哪部分天空。而在剑桥的观察家们确认之前，勒威耶已完成了他的计算，并将结果告知他在柏林的助手加耳。他当天就确认了这颗行星，因为柏林当时拥有的探究那部分天空的星表比剑桥的要好。

早在 1772 年,圣比德就指出了从太阳到各行星间距离的一个简单的数字关系。如下所示：先写下一系列数字 0 1 2 4 8 16 32 64 128。从第二个开始，后面一个是前面一个数的倍数；然后把每个数字乘以 3，便得到 0 3 6 12 24 48 96 192 384；再把每个数上加 4，得 4 7 10 16 28 52 100 196 388。这些数字非常接近从太阳到各行星实际距离的比例（以地球的距离为 10）。这些距离是：水星 3.9、金星 7.2、地球 10.0、火星 15.2、小行星 26.5、木星 52.0、土星 95.4、天王星 191.9、海王星 300.7。

这个定律在发现天王星、小行星或是海王星之前就宣布过，因此值得注意的是，当天王星和小行星们被发现时，它们的位置竟相当准确地与预测的位置相吻合。可另一方面，海王星完全不符合这条定律。严格地说水星也不符合。因为这一系列最初的数字 0 1 2 4 8 是以人为的方式开头的。真正的算术系列应当是 1/2 1 2 4 8……每一个数是前面数字的 1 倍，这样算出的水星距离是 5.5，而实际距离才是 3.9。

到目前为止，还没有对圣比德定律作过解释。这很可能只是一种巧合，它本身就没有根本合理的解释。

最外层的行星离太阳的距离非常远。海王星离太阳的距离是地球的 30 倍，在海王星上如果有居民的话，他们只能从太阳那里得到地球上面居民所得到的阳光和热量的 9/100。

如果这是它惟一的热源，那么可以计算出海王星表面的温度会是很低的，大约为-220℃。但也可能它有内部热源，这将使它表面温度高一些。最近我们将地球上受到的木星极其微小的热量进行了测量，得知木星表面的温度为-150℃，这刚好和太阳维系它的热量相当。另一方面，类似的测量表明土星和天王星的表面温度分别是-150℃和-170℃，如果除了太阳的辐射外再没有其他热源的话，两者的温度都比预料的高些。可能因为内部热源都很小，所有的大行星都很冷，上面也不可能有大海和河流，因为所有的水都会冻成冰。大气层里也不会有雨和水蒸气。据说遮掩着木星表面的云中可能凝聚着二氧化碳的颗粒或沸点比水的冰点低得多的其他气体。

小行星的物理条件与我们熟悉的地球相似。火星比地球要稍冷一些。它的 1 天是 24 小时 37 分，只比我们的 1 天稍长些，因此它的表面也经历了温暖的白天与寒冷的夜晚的交替，与地球相似。在赤道地区，中午温度能升到冰点以上不少，可达 50 ° F，甚至更高。但就是这个地区，在太阳下山后某段时间里，温度就降到冰点以下，到第二天，气候非常冷。极区自然还更冷些，极顶峰的雪冠有些地方大约有-70℃或-94 ° F 至-126 ° F 的霜。

金星，因为离太阳最近，因此肯定比地球的平均温度高。但是因为它的每个白天和黑夜的交替都相当于地球时间的几个星期，白天和夜晚的温差就比我们的大得多，白天极热，夜里极冷。夜晚温度大约-25℃或-13 ° F。金星表面任何一点上都经历几周的严寒与几周的酷热的交替。

水星离太阳如此之近，因此平均温度比地球高得多。水星总是同一面朝太阳，就像月亮总是同一面朝地球一样。这样，不受热的一面肯定特别冷，受热面特别热。拜提特和尼科尔森推算水星受热半球的温度大约为 350 ℃或 662 ° F。这是能把铅熔化的温度。水星的另一半不受热，又是永久的黑暗，可能比我们能想像的任何地方都冷。

伽利略发现了木星的 4 颗卫星之后紧接着就发现，除了轨道在地球轨道以内的金星和木星外，所有的行星都有卫星。1655 年惠更斯发现了土卫六。它是土星、卫星中最大的一颗。到 1684 年盖斯尼又发现了 4 颗。然后间隔了整整 1 个世纪后，1787 年威廉·赫歇尔发现了天王星的两颗卫星，1789 年又发现了土星的两颗卫星。在以后的章节里我们将讨论行星的整个卫星系统以及太阳系里较小的天体——彗星、陨星和流星以及它们产生的方式。

银河系

第二个里程碑是两位赫歇尔——老威廉·赫歇尔（1735—1822）和小约翰·赫歇尔（1792—1871）对恒星的观察。就像伽利略通过观测确立了太阳系那样，赫歇尔父子着手通过观测恒星来确定巨大的恒星家族——银河系。银河系以银河为界，太阳是其中的一个成员。

在晴朗无月的夜晚，我们看到银河像一座微亮的拱桥横跨夜空，从地

平线一端伸向地平线另一端。它绕地球整整一周，但看起来只是整个光圈——银道圈的一部分。它把天空分成两个相等的部分，形成一种天（球）赤道。以它为参考，天文学家们习惯于测量天空中的经度和纬度。伽利略的天文望远镜已表明银河由一个昏暗的星群组成，每颗星都太暗，没有望远镜的帮助是无法单个看清的。正如可能预料的那样，对这条微暗星带的适当解释已被证明是对宇宙结构理解的基础。

如果恒星均匀地分散在无边无际的空间，我们无论朝什么方向看都能看到一颗星，那么天空将是一片不可忍受的强光。如果恒星在运行了一定距离后变得黯淡或是被遮住了，也许就不会是这种情况了。但即使这样，天空从四面八方看起来是一样的，因为没有理由说明为什么天空一部分的星星该比另一部分的恒星更灿烂夺目。因此，银河的存在表明星系不是均匀地无限延伸的。它必定有一个固定的结构。威廉·赫歇尔要解开的正是这个结构之谜。继他对北半天空的研究之后，就是他的儿子约翰·赫歇尔对南半天空的研究。

如果我们把天空中所有的恒星都想像成本质类似的天体，我们就会透彻地理解赫歇尔所采用的方法了。每一颗星都放射出等量的可见光，因此越近的星就越亮、越远的星就越暗，只是距离的问题。距离越远、亮度越低的道理是众所周知的。这就是“距离平方反比定律”。一颗星的距离比另一颗远 1 倍，其可见亮度为另一颗星的 1/4。以此类推。因此如果天上所有的星发出的光都相等的话，我们就能从两颗星相关的亮度估算出它们的距离。按各个恒星距离的比例把铁丝切成段，使之指向它所代表的星，我们就能做成一个天上恒星的模型。其实，除了恒星相距的比例外，我们应当了解整个星系的结构。要想表示银河中昏暗的恒星，需要大量的很长的铁丝。在模型中，这些铁丝都指向银河的不同部分，形成一个车轮样结构。

威廉·赫歇尔先生面临的更加复杂的问题是：他知道恒星本身亮度并不相同，就像它们的距离不同一样，是这两种因素结合起来才产生了不同的可见亮度。天文学家们（对赫歇尔和当代的天文学家们都一样）最困难的问题之一就是在得出任何肯定的结论之前必须先把这两种因素分清。

赫歇尔发现朝天空不同的方向看，他的望远镜视野中可看见的恒星的数量有很大程度的不同。当然，正对银河时可看见的恒星的数量最多：当镜头移出银河时，可看见的恒星数量便迅速减少。一般来说，两个离银河等距离的望远镜视野中显示的恒星数目大致相等，用天文学术语讲，星场中恒星数量的多少取决于星系的纬度，就像地球上的气候主要取决于地理纬度而不是很大程度上取决于经度一样。

从银河看，不同方向星场中恒星的质量和数量都不相同。所有星场中最亮的恒星几乎是相等的，不同的主要是昏暗的星，尤其是最暗的星，越靠近银河越多。

威廉·赫歇尔先生解释了这点，阐明在他的望远镜可及的距离内，太阳周围的恒星越来越稀疏，离银河最远的地方最稀疏。他认为银河系的总形状很像一个小圆面包、一块饼干或是一块表，靠中间最稠密，越靠外面越稀。银河的平面自然形成这个平面结构的中心。银河把天空分成几乎完全相等的两半，这个事实使他想到太阳肯定离晕轮很近。最近西尔斯(Seares)、范·利金(Rhijn)和其他一些人通过精细的观察证实了这点。根据银河两边相等距离的天空看起来几乎同等明亮这个事实，赫歇尔推断太阳不仅位于银河系的中心平面，而且非常靠近它的平面的中心。这种观点直到最近才流行，但沙普利和西尔斯二人的研究结果表明这种观点站不住脚。

■图 90 根据赫歇尔和卡普坦理论画出的银河系结构图（比例尺为光年）

图 90 是威廉·赫歇尔所设计的银河系结构的横剖面。更详细的恒星分布图是后来（1922 年）由卡普坦画的。从这个图上我们很容易看到这种结构是怎样说明天空的概貌的。一般说来，最亮的恒星是最近的星，它们离得那样近以致在这个距离内恒星看上去没那么稀。因此在各个方向上，最亮的恒星的数量是几乎相等的。那些看上去非常黯淡的星大多数是很远的，它们离我们十分遥远，这样在银河平面的各个方向上，星系们都是纵深无限的。里三层外三层、一层又一层的恒星，一个接一个没有尽头，使昏暗的恒星看上去很集中。这就是我们所说的银河。

哥白尼关于太阳系结构的观点最终能被接受，很大程度上是由于伽利略发现了木星的相似系统。木星在空中的位置恰好使地球上的观察家能够俯视它的全貌。太阳系则不然，地球上根本无法俯视它的全貌，只能从内部观察它。因此要想证实它的存在，只有发现能从外部看到它的相似系统的方法才行。

威廉·赫歇尔认为，他通过发现能够获得俯视图完完全全存在于银河之外的相似系统的类似方法来证实他自己关于银河系结构的想法。他把这些天体叫做“岛宇宙”，而且认为它们都是星云。星云看上去朦朦胧胧、模糊一片，要分辨单个的恒星是不可能的；但他相信，倍数足够大的望远镜可能做到，就像伽利略能看到银河中单个的星一样。这些天体从位置上看，被我们称作“河外星云”，但从它的大小来看，我们叫它“大星云”似乎更方便、更简洁些。

星云

望远镜镜头里展示的行星像个圆盘。把目镜扩大 60 倍就可以看到木星像月亮那么大。可是目镜扩大 60 倍甚至再多的倍数，也不能使任何恒星显得像月亮那么大。我们所能控制的任何倍数的望远镜都只能使某颗星看起来不过是一个光点。这些恒星当然要比木星大得多，但它们离得太远太远了，距离占了上风。

但望远镜能显示许多比光点大些的天体，看上去它们一般都是昏暗模糊的，因此总称为“星云”。详细的观察表明它们可分为明显不同的三类。

行星状星云

第一类的总称。行星状星云除了能像行星一样在望远镜中呈现圆盘状外，其余无一性质与行星相同。目前只知道几百个这类天体，4 个典型的天体在图 91 中表明，它们位于银河系之内，很可能有发光的大气层包围。如果是这样的话，那就证明我们所谓任何恒星在望远镜中看起来都不过是个光点的论述不能成立，我们必须声明行星状星云是个例外。

银河星云

这是第二类的总称，例子见图 92、图 93 和图 94。这些星云形状完全无规则，看上去像一缕缕巨大的发光的气体从一颗星喷到另一颗星。它们实际上就是这个样子。像行星状星云一样，它们也全部位于银河系之内，只需朝天空草草一看，也能看到每片不规则的星云中有几颗星，小小望远镜中所见星云的体积常常是无限的，因此一片星云中很可能包裹着整个某一星座。

对这些星云的物理结构几乎没什么令人质疑。恒星之间不是全空的，而充满了稀薄的气云，这气云是无法描述的。有时这种气云要比平时浓，有时又被其中的恒星的辐射照亮甚至白热化。在另一些地方，它又可能完全不透光，像一块黑色的幕布笼罩天空。不同的浓密度，不透光度和发光度结合在一起，使银河状星云在我们眼前呈现出各种奇形怪状及不同形式的光和影。

■N.G.C.2022

■N.G.C.6720

■N.G.C.1501

■N.G.C.7622

■图 91 行星状星云

这不透光度也是恒星总排列中出现一些暗斑的原因。这些暗斑最初看起来像星系中的黑洞，被描述成“煤袋”。这些空中的暗斑并不真是洞，因为很难想像竟会有那么多的空隧道穿过星星又都指向地球，所以我们只好把它们解释成无名物质组成的纱幕，是它们遮住后面的星光，使之黯淡。

河外星云

第三类星云的本质与其他星云截然不同。它的成员绝大部分有固定、规则的形状，表现出各种其他的特征使其易于辨认。根据它们发出的光的性质，它们曾被叫做“白色星云”。后来，罗斯(Lord Rosse)的 6 英尺望远镜揭示了它们中许多都是螺旋结构，因此叫做“螺旋星系”。其中最醒目的就是仙女座的“大星云”(M31)（见图 93），这是惟一能够用肉眼看到的星云。马利乌斯(Marius)于 1612 年用望远镜观测它，把它描绘成“通过鹿角看烛光”。图 94 展示的是第二个实例，可能是非常相似的结构。这

是从另一个角度观看的，看上去几乎刚好是竖着的。

目前已充分证实了所有这类星云都位于银河系之外，因此称为“河外星云”是再合适不过了。它们都巨大无比。图 93 和图 94 中所示的照片都要在高倍的显微镜下放大到整个欧洲那么大时，一些局部才可能被看见。它们总的形状与威廉·赫歇尔设想的银河相似。也因为如此，他才把它们当作“岛宇宙”。以后我们还将看到他的推测是怎样被最近的研究所证实的。

恒星的距离

1838 年为我们树立了又一座里程碑。就在这一年，恒星的距离首次得到测量。

公元 2 世纪，托勒密曾争议道：如果地球在空中运转的话，与它相关的周围的星星的位置会不停地变化。由于地球绕着太阳转，它上面的居民就处在孩子打秋千的位置上。正如一些打秋千的孩子以远处的山和云作背景，而所看到的近处的树、人、房屋都有节奏地摆动一样，他们以远处的星为背景看近处的星的位置也一定在不停地变化。但是，一个个夜晚过去了，各星座的位置都没有变。托勒密因此认为，同一颗星无休止地在同一相关位置上绕天极运转。最明显的星群，如大熊星座的七星及昂星团和猎户星座都没有变化的迹象。对于普通人的眼睛来说，星星好比油画布背景上画的闪光点，把地球作为不动的心轴，整个结构绕着它转动着。

■图 92 天鹅座里的星云

与此相反，哥白尼的理论认为由于地球年复一年地绕着太阳转，近处的星也应当以远处的星为背景在移动着。但一年年过去了，一个世纪又一个世纪过去了，这种运动并没有被探察到过。要不是有各方面的证据陆续表明即便是最近的星也是非常非常遥远的、它们会运动是不该引起惊奇的话，那么旧时托勒密认为地球是宇宙中心的理论恐怕又会粉墨登场、重占早先的位置了。如果秋千上的孩子所看到的最近的东西是在 20 英里以外，他可能就做不成这东西是否运动的见证人了。

没几颗星最亮时会比土星更亮。土星看上去与空中第 11 颗最亮的星——牵牛星差不多。而土星不过是反射太阳上的光，它离太阳那么远，所能接受的只是太阳光的一百亿分之一。如果照开普勒和其他人所坚持的，牵牛星与太阳基本相似，它的发光强度很可能和太阳一样。那么它发出的光可能是土星的 100 亿倍。换句话说，如果把牵牛星放在土星的位置上，它就会比土星亮 100 亿倍。事实是牵牛星和土星看上去差不多，这只能意味着牵牛星比土星远 10 万倍（脚注：天体的可见亮度与距离的平方成反比，即 $100\ 000^2=10\ 000\ 000\ 000$）。这个论点基本上与牛顿在他的《世界体系》一书中所说的“即使最亮的星，如牵牛星，也肯定是非常遥远的”这一论断一致。

■图 93 仙女座中的大星云(M31)

这个论点已得到证实。1838 年，当所有企图发现由地球的轨道运行引起恒星的摇摆运动（天文学术语是“视差动”）的努力都失败时，贝塞尔(Bessel)、汉德森(Henderson)和斯特鲁维(Struve)三位天文学家几乎同时测出了三颗星的视差动。这三颗星分别是天鹅座 61 号、a 半人马座和 a 天琴座。通过它们视差动的总量可计算出它们的距离，使地球上的居民从此不仅有了凭视觉看到的确凿的证据说明它们是绕太阳摇摆的，而且从这种摇摆的结果能够计算较近恒星的距离。用当代标准判断，这些计算值不够精确，但它们提供了第一个关于宇宙构成比例的确切估计值。

让我们稍停片刻来考虑一下这比例是怎样构成的。第一步，在地球表面选一条几英里长的底线，按标准码或米量出它的长度。从这条底线出发，在地球表面按大地线测绘出一条最好是南北走向的狭长带，用天文方法，比如用观察两地北极星的高度差来测量它两端的纬度差。已知地球的狭长带是多少英里，我们就能马上算出地球的体积。据海佛德(Heyford)1909 年推测，地球的赤道半径为 6378 388 公里或是 396 334 英里，极半径为 6356 909 公里或是 394 999 英里。

下一步是按地球的大小测量太阳系的大小。当月食发生时，从地球表面不同位置所观察到的月球开始遮掩太阳的时间有差异，这种时间差使我们能根据地球表面各地的已知距离计算出月球的距离。用这种方法得知月球（近日点和远日点间）平均距离为 384 403 公里或是 238 857 英里。用同样的方法，金星穿过日面也为我们按地球尺寸测定太阳系的比例提供了机会。小行星爱神星提供了更好的机会。1911 年巴黎会议确认地球近日点离太阳平均距离的最接近值为 14 945 万公里或 9 287 万英里。下一步也是最后一步是在 1838 年完成的，即将地球轨道的直径作为基线，测定恒星的距离。

■图 94 竖着看的仙女座中的星云

第一步，从标准码或米到地球表面上测得的基线，长度增长了几千倍。接下的第二步是从基线到地球直径，长度又增长了几千倍。再从地球的直径到地球的运行轨道又增加几千倍。可最后一步，从地球的轨道到星球的距离，则增加了 100 万倍。

近期的测量表明，最近的恒星比最近的行星距离地球大约 100 万倍。在离地球最近的位置上，金星的距离为 2 600 万英里，而最近的恒星比邻星则是 250 000 亿英里。它是南半天空众所周知的最亮的恒星 a 半人马座的一个黯淡的伴星。在最近位置上的行星和恒星的距离列在下面表格中。

行星、恒星与地球的距离

行	星	恒	星	
名称	距离（英里）	名称	距离（英里）	距离（英里）
金星	26 000 000	比邻星α半人马座	250 000 亿	4.27 4.31
火星	35 000 000	慕尼黑 15040	360 000 亿	6.06
水星	47 000 000	狼 359	470 000 亿	8.07
		苏格兰 21185	490 000 亿	8.33
		天狼星	510 000 亿	8.65

“100 万倍”是很难直观的，说恒星比行星远 100 万倍，也只是把太阳系与其太空最近的邻居相分隔的浩瀚空间作了个模糊的说明。或许，恒星明显的固定性给我们留下的印象更生动些。

地球以每秒钟 18.5 英里的速度绕太阳作年复一年的运转,这一速度大约是直快列车的 1200 倍。太阳穿越其他恒星的速度，精确些讲，大约是直快列车的 800 倍。广义上说，较近的行星和大多数恒星都以相似的速度运行。如果我们设想所有的天体都以完全相等的速度（就说是以 1000 倍于直快列车的速度）运行吧，那么我们就会对事实有个相当不坏的估计了。天体的距离是由其在太空中运行的速度来表明的：速度越慢，距离越远；反过来，速度越快，距离越近。现在行星在天空中运行的速度如此之快使我们夜夜，甚至时时都很容易探查到它们的行踪；而恒星运动得如此之慢，以至于没有望远镜的帮助，我们世世代代就无法观测到它们的运动。即使是最明显的、由最近的恒星组成的星座，在一整段历史时期内都似乎是固定不变的。从行星每小时都会发生位置变化和恒星整个世纪都看不出变化的鲜明对照中，我们得到了多么生动的印象：恒星比起行星来，实在是太远了呀！

想直观恒星的距离那是太难太难了。说它们最近的距离有 25 万亿英里，这很难在我们心中构成画面。但如果换成下面的说法可能容易感受些：这个距离是 4.27 光年,即光以每秒钟 18.6 万英里的速度走上 4.27 年才能到达。

光和无线电信号的速度是一样的，它们都是电干扰波，刚好是声速的 100 万倍。声波和电波传播速度的差异在一般广播过程中就能生动地体现出来。当播音员在伦敦播音时，他的声音从嘴到麦克风作为声波走 3 英尺距离花的时间比到柏林或米兰作为电波走 560 英里距离花的时间还长些。

澳大利亚的无线电听众从广播中听一场音乐会，比现场后排凭声音传送的观众还要早听到，音乐开始 1/15 秒后，音乐厅后排的观众才能听到它。无线电波和光一样，要花 4.27 年才到达最近的恒星，所以比邻星上的

居民要听到地球上的音乐会要在四年又三个月之后。最后，我们还要考虑其他更遥远的恒星。它们是那中的“马头”星云样遥远，以至于地球上的音乐从诺曼征服之前、从金字塔建起之前，甚至在人类还没在地球上出现之前就演奏了，可至今还未能传到那些恒星。

■图 95 猎户座里大星云

照相时代

如果允许我们再选一个天文学发展的里程碑的话，我们很可能选择 19 世纪近些年来照相在天文学中的应用。自望远镜发明以来，它比任何事物都更彻底地打开了天文学发展的闸门。迄今为止，望远镜在收集和折射空中的光之后已能把集中起来的光线通过人眼的瞳孔投射到视网膜上，将来它会把光投射到更敏感的照相底片上。眼睛的视网膜只能保留 1 秒钟之内的印象，摄影板却能使影像延长至几小时甚至数天以上，并永远记录下来。用眼睛测量天体间的距离只能靠一些繁杂的器械，照相底片却能自动记录距离。眼睛往往受到主观思想、急躁情绪或愿望的影响，可能出错，有时也确实犯了错误，照相机却不会说谎。

星群和双星

朝天上看一眼，或者最好看一张部分天空的照片，就会得知，除了银河里或附近昏暗的星星较集中外，天上的星星是分散在空中的。如果这些星星——明亮的也好，黯淡的也好，都是天上的胡椒瓶里随意撒出来的话，那每一小块天空看上去就没什么区别了。

但情况并不全是这样。不时地，这里或那里我们会看到一些醒目的星群，它们根本不是偶然聚在一起的。猎户座的腰带、昂宿星团、后发星座的头发，甚至大熊星座，看上去都不是偶然组成的。事实上也不是。无可非议，正是这些天然星群的存在，才是我们划分星座的基础。后面我们还要解释这些恒星的物理性质是怎样被研究的，目前我们只需说明有关物理性质的研究证实了我们的疑惑，即总的来讲，上面提到过的恒星群是真正的星族，而不是偶然汇合在一起的。任何一个星群里的恒星，比如昂宿星团，都不仅具有相同的物理性质，而且在太空中的运行完全一致，就这样永不停息地在空中遨游，相互交往。由于这样一组恒星物理性质相似又在空中结伴而行，把它们称作恒星族是再合适不过了，可天文学家们喜欢把它们叫作“运行中的星团”。

这些星族的大小不一。最小的和最普通的只有两个成员。其次，最普通的有三个成员，然后是四星族、五星族、六星族，以此类推。

让我们先把注意力投向只有两颗星组成的星族——“双星”族吧。即使天上的星星真是从胡椒瓶里随意撒出来的，机会法则也会要求一定数量的成对的星星离得很近。对任何一张星场的照片进行研究，都会发现这类成对星星的大量存在。其数量之大仅用机会法则解释是不够的。有些成对的星在一起可能是巧合，其余的要用物理原因来解释。我们隔几年对某个

星域进行拍照，然后比较这些照片便可揭开这个谜。有些原来看起来离得很近的星对离远了。这样的星对，尽管当时看上去离得很近，其实并不是这样，只不过从地球上看其中一个碰巧与另一个一致而已。另外一些星对并没有因时间的推移而分隔开；尽管两星相对位置很可能有所改变，但并不完全分开。最简单的例子是其中一个很可能绕另一个作类似圆周的运动，如同地球绕着太阳、月亮绕着地球旋转一样。确切的原因就是引力使它们保持一定的距离。

引力定律

一颗板球从你手中掉下来，它会落地。我们说球落地的原因是地球的引力在拉它。同样，一颗板球被抛向空中，它不会朝它被抛出的方向作永无休止的运动。真这样的话，它就会离开地球进入太空了。地球的引力使它免于这样的命运，它被慢慢拖下来，回到地上。我们扔球的速度越快，它落地前经过的距离越长。同样一颗球用大炮发射的话，它就要走上几英里远才能被拉回到地上。

万有引力定律操纵着所有上述现象。这道理很简单，是地球的引力使所有的物体以每秒钟 16 英尺的速度朝地球的方向回落。对于任何自由落体来讲，这都是对的。

为说明这个意思，让我们用图 96 中的大弧线 B′A′C′代表地球表面，假设从高地 AA′的顶部 A 处水平方向射出一颗子弹。如果子弹不被地球引力朝地球方向牵引，它就会沿 AB 线作无限的旅行，直至太空。如果 AB 是它在这种假想的条件下所行走的路线，实际飞行 1 秒钟末时发现子弹并不在 B 点，而是由于地球引力的牵引，在飞行过程中被拉下 16 英尺。假设 BB′刚好就是 16 英尺，则子弹在整整 1 秒钟后应击在地面 B′点上。

■图 96

另一个例子，假设子弹被拉下 16 英尺的点不是 B′而是 b 点，b 点与子弹发射时 A 点的高度相同，如果地球引力不起作用，子弹沿 AB 行走，它距地球的高度就会增加。可实际上在我们目前考虑的情况下，地球引力使子弹下落，到 b 点后刚好抵消了这种高度的增加，子弹既不能飞向太空，也落不到地上，而是不停地在同一高度上绕地球作圆周运动。

一个简单的几何算式表明：如图 97，假设 Bb 为 16 英尺，1 秒钟所行的 AB 距离就该是 25 880 英尺或 4.90 英里。（脚注：设 C 为地球的中心，bCD 为过 b 点的直径，那么 BA■=Bb×BD，已知 Bb=16 英尺，BD 比地球的直径 4 190 万英尺多 16 英尺。这样我们很快得出 BA=25 880 英尺。这个算式当然无视 AA′的高度，因它和地球的直径比起来太微不足道了。）这样一来，如果你能按每秒钟 4.90 英里水平方向发射一颗子弹的话，它就会永无休止地绕地球作圆周运动，地球的引力刚好与子弹沿 AB 线飞行的力量抵消。

■图 97

1655 年，牛顿开始怀疑，月亮没有沿切线方向朝太空跑去，而一直绕地球作圆周运动，恐怕也是地球引力所致。从月亮到地球中心的距离是 238857 英里，或是地球半径的 60.27 倍。根据它每个月（27 天 4 小时 43 分 11.5 秒）绕地球作圆周运动的长度，我们算出它运行轨道的速度是每小时 2287 英里。1 秒钟它将旅行 3350 英尺。如果保持严格的直线路线，它就会偏离地球 0.0044 英尺,这样想保持实际绕地球的圆周轨道就必须每秒钟下落 0.0044 英尺。这比地球表面上物体下落的速度慢得多。但牛顿推测当我们远离地球时它的引力会减弱。实际上，物体在地球表面下降的速度是月球在轨道上朝地球方向下落速度的 3632 倍。而 3632 正是 60.72 的平方（或 3632=60.27×60.27）。据此牛顿认为月球的下落应当恰好是引力随距离的平方的倒数而减弱的量，也就是说它的减弱要像距离的增加一样迅速。正如我们后来会看到的，天文学用无数种方法证实了这条法则的正确性。牛顿因此提出了著名的万有引力定律。根据这个定律，任何天体（比如地球）的引力都根据离此天体距离的平方的倒数减弱。C.V.博伊斯(Boys)教授和其他人在实验室里测量了几吨铅产生的引力有多少，以此就很容易计算出地球得有多少吨重才能吸引外部的天体。结果是地球的质量必须刚好是 6 000 乘 100 万乘 100 万乘 100 万吨，写成 6×10^{21} 吨。（脚注：这里,正如整本书中那样,我们用的衡制或是公制的 100 万克的吨,或 2 204.5 磅。1 英吨 2 240 磅等于 1.016 公吨。6×10^{21} 意为 6 后面 21 个零。这种缩写计法是很重要的，使讨论天文数字时更简洁些。100 万为 10^6，100 万乘以 100 万为 10^{12}，等等。类似的计法用来计算非常小的数字也很必要。10^{-21} 写成 $1/10^{21}$ 等等。这样 6×10^{-6} 就成了 6/1000000 或 0.000006。）

正如地球的引力使月球永远绕着它作圆周运动一样，太阳的引力使地球和其他行星绕着它作圆周运动。知道了任何行星的距离和它在运行轨道中的速度，我们就能算出每秒钟朝太阳方向回落的距离是多少。这就告诉我们太阳引力的量，从这个量我们算出太阳的质量肯定是地球的 33.2 万倍，或差不多是 2×10^{27} 吨。无论用哪颗行星计算，我们都得出太阳的质量相同。这不仅使我们对我们的计算结果有了信心，而且也证实了牛顿的万有引力定律，因为如果它是不准确或是错误的话，各个行星不可能给我们讲述关于太阳质量相同的故事。爱因斯坦近来表明该定律不是绝对正确的。但这不准确的量小得难以觉察，除了最近的水星以外，即使在这里，这数量也小得用不着我们为了现在的目的去考虑它。

正如我们能通过研究由太阳和地球引力或如数学家们说的引力场吸引住的天体的运动测出它们的质量一样，我们能测出靠引力使第二个小天体绕其旋转的任何一个天体的质量。靠木星卫星的运行便能测出它的质量大约是 1.92×10^{24} 吨，是地球的 317 倍，但只有太阳的 1/1047。土星的质量是 5.71×10^{23} 吨，大约为地球的 94.9 倍。

■图 98 天箭座里的三叶星云（M20）

测量恒星的质量

现在我们该来应用一下这个刚刚讲过的原则了——当我们观察到天空中有一颗星在绕另一颗星作圆周运动，我们就可通过研究它的运行轨道而测出它们的质量。总的来说这个问题并不像我们刚刚讨论过的那么简单。要想把这个问题进一步弄清，我们必须再一次讨教牛顿的数学研究。

我们已经得知，向水平方向发射一个速度为每秒钟 4.90 英里的子弹后，子弹会绕地球作无休止的圆周运动。如果我们朝其他方向以其他速度发射会发生什么情况呢？

牛顿提供了答案。他说一个小的天体在大的天体的引力下无论怎样作运动，它的轨道都是椭圆形的——一种拉长的圆或是卵形线。（脚注：椭圆最简单的定义就是移动 P 点所画的曲线〈见图 99〉。它以这样的方式移动，以至于从 S、T 两点的距离 PS、PT 的总和保持相等。实际中我们能非常容易地画一个椭圆。在画板上钉两个图钉 S、T，绳子的两端固定于这两个点，绳的 P 点上拴上铅笔，然后让铅笔绕圈，线要一直保持拉直，就能画出个椭圆。如果图钉 S、T 在画板上离得近，画出的圈就接近圆。ST 的距离和绳子其余部分 SP+PT 的比率叫做“椭圆的偏心度”。它不可能小于 1，因为三角形中两边之和大于第三边。在限定的情况下，即偏心度为零时，椭圆就成了圆。偏心角越大、偏心度越接近 1，椭圆就越长。让偏心度在 0 到 1 的范围内变化，便得出不同的偏心角，这些偏心角代表了所有小天体绕大引力天体旋转轨道的不同形状。S、T 这两点叫做椭圆的焦点。能吸引其他天体的大天体往往占有椭圆中两个焦点中的任一个。）早先开普勒就发现行星绕太阳的实际轨道不是正圆而是椭圆的，虽然从大的方面看，椭圆和圆的区别并不大；它们是数学家们所谓的“小偏心度的椭圆”。这就进一步肯定了牛顿的万有引力定律，因为如果引力不是以牛顿关于距离平方的倒数减弱的话，行星的轨道就不可能呈椭圆形。

■图 99 卵形线是一个椭圆，S、T 两点为它的“焦点”。

当天文学家研究双星在天空的运动时，一般都会发现它们所做的也不是圆而是椭圆运动。（脚注：他实际上观察到的是轨道在天空中的“射影”，可几何中众所周知的定理是椭圆形的射影就是椭圆。）这又一次证实了牛顿的定律，而且我们有权设想保持双星在一起的力和保持月球绕地球、行星绕太阳转的引力相同。通过对这些椭圆的研究，我们能算出恒星的质量。如果双星中的一个比另一个重得多，那么重的星保持静止，而轻的星则绕前者转椭圆圈，基本上与行星绕太阳转相似。这种情况在实际中是看不到的，因为双星的质量一般是相当的，这就给这个问题带来了新的复杂因素。这里没必要去探讨数学的细节，只说两颗星没有一颗是静止的就够了。两颗星画着不同的椭圆，从这两个椭圆能算出两颗星的质量。

下面这个表格所呈现的就是用这种方法算出的靠太阳最近的四对双星的质量（太阳的质量设为 1）。

靠近太阳的双星系统恒星质量

恒星	距离太阳（光年）	各星质量（太阳为 1）	光度
α半人马座 A	4.31	1.14	1.12
α半人马座 B		0.97	0.32
天狼星 A	8.65	2.45	26.3
天狼星 B		0.85	0.002 6
南河三 A	10.5	1.24	5.5
南河三 B		0.39	0.000 03
克雷格尔 60A	12.7	0.25	0.002 6
克留格尔 60B		0.20	0.000 7

我们看出这些星的质量和太阳的质量没太大差别，尽管整个太空为我们提供的范围要比表中靠近太阳的四对星大得多。可是，即使在整个太空中，也没有哪颗已知质量的星比克留格尔 60B 轻，尽管在天秤座的另一端。有许多星的质量都比我们表中的大得多。在诸多已知相当精确质量的恒星中，H.D.1337（皮尔斯的星）是最重的，它的两个成员的质量分别是太阳的 36.3 和 33.8 倍。普拉斯凯特(Plaskett)的星 B.D.6°1309 肯定还要重些，它的两个成员的质量至少是太阳的 75 倍和 63 倍，可能还多些，确切数还不知道。27 大犬星族有 4 颗星，它们的质量加在一起，根据目前可得的证据，至少是太阳的 940 倍。不过我们在接受这样一个不寻常的数字前还是慎重些为好。

上面表格中的星星的平均质量是太阳的 0.94 倍,所以太阳比它们的平均质量要重些，这点已被更广泛的对恒星质量的研究证实。

经推理，我们很可能会认为恒星的质量是各种各样的，因为没有明显的理由说明为什么不会有比太阳重 100 万倍的恒星的存在，或者它们的质量只和地球的相等或差不多。实际上我们发现恒星的质量大体上相似，很少有比太阳相差太多的。这似乎表明，恒星是天文产物中一个确定的星种，而不仅是随意的一堆发光物质。

光度

表格中最后一栏是恒星的“光度”，它是以太阳的亮度为单位，表示它们的烛光数（发光强度）。比如天狼星这一项是 26.3，说明把天狼星看成一座灯塔，它发出的光的强度是太阳的 26.3 倍。一般说来，最重的星发光强度最大，正如我们所料。但发光强度并不和它们的质量成正比。天狼星系中较重的一个是较轻一个的 2.9 倍，发光强度却是后者的 1 万倍。另外，南河三（小犬星座）中较重的一个是另一个质量的 3.2 倍，发光强度却是后者的 18 万倍。这几乎是普遍的规律。在重的恒星中每吨物质的发光

强度要比轻的恒星大得多。这是最重要的，而且又是第一眼看上去最令人费解的天体力学的事实之一：它是这样基本又这样普遍，因解释不清，所以没有哪颗恒星结构的观点能被人们接受。

分光与速度

当知道一颗星的距离后，它在天空的运行便告诉我们它是朝某一方向沿我们看到它的那条线的直角（即横过视线）快速移动，却无法得知它的速度到底是多少。我们不能看到某天体直接朝我们而来的运动；而且一颗每秒以 100 万英里朝视线方向飞驰的星看起来就像在空中静止不动似的。为了估算星星沿视线运动的速度，天文学家求助于分光镜。

所有的光都有各自的颜色。正如牛顿用他著名的棱镜分析出彩虹中阳光的全部色彩一样，分光镜从一颗星或是其他任何光源分析出各种颜色。这仪器把分析的光分散在颜色逐渐变化的一条光带（即“光谱”）上。光谱上的颜色与彩虹是相同的，而且按彩虹同样的顺序排列，即从紫到绿到橙到红。这里有个物理原因。后面我们将看到光是由系列波（波像池塘中的水被吹动时的涟漪一样）组成的，不同的波长产生了不同的颜色，红光的波最长，紫光的波最短。光谱上的颜色按其波的长短为序，从最长（红色）排到最短（紫色）。典型的恒星光谱中，某一小段颜色或波长一般说来会消失，其原因我们在后面讨论。光谱看上去有许多暗色的竖线或光带，这就形成了它的特有的模式，而不是颜色逐渐变化的那种。图 100 所示的是几个恒星光谱的例子。根据光谱的类型给恒星分类经常是很便利的。我们发现，总的来说，光谱可以按一单一系列排列，通常按字母 B，A，F，G，K 排列，M 以十进制划分。光谱的类型在图 100 上表示。

当用分光镜分析从恒星上射来的光时，发现光线或光带的模式会朝某个方向整个移动。如果这移动是朝向光谱的红端的，说明这颗星发出的光是以一种较正常状态（红的状态）到达我们；而红光的波最长，这就意味着这条光波比平时长，于是我们得知这颗星正离我们远去。同样，如果光谱模式朝紫端移动，我们便知道这颗星正在靠近我们。（脚注：光谱的移动是因天体的运动引起的，一般称作“多普勒频移”。）通过观察到的光谱位移的量，我们能计算出恒星沿视线运行的实际速度，而且算法是出奇地简单。如果光谱上的每条线或代表的波长为 1/10 000，比它平时长些，说明该星远去的速度为光速的 1/10 000，即每秒 18.6 英里。其他位移以此类推。

■图 100 恒星光谱（光谱型在左面标明）

分光双星

双星的两个成员一般说来运动速度不同，正常的双星光谱包括两条明显重叠的光谱，根据两颗星的速度显示不同的位移。通过观察到的两颗星的轨道，天文学家们能计算出它们沿视线方向运动的速度，并能预测两条光在光谱上的位移会达到什么程度。如果用分光镜分析这个星系的光，分

光镜肯定会证实他的预见。想像一下相反的过程更有意义。假设在分析一颗星的光时天文学家得到一个复合的光谱，其中两条明显不同的光在它们的正常位置上做前后有节奏的位移。有两条光这个事实告诉他，他正在分析的是双星；如果这有节奏的位移两年重复一次，说明它的轨道要两年时间才能走完；如果他直接观察研究这颗星，就发现它们确实是双星，而其中的一颗每两年绕另一颗转一圈。

■图 101 小轨道 AA ' 和大轨道 BB ' 沿视线 CE 运动的速度相同

他检查另一个光谱，发现它有节奏地每两天移位一次；直接观看这颗星，他只能看到一个光点。当然，这应当是双星，只是它们互相绕着转的时间才两天。这么短的时间，说明它们肯定离得非常近。他没必要感到奇怪，因为他的望远镜不能区分如此近的两个光点。这种星族，光谱上表明是双星，而望远镜只看到一个光点，我们就称之为“分光双星”。目前已知有 1000 多颗这样的星族。

如果这位天文学家试图单从光谱观察作一条轨道，他就会陷入困境。他的观察只告诉他沿视线的速度，而这既由实际速度，又由缩短（按透视法）的程度决定；同样的速度有可能要么从与平面几乎成直角的大的轨道上、要么从缩短的小轨道上提高。单从光谱观察很难计算出星星的实际轨道或质量。

食双星

有一个例外。假设我们看到有一颗星的光每隔一定时期就变暗，最终又恢复到原来的光度，对这种现象最明白的解释就是双星中的一个成员正在“吞食”另一个。它只发生在这颗星的轨道完全缩短、它的平面穿过或至少很接近地球。在这样的情况下，重作一个完整的轨道，据此算出两颗星的质量是可能的。不仅如此，食持续时间的长短又告诉我们两颗星的实际大小，因此可能画出它们的完整图画。图 102 显示的是两颗典型的食双星的尺寸和轨道，它们是按同一比例画的，小圈代表太阳。

■图 102 食双星的成员及轨道

在分光双星中，如果没有食发生，我们不知道该缩短多少，但是我们可以设一个平均缩短度，对每颗星的质量有个总的想法。如果我们一次设不同的缩短度，我们就会发现只有当轨道的平面被假设为穿过地球，即好像在食双星情况下所计算的轨道时才能推算出它们的质量。因此尽管我们不能发现非食双星时各成员的质量，我们却可以说明它们的限定条件即假设这个星系正出于食状态，用这种方法我们得知普拉斯凯特(Plaskett)星的两个成员分别比太阳重 75 倍和 63 倍还多。

变星

大多数星星都闪着一种极其稳定的光，所以我们能说一颗星星是许多烛光的集合体。比如说，太阳就发出 3.23×10^{27} 个烛光的光。

但是星星也有几种例外。它们的光闪烁不定，某些星星的光的波动十

分有规律，如前面提到过的食双星；不但如此，而且波动的反复期很准，可以用作钟表。有些星光的波动不太有规律，但相比之下还算得上有规律。还有一些星光的波动极不规律，但目前的情况虽如此，迟早会变得有规有矩的。我们现在讨论的重点并非不规则变星的种类。

真正有趣的是通常被称作“造父变星”的那些星星。它们是根据仙王的模样命名的。这些星星的自然概貌及星光波动的机制仍无法理解，我们就不在这儿讨论有争议的理论了。

不管它们的机制会是什么，观察已表明这些星星有某种特性，其作用很大。对此，我们不必费心去刨根问底，只要欣然接纳就够了。食双星的光的波动极其有规律，可当作钟表，尽管我们还不太清楚这些波动所遵循的机制。同样地，造父变星自身的光的波动可起到测量杆的作用，即用来测知宇宙间的各种距离。简而言之，我们所说的这种特性就是通过观察到的星光波动的情况来推测星星自身的亮度及它们的距离。

另一类变星是“长周期变星”。它和造父变星一样光闪闪，只是光的波动间隔周期不甚相同。造父变星的波动周期可能是几个小时、几天或几周，但从未超过一个月；而长周期变星的光波动周期则为一年。

图 103 中是各典型变星的光曲线图。每张图的时间走向都是由左到右。光波动曲线超过水平线越高，星星就越亮。

银河界外的一群星星叫小麦哲伦云，它里面聚集着大量的造父变星。1912 年，哈佛的勒维特小姐发现仙王座里稍亮点的星星比稍暗点的星星光波动得慢。使星光上下波动的某种物质在暗光上要比在璀璨的星光上动得快。处于宇宙不同位置的几颗造父变星的表面亮度当然一部分是靠本身，但在麦哲伦云中的星星离地球的距离却几乎相等，因此在麦哲伦云中，星星表面的亮度差肯定代表着它们自身真正的亮度差。那么勒维特小姐的发现可以陈述为造父星座光波动周期是由它内部的烛光数决定的。虽然这只在麦哲伦云中得到证实，但无论造父变星在哪儿，情况都会如此，因为我们不可能挪动星星的位置，让它们离得近点儿或远点儿，好让星光波动更快或更慢。实际上，我们是以地球为参照物来了解星光波动的情况的。

雷登(Leiden)的赫茨普龙教授和当时威尔逊山天文台的沙普利博士迅速捕捉到这一发现的内涵。如果在天空中处于不同位置的造父变星 A 和 B 以相同的速度闪烁，那么它们自身的亮度肯定相同。这样它们表面的亮度差一定和它们离地球的距离差有关。假如 A 看上去比 B 亮 100 倍，那么 B 离地球的距离肯定比 A 远 10 倍。同样，第三颗造父变星 C 离地球的距离比 B 远 10 倍，那它就比 A 远 100 倍。假如 D 离地球的距离比 C 远 10 倍，它就比 A 远 1000 倍。依此类推，我们可以继续制造和加长测量杆，直到连格外亮的星星即造父变星都看不见为止。

目前我们只考虑了造父变星的相对距离。许多较近的造父变星的绝对距离可以用前面解释过的星位方法来确定。也就是说，根据地球绕太阳运

行的结果，通过测量星星在空中的明显位移来确定它们的绝对距离。随便找一颗星作为造父变星 A，从 A 起步，我们连续从一个跳到另一个上，以此来测量天空中所有造父变星的绝对距离。

■图 103 各类典型变星的光变曲线图

以这种方式观测到的造父变星的波动周期及其亮度之间的关系（通常称为“周期—亮度规则”）为我们提供了一个范围。根据它，我们就能直接从星的光波动周期了解其绝对亮度或烛光数。造父变星就好比是建于宇宙某几处的灯塔。我们好比是航海家，根据灯塔发出的光来识别灯塔。航海家能轻而易举地从海军图上了解灯塔的光，我们同样也能从观察到的星光波动周期了解其烛光数。造父变星的表面亮度告诉我们它们离得有多远。（脚注：比如波动周期为 40 小时的造父变星比太阳大约亮 250 倍，相当于 8×10^{29} 烛光；波动周期为 10 天则比太阳亮 1600 倍，即 5.17×10^{30} 烛光……如果星空中有一天体的光波动期为 10 天的话，说明它是一颗造父变星，其实际烛光数肯定是 5.17×10^{30}。它的表面亮度假如说是 16 星等的星星亮度，除去技术等原因，那我们从它那儿接收的光就如同 10000 英里以外 1 根蜡烛的光。1 根蜡烛和 5.17×10^{30} 根蜡烛的区别相应地就是距离为10000英里和距离为$\sqrt{5.17\times10^{30}}\times10\,000$英里或$360$万光年的星体间的差异，因为星光在后两个距离上减弱。）

很难估计所有这些对现代天文学有何重要价值。但它意味着发现了一种观察宇宙（纵非整个宇宙，也应是宇宙中能看到的造父变星的那部分）的方法。实际上，最后这种保守说法大可不必，因为造父变星在星空中是自由分布的。自然，这种方法对探索宇宙深层具极高价值；而且这方面所取得的可喜成绩也令其他方法相形见绌。当我们试图测量 100 多光年的距离时，视差的方法就不能用了。根据地球围绕太阳运行的结果，星空中 100 多光年以外的星星看来只有 2 英里以外一颗钉头的大小。现代仪器再精密也难察觉它的微小运动，更别说精确地测出它的距离了。“周期—亮度”规则能测量 100 万光年的星体的距离，比起只能测量 100 光年的星体距离的视位测量法，错误率极小。

探测空间

上述方法决不失为观测空间的现代方法之一。任何一类标准天体不仅易于辨认，而且无论它们在哪儿都能发出相同光度的光，这些为测量天文距离提供了一种简易方法。因为一旦当这类星体自身的亮度确定后，类似的每种星体的距离就能从其表面亮度估算出来。

指定周期的造父变星就是这类标准星体中最引人注目的一例。还有三种星星也是这样，尽管它们不如造父变星那么有用。第一种是我们前面提到过的“长周期变星”。它和造父变星基本相似，只是光的波动慢得多。这些星星自身的亮度要比造父变星高，甚至有些是太阳光的 10000 倍。它们在非常遥远的地方也能被看见。

第二种是“新星”。天空中时不时会有一颗普通的星星突然爆发出一道耀眼强光，比它原有的光要亮 1000 倍。为什么会突然产生这种爆亮现象？众说纷纭，还没有一个令人信服的比较全面的解释。一项较新的研究提供了一些关于新星最亮时的平均亮度的信息。当新星出现在天空的不同地方时，特别是出现在河外星云里时，可以根据这些新星粗略估测恒星的距离以及星云的距离。

再有一种方法就是通过蓝星来测量。这些蓝星特别亮，其自身亮度略不相同，但差异甚小。任何一种特别的星星一般都能根据它发出的光的亮度较准确地估算其自身的亮度，具体方法后面再谈。判定蓝星的距离也因此成为可能，蓝星所在天体的距离当然也能测出来。

在这儿，我还要简单提一提其他两种不同的方法。W.S.亚当斯博士（威尔逊山天文台台长）和其他人一起发现在某类星星的光谱存在某些特性，它们能够提供这些恒星真实亮度的信息，从而根据恒星的表面亮度估算出恒星的距离。这种方法通常叫“分光视差法”。

星际空间扩散的星云物质的散射云对穿越它的光的性质有影响，所以某颗星星的光谱能够说明星光所穿过的星云的数量。这又是一种大概估计银河系内部各种星体距离的方法。

球状星团

赫茨普龙是第一个用造父变星的光度法则来估算小麦哲伦星团距离的。对该星团的研究促使研究者首先发现了这一法则。随后，沙普利用这一法则对相当神秘的球状星团的距离进行了测定。其中最典型的例子表现在图 104 中。其上大约有 100 个星团，他们除了大小不同外，看起来都非常相似。这 100 个星团看起来大小不同，是因为它们距离地球的远近不同。所以，星团基本上可以确定为体积大体相同的天体。图 104 就是那些星团图中的一幅。每一个这种星团中都有大量的造父变星。

沙普利发现最近的星团ω半人马座距地球大约是 2.2 万光年；最远的星团 N.G.C.7006 大约是ω半人马座的 10 倍，距离地球大约是 22 万光年。如此遥远的距离，用视差法测量当然是无能为力的。一颗距离地球为 22 万光年的恒星的视差轨迹的大小就好比在距离 4 000 英里的远处有一个针头大小的东西在移动。所以，地球上的任何望远镜都无法观测到这一轨迹，更不用说测量了。

仅从数字上说，22 万光年很好表示，但要体会如此遥远的距离却是不容易的。这样说吧，假如我们现在在某地用望远镜捕捉到星团 N.G.C.7006 发出的光，这光可能是它在地球上刚出现原始人那个时代发出来的。这光始终按照自己的行程，以每秒 18.6 万英里的速度，经历过无数代人的童年、青年和老年时代，它经历过漫长的史前时期，越过人类文明的启蒙时期，进入人类历史有文字记载的年代，目睹各个王朝和帝国的兴衰沉浮，直到现在才到达地球。然而，即便如此巨大的空间长度，也不能使我们认

为宇宙是有限的。就我们目前所知，大致认为银河系是有限的。

■图 104 武仙座中的球状星团（M13）（威尔逊山天文台摄）

沙普利绘出了球状星团全图，并发现它们处于一个椭圆形的区域内，位于银河平面的两侧。它的最大直径大约是 25 万光年，它的两个横向直径要小得多。太阳距离这一椭圆形区域的边缘比距这一椭圆形区域的中央更近一些。这也是汉克斯(Hanks)在 1911 年首先指出的为什么所有球状星团只出现在半个天空的原因。图 105 表示了星团的简略排列。图 106 表示银河平面，图中各小点表示各个不同的星团。这幅图展示了整个球状星团体系，这也是观测者所能观测到的天空中的银河平面全景图。除了星团 N.G.C.7006 之外，其余所有星团都位于这个半径为 12.5 万光年的椭圆形区域内，太阳到它的中心大约是 5 万光年。

■图 105 N.G.C.7006 球状星团的排列

银河系的排列

虽然沙普利关于银河系排列的看法长期以来受到各种激烈的反对，但现在渐渐清楚，沙普利所描绘的银河系中的各个球状星团的位置与它们实际处于银河系的位置是大致相同的。看来赫歇尔(Herschel)和卡普坦(Kapfeyn)认为太阳系靠近银河系中心的观点并不正确。沙普利坚信银河系中心位于天蝎座和蛇夫座的大恒星云中的某一位置，距离太阳大约是 4.7 万光年。在那里存在一个被沙普利称为在太阳周围相当明亮的恒星“局部系统”。他认为把银河主系统与“局部系统”视为同一事物的观点是错误的。很明显，这一错误导致了把银河系的结构问题搞得混淆不清。这个局部系统与主系统具有相同的扁平形状，但是它不是正好处于银河平面上，它在银河平面上倾斜大约 12 度。图 107 显示了这个系统的横断面。

■图 106 蛇夫座区（E.E.巴纳德摄）

■图 107 银河系横断面示意图。太阳位于箭头顶部。

各种各样的尝试试图估算出银河系中的恒星总数。人们一直没有搞清楚主系统和局部系统，而把主系统和局部系统当作一回事。这种错误导致以前所有的估算都极不正确。现在，这整个问题简直就像一锅粥。西尔斯(Seares)估算的恒星总数大约是 300 亿颗，但这个估算在很大程度上是夸大的猜测，即使威尔逊山天文台使用的 100 英寸天文望远镜也只能观测到总共大约 15 亿颗恒星，大部分恒星都黯淡得几乎看不见。然而可以清楚的一点是，如果天文望远镜的功率扩大，那么许多恒星的光就能被观测到，所以恒星的总数必定大大超过 15 亿颗之多。西尔斯估算恒星总数是 300 亿颗，这是根据天文观测，并采用外推法计算出来的。沙普利进一步认为银河系中的恒星可能约有 1 000 亿颗。

另一种估算银河系恒星数量的方法是测算全部恒星的质量。离银河系中心很远的恒星的轨迹一定受整个系统的引力的作用。正是这种引力阻止了恒星脱离银河系向四周飞散，这样就保证了银河系的继续存在。通过测

算太阳附近恒星的轨道速度,爱丁顿(Eddington)计算出太阳轨道内恒星的总质量大约相当于 2 700 亿个太阳，这就是说银河系内恒星的总数一定多于 3 000 亿颗。

我们再次碰到观测数量如此众多的恒星的困难。在一个没有月亮、能见度相当好的晴朗夜晚，我们大约能看见 3 000 颗恒星。假设这 3 000 颗恒星中每一颗恒星外又有 3 000 颗恒星，那么在整个银河系中我们就可以观测到 900 万颗恒星。这个数量也仅仅是用口径为 5 英寸的望远镜就能观测到的恒星的数量。我们不可能再设想以同样的方法把恒星数量再进行扩展。但如果偏要这样做的话，我们可以设想 900 万颗恒星每一颗也拥有同我们一样的天空，那么我们将得到 270 亿颗恒星，但这个数字还是远远小于西尔斯估算的数字，同样更远远低于爱丁顿估算的数目。让我们再做这样一个类比：我们把用 100 英寸的天文望远镜看到的 15 亿颗恒星比作地球上的男人、女人和小孩的总数，地球上的五大洲七大洋的每个居民——每个男人、女人和小孩都可以选择一个属于自己的恒星，然后再乘以 20 倍，就能得到西尔斯估算的恒星总数；乘以 200 倍，就可以得到爱丁顿估算的恒星总数。用这种方法，我们不必走到银河系外就可以计算出银河系内恒星的总数。

这样一来，我们仍可探索银河系以外的世界，并能发现更多更多的恒星。拥有 300 亿颗恒星或更多些的银河系并没有包容宇宙全部的恒星，这就好比一间房子不能装下全部英国人一样。这个世界还有其他许许多多的房子，还有其他许许多多的恒星家族。

河外星云

我们已谈到过黯淡星云物质，赫歇尔推测这些物质是“岛宇宙”。这些物质如装着另外一些恒星家族的其他一些房子。功率最大的现代望远镜发现这些物质至少其中一部分是由巨大的恒星云组成的。尽管这些物质是连续出现的，却像吸烟时吐出的一股烟一样，它是由微小的云状物构成的。这些云状物是可辨的粒子，所以一架大功率的现代望远镜可以捕捉到从这些星云外层区域内发出的可识别的光波微粒。星云变成了闪闪发光的粒子云，这正如 3 个世纪以前伽利略用望远镜看到的银河系那样。图 108 是图 93 左上角的一小片区域的放大图，它表示的是仙女座（M31）大星云，图中能清晰辨认出星云发散出的光波微粒。我们知道，至少其中一部分光波微粒就是恒星，因为我们已辨认出它们是造父变星，它们的光显示出和造父变星相同的潮汐形变特征。其他一些闪亮的粒子也有类似的明亮度，但明亮度的变化范围高于或低于造父变星，它们可能是其他一些普通恒星。

通过观测造父变星潮汐形变的周期，并使用其他一些方法，威尔逊山天文观测站的哈勃(Hubble)博士发现，即使这些最近的星云（如第 356 页图 118 所示星云 M33）离地球也那么遥远，距离大约是 85 万光年。仙女座大星云 M31（图 93）的距离还要远，大约是 90 万光年。这充分证实了这些

星云处于银河系之外，证明了用“河外星云”这个词是有道理的。

也许有人试图通过在每个特定的小区域内数出看得见的恒星来统计出星云中恒星的总数。其实更多的实践方法是有效的。正如我们已经假设在银河系中距中心最远的恒星也是在银河系的引力作用下作为一个整体而作环形运动的，因此我们也可以设想在星云中那些远离星云中心的恒星也是在星云的主要物质的引力作用下作环形运动的。这种作用力使得它们很难脱离星云，使得它们就像地球在它的运动轨道上围绕太阳运行一样。要是这样的话，我们就可以用得到太阳质量的方法而同样得到星云的质量。哈勃博士用这种方法测量到了仙女座大星云（图 93）的质量，它的质量是太阳质量的 35 亿倍。而图 113（见第 348 页）中室女座中 N.G.C.4594 星云的质量是太阳质量的 20 亿倍。通常，每个银河系外星云所包括的恒星看起来至少有 20 亿颗。

这并不等于说每个星云都包括 20 亿颗恒星。因为许多这样的星云明显显示它们是由巨大的恒星云组成的，而且这些恒星云还构成了一个巨大的中心区域。这个中心区域离我们太遥远了，以致用天文望远镜也不能观测到它们每个单独的恒星个体，而只能看到一片恒星。例如图 109 所显示的仙女座中的大星云的中心区域与图 108 所示的左边顶端部分被放大的比例一致，但它并不能像图 108 中所示远离中心区域一样被放大到可以看得清每个恒星个体。图 93 所示的室女座中整个 N.G.C.4594 星云同样不能被分解成单独恒星体。这些中心区域像气体一样的物质本来注定在一定时间内应形成恒星，但是直到现在还没有。我们可以在后面（第四章）找到解释这一现象的原因。实际上，我们可以确定星云是恒星产生的场所。因此，每个星云都是由已经生成的恒星和未生成的恒星组成的。所以每个星云的总质量包括已经生成的恒星质量和那些将要生成恒星的物质质量。这些质量的总和相当于太阳质量的 20 亿倍。

■图 108 仙女座（M31）大星云局部放大图（插图 93 已给出其全图）（威尔逊山天文台摄）

大约有 200 万个银河系外星云可以通过 100 英寸天文望远镜■图 109 仙女座（M31）大星云的中心区域放大图（威尔逊山天文台摄）观测到。这些星云都在太空中向四周分散，它们距离我们平均为 200 万光年。其中距离我们最远的有 1.4 亿光年之遥。

宇宙的遥远深度

这是指人类眼睛能在太空中看得到的最大距离。起初，当人们听说银河系的长度有 22 万光年时很惊愕,但是现在我们所说的距离是这个长度的 600 倍。我们能够看见的星云所发出的光朝着一个杳无人际的星球驶去，我们所能看到的这段距离只是它的 1/500。这就是人类在地球上架起望远镜所能观测到的距离。因此，它至少可以通过天文学上的计算方法表示出来。虽然只是这区区的 1/500，它却等于 1 万代人类的历史繁衍时间，而

星云发出的光的行驶全长则是人类这段历史的 500 倍，光的速度是 18.6 万英里/秒。

在 100 英寸望远镜所能观测到的有限空间中还有许多亮度很低的星云。显然，如果望远镜再大些，我们就可以看到更多的星云。人们希望 200 英寸的望远镜在不久的将来会诞生，这样我们所能观测到的太空就会是现在用 100 英寸望远镜所能观测到的 2 倍，而且所能看到的星云就会是现在的 8 倍，即 1600 万个。

宇宙的结构

我们所使用的天文望远镜功率越大，我们所看到的空间就越深邃，这个空间就似乎越变得无限广大。我们可能会问，这个空间的延伸是否真的是无止境的呢？或者，这个空间的延伸是否会有一个极限呢？

至少在一代人以后，我想大多数科学家将还不能肯定地回答这个问题。他们也许会辩解说：“只有当不属于宇宙的物质被发现后，才能证明宇宙是有限的。那种物质可能已经超出了我们的想像力，我们不知道它是什么东西。但是，我们可以假设它是这样一种物质：在宇宙之外，存在着一种不同于宇宙间物质的另一种物质，就好像有一堵墙，将这种物质与我们所处的宇宙隔离开，而我们却似乎永远不能飞越宇宙，不能穿过这堵墙到达宇宙之外的地方。所以，我们很难想像空间会以怎样的形式永远延伸下去。当然，我们更难想像有一种不同于宇宙物质的其他物质会像一道屏障一样将我们所处的宇宙与宇宙之外的另一个世界隔开。事实上，也恰恰是这道屏障阻挡了我们的想像力，阻挡了我们的想像力进入宇宙之外的另一个世界。”

争论并没有结果，也不会一锤定音。例如，地球的表面就是一个有限的延伸，只要我们愿意去做，我们可以从地球表面的任何一个地点走到任何另一个地点，而最终不会有任何我们不可逾越的屏障挡住我们。一个不知道地球表面是球面的旅行探险家可能会天真地认为：只要他作一次比一次更长更远的旅行，他就会发现更多的国家。这样的国家会很多很多，他将永远也探索不完；探险的新路会很多很长，他将永远也走不完。然而，我们知道，事实上地球上国家的数量是有限的，那位旅行家出行的次数越多，重复他原来走过的路的机会也就越多。在地球上作环球旅行表明，虽然地球表面是无限的，但地球表面的延伸却是有限的。

相对论

爱因斯坦通过发表相对论，声称在他所建立的宇宙中空间是无限的，但是空间的延伸却是有限的。正如地球的体积是有限的，宇宙的体积也是有限的。同样的道理，两者的边缘都回卷，且是封闭的。只有当我们能够把整个宇宙空间当作与地球表面一样，而不是仅仅当作一个立体状态的物质那样，我们才能细致地研究它。这也是爱因斯坦宇宙论起作用的前提。地球的体积从量上说是有限的，但是宇宙的体积与地球的体积在形成上是

不同的。假如在地球上的某一点凿一个洞，并以直线方向不停地凿下去，最终我们将能达到不同于地球的另一种物质中——进入大气层。但是，如果我们只在地球表面上走来走去，我们将永远不会进入到另一种物质世界中，而只能在地球表面上打转转。这种宇宙外的物质，就像地球表面外的物质一样，它不是地球体积的一部分，不属于地球。

封闭空间自身的这一物质，可能是光的一种波粒或射线。它不到达宇宙以外的物质层，却能无限运动下去，但是它不重复本身的轨迹就不能无限运动下去。根据这个道理，可能会出现这样一种情况，光能环绕整个宇宙运行并回到它运行的起点。所以，如果用大功率高倍天文望远镜对准夜空的某一垂直方向，我们可能会看见太阳和它周围的其他邻近星体，它们就处于这个由光环绕而构成的宇宙空间中。我们看见的，可能不是它们现在的状态，而是它们数百万年以前的状态。很久以前就离开太阳的光可能会始终环绕整个宇宙运行，而只有当它完成一周运行时，它才能被我们的天文望远镜捕捉到；然后它又开始作第二次环绕宇宙的运行。

空间曲率限制宇宙总体积的作用远大于其作为大标尺的作用。在爱因斯坦时代之前，行星轨迹、板球轨迹和各种粒子的轨迹的曲率一般被认为是由万有引力作用而形成的。相对论取消了这种纯粹想像中的假想的力，它是把各种物质的弯曲轨迹归因于它们在弯曲空间中努力保持直线运动的结果。的确如此，弯曲空间不是天文学家所认为的普通意义上的空间。它可能是纯数学上的和地地道道的假设空间。在弯曲空间这个问题上，天文学家眼中的空间和天文学家眼中的时间已不可分割地牢牢结合在一起，成为同等的物理量。可以肯定地说，一共有四个同等的物理量，前三者是普通空间的三维，即长度、宽度和高度，或者我们称之为南北、东西和上下。第四维就是通常意义上所说的时间，它最适合我们用来度量我们的空间（时间上的一年相当于空间的一光年等等），它由$\sqrt{(-1)}$乘以它本身得到。由$\sqrt{(-1)}$乘以本身得到乘积当然是最引人注目的假想，因为$\sqrt{(-1)}$是不存在的，它只是数学描述的“假想”数字。没有一个真实存在的数字能被它自身相乘而得到-1这个结果。而只有当时间被看成为假设的$\sqrt{(-1)}$年才能把空间和时间当做真实的同等的物理量。这表明同等的物理量纯粹是形式上的，它什么也不是，仅仅是数学中一个方便的假设。事实上，它不可能是任何东西，我们关于时间在本质上是不同于空间的某种物质的直觉是没有经验基础的，并且可能在此之前就消失了。关于时间的复杂性，这里不需要我们更多地去考虑。最本质的观点是，爱因斯坦的相对论告诉我们，空间就像地球表面一样，本身就完全弯曲回来，所以整个空间是有限的。

爱因斯坦的宇宙论

根据爱因斯坦自己的理论，空间的维数由构成空间的物质总量决定，存在的物质越多，空间越小，反之亦然。只有构成宇宙的物质最终不存在时，才能在文字上证明空间是无限的。空间延伸的无限性由构成其物质的

递减性决定。我们通过天文望远镜所观测到的太空以外的区域有多少物质存在，我们无法估计。但我们认为，这些空间区域的物质似乎是由较均匀分布的河外星云构成。

根据已经知道的这些物质的质量，哈勃估算太空物质的密度大约是水的 1.5×10^{-31} 倍。根据这一假设，这种物质以此种密度充斥整个太空，这其中包括我们的天文望远镜还未捕捉到的部分。我们现在能十分确切地计算出宇宙的半径是 840 亿光年，或者说是距离目前我们所能观测到的最远物质的 600 倍，环绕太空的全程是 5 000 亿光年。根据爱因斯坦的理论，我们通过天文望远镜观测到的 1.4 亿光年的太空也只是整个宇宙的一小部分，这就好像是某种物质的十亿分之一。因此，仍有大量的未知空间等待着我们去探索，这是不用惊奇的。

人类拥有天文望远镜只有 300 年的历史，而人类在地球上已经生活了 30 万年了。我们很难要求自己在如此短的时间内就探测到整个宇宙太空。我们的天文探索者们只能在地球表面对太空点进行逐一观测，他们始终不能离开地球这个圈子而到地球之外的空间进行观测。正如早期的地理学家试图通过已知的绕地球表面一周的某段弧线长度来测量出地球的大小一样，天文学家们也试图用这种方法测算出整个宇宙的大小，所以他们不停地从宇宙的一个地方观测到另一个地方，以确定宇宙的弧线长，从而测出宇宙的大小来。

认为广义相对论只是一个有趣的猜想的时代已经过去了很长一段时间。广义相对论不仅证明了行星运动现象（在此之前，牛顿的万有引力定律没能成功地解释它），而且预言了其他现象。比如在日食的时候，当太阳附近恒星的光线通过太阳的引力场时，光线会发生偏折，从而导致恒星位置的明显移动，以及恒星光谱线向红端有一些移动。当这个预言第一次提出时，受到很大程度的怀疑，但最终的结果是，通过天文观察完全证实了它的存在。事实上，这个理论已经成为我们现在研究宇宙的一个普通工具，用它能测出天狼星暗伴星的直径，同时也能用来分辨行星状星云中的恒星种类。

然而，广义相对论并不是通向爱因斯坦宇宙论的唯一道路。相对于前人它可能是正确的，相对于后人它又可能是不正确的。广义相对论虽然只认定了宇宙中的一小部分特点，但给后人开辟了一些探索的方法。这些已知的一小部分可以被分开重新组成一个整体。爱因斯坦独特的宇宙观并不能因此使他完全获得有关广义相对论方面的荣誉。事实上，爱因斯坦的宇宙论近来在一定程度上受到冷落，似乎可能被另一种宇宙论代替，那就是德·西特(De Sitter)提出的宇宙论。1917 年，他又对这一理论的具体细节作了进一步阐发。

德·西特的宇宙论

让我们首先看看这两种宇宙论本质上的差别。

爱因斯坦的宇宙论设想宇宙的大小由构成宇宙的物质总量决定。如果首先假设一个宇宙已确定，这个宇宙包括一定数量的物质，这些物质遵循某种自然法则，那么宇宙就必须马上调整自身的大小去容纳全部这些物质。或者，假设宇宙的大小和自然法则已经确定，那么创造一定数量的符合严格意义的物质就必不可少了。如果我们把以上所说的与德·西特的宇宙论相比，并允许德·西特的宇宙论有更大的发挥自由，那么德·西特的宇宙论就更复杂些。在自然法则被确定后，宇宙的大小有多种情况的可能性仍然存在，这个宇宙可容纳任何数量有限的物质。从严格的科学观点看，爱因斯坦的宇宙论比德·西特的宇宙论的臆想成分要少；进一步说，爱因斯坦的宇宙论在简单性上更有优势。

另一方面，这一简单性存在着一定价值。前面已经讲过，空间和时间作为相等的单独实体是整个相对论的基石。爱因斯坦的宇宙论的简单性在于当我们把宇宙看作一个整体时，这两个相等的单独实体就消失了。

设想是这样的：当一个人的经验被限制在宇宙中的一小部分时，空间和时间是分辨不清的；当一个人能在整个空间和时间上往返时，空间和时间就分得清清楚楚。如果这个设想有缺陷，缺陷到底有多大？现在还弄不清楚。真实的空间和真实的时间是明显可辨的，甚至即使我们否认两者的存在，它们在假设的模型中仍然清晰可辨。当空间和时间被分解成不同类型的实体，当宇宙被我们用大标尺观测时，什么样的进展才能被称得上是宇宙学上的突破呢？从某种程度上我们已经知道，因为在此之前，我们已开始用大标尺进行宇宙观测了。

这最后的问题不管怎样去回答，德·西特的宇宙论不仅在宇宙的局部，而且在宇宙的整体中都坚持了空间和时间是两个相等的单独实体，从而可能避免各种责难。当然，也可以这样理解：一光年等同于$\sqrt{(-1)}$年，前面已解释过的相等的单独实体，在正式表达中仍然可以使用。甚至在德·西特的宇宙论中，也没有假设一光年(9.46 万亿公里)和 12 个月是相等的。

虽然爱因斯坦相对论的主要理论在很大程度上已被观察到的事实所证实，但是相对论中关于宇宙的部分却没能预测一些特定现象，也不能指导直接观测。相反，德·西特的宇宙学说预测了一些特定现象。例如，所有远处天体的光谱必定红移，红移数量由天体的距离决定。一些特定光源发出的光波在宇宙的远处比近处运行慢，这些远近不同的光源发出的光波相互振动，就产生了空间和时间这两个相等的单独实体；我们所处的时间长河比任何地方的时间长河转动得都快得多。初听起来，德·西特的宇宙论似乎自相矛盾，实际上，实践检验证明它不矛盾，而是德·西特没有把我们重新带回地球中心。因为他指出，遥远星球的居民同样会发现地球上的原子比他们自己星球上的原子运动得要慢。用广义相对论中度量、空间和时间的概念，这个矛盾就能够完全解决。

光谱线红移是由距离改变而产生的这一提法是德·西特宇宙学说所特

有的。运动物体的光谱一定会显示物体运动的结果，如果某一物体背向地球退行，它的光谱就会朝红端外移。以上这些是德·西特提出的，它被所有的宇宙学家认同，它丰富了谱线红移理论。在德·西特的宇宙论中，两个天体的位移不是完全独立的，近天体趋向朝远天体更远的方向运动的特点是宇宙中的一个本质特征。在“德·西特宇宙”中，天体在时间长河中漂流并逐渐相互远离。这就好像将一捆稻草扔进河里，它们在河中漂动并逐渐散开。

所以，在德·西特的理论中，光谱线朝红端外移不能被仅仅解释为是天体运动的证据或是天体距离远近的证据，而只能是两者的结合。这并不意味着我们根据观测到的天体谱线位移而推算出星系体系中的恒星的运动速度是完全错误的。除非天体的距离远近形成了可被观察到的宇宙射线的一部分，单独由天体距离远近而产生的可观察到的天体位移是不存在的。最遥远的恒星的光谱有规则的位移确实被观测到了，但是这些恒星的数量非常有限。只有当我们观测遥远的河外星系物质时，我们才可能观测到这一结果。遥远星云的光谱一致地朝红端位移这一现象，现在仍然是天文学中的一大难解之谜。观察到的天体位移并不小，大部分位移显示的速度超过了 1000 英里/秒。在距离为 2000 万光年以外的 N.G.C.7619 黯淡星云的光谱位移显示的相应速度为 2 350 英里/秒。许多这样的星体位移速度都超过了 1000 英里/秒，我们把这些速度称为飞速周转率。德·西特的理论认为，几乎所有的河外星云都正在以可怕的、不可想像的速度远离我们而去。德·西特的理论包括以下观点：在德·西特所认为的宇宙中，星云在飞快地离我们远去，这是星云所固有的特性。如果我们不接受德·西特这一观点，我们就很难再根据他的理论提出更具简单性的观点，也就不能假设星云都有很高的位移速度。

对遥远星云光谱显示出的巨大位移现象，德·西特的理论至少作过两次解释，在没有其他理论能解释这些现象的情况下，德·西特宇宙论的正确性被认为是一种可信的假说是自然的。如果我们暂且接受这个宇宙论，那么每一个被观测到的光谱线的移动一定由以下两部分的总和构成：一个是由星云退行产生的，另一个是由星云距离的或远或近产生的。

在德·西特宇宙论中隐含了这样的假设：在时间的起点，一个星云和另一个星云之间的距离比现在它们相互之间的距离要近得多，并且星云仅遵循其发散运动的固有趋势；或者进一步说，是在流动的时间长河中遵循其发散运动的固有趋势。在任何情况下，最远的星云都将以最快的速度退行，并且显示出其退行速度与它们距离我们远近成正比例关系。哈勃先生的初步研究表明，总体上最远星云的光谱位移最大，光谱位移大小大致与星云距我们地球远近成正比例关系。如果我们认为所观测到的光谱位移完全是星云退行的结果，那么我们就能计算出宇宙的半径大约是 20 亿光年，或者说是我们可观测到的最远星云距离的 14 倍。宇宙的半径如此之大，由

星云的距离远近而产生的光谱巨大位移在这里已变得微乎其微。所以，光谱位移几乎完全由星云的高速退行造成的这一假设，似乎得到了证明。如果可观测到的星云光谱的位移与星云距离我们地球的远近严格成正比例关系，我们将对所观测到的现象得到如下一种解释：我们所居住的德·西特宇宙的半径大约是 20 亿光年。

这就绘出了一个简单的、激动人心的宇宙图景。但是还有很多理由可以证明这一假设是不正确的。首先，假如我们认为星云光谱的红移现象只是由星云高速退行而产生的结果，那么星云的运行速度和星云的距离我们地球的远近就确实没有正比例关系。麦哲伦星云的距离是 10 万光年，它的退行速度大约是 150 英里/秒，而最近的两个星云距离大约是 100 万光年，逼近地球的速度都大约是 200 英里/秒。无论我们怎样解释光谱红移现象，这两个星云都一定是以非常惊人的速度逼近我们的地球。如果光谱红移仍被看成是星云退行造成的，我们就可以根据星云退行开始发生的时间计算出时间长度。而事实上，这段时间长达数十亿年，根本就不可计数。我们将在后面（第三章）提到时间如何在恒星上留下它的痕迹。所以我们尚可这样猜测恒星的年龄：恒星的生命不是数十亿年，而是数万亿年。如果假设星云的运动仅仅是由于星云的散射造成的，那么恒星必定是生存在星云散射之前的更大的生存圈中。除非提出新的观点，否则要人们接受这样一种假说是很不可能的。

当然，我们必须坦率地承认，我们对恒星年龄的估计可能需要加以修正。事实上，它们是在以下的假定条件下计算出来的，即满足德·西特宇宙的膨胀类型没有出现过。如果不仅仅星云，而且恒星在时间的起点时都是紧紧聚在一起的，那么我们对恒星年龄的估计显然是偏短了。虽然这出乎我们的预料，甚至感到难以想像，恒星的年龄竟然会比我们估计的还要长。不管怎样，我们仍可试图获得这样一幅宇宙蓝图：设想在数万亿年以前，宇宙是由密度极大的物质构成的，这时宇宙的空间相当小，然后宇宙开始膨胀，且越变越大。这样的假说完全不能说明最近星云向地球逼近运行的现象。这一假说又衍生出其他一些没有意义的现代天文学假说。对此，我们不打算在这里过多地讨论。

在我们放弃德·西特宇宙学说之前，先让我们尝试着从另一个极端去检验飞行的结果，并假设光谱红移主要由星云距离远近引起而不是由退行速度产生。当然我们不能假设星云在整个空间没有运动。距离仅能产生谱线红移，但许多星云的光谱朝紫端位移，谱线紫移只能由于星云朝地球前行引起。麦哲伦星云和最近的两个星云离地球非常近，它们的距离很难产生可观测到的谱线位移，所以它们的谱线位移一定是由高速运动产生的，一些是因为前行，一些是因为退行，前行或退行的平均速度是 175 英里/秒，或者更多。我们可以恰当地假设：所有星云，现在和过去都是在这一规律中任意运行。当空间充满了以这样随意运动的星云，宇宙膨胀的趋势

就自动消失了。——伴星趋向于从星系中分离，但这并不是说星系会趋向使自己变成稀松状物质。如果我们现在认为谱线位移仅仅是由距离引起的，那么我们计算出的宇宙半径是 8000 万光年，或者说甚少比现在所观测到的宇宙大一半。光绕宇宙一周并返回光源点的行程大约要花 5 亿年。所以假设我们能看到比现在实际上看到的宇宙再远三四倍的话，那么，通过在宇宙中作漫长运行的光，离太阳最近的星云就能被我们观测到。

这些不是不负责任的头脑发热的幻想。这表明，在遥远的宇宙中星云 M33 和 M31 的两个暗伴星云(h3433 和 M83)可能确实是距离我们最近的两个邻居。如果是这样的话，当我们看 M33 和 M31 时，我们看见这两个天体的前面部分；当我们用天文望远镜对准相反方向观看 h3433 和 M83 时，我们看见这两个天体的后面部分。毫无疑问，这仅仅是一个猜想，而且可能是一个大胆的猜想。但是，天文学中的许多令人震惊的大胆猜想往往被证明是正确的。

在德·西特的宇宙模型里，光以无限的时间绕宇宙运行。光要做如此长距离的环行，以致不能通过观测任何物质的光来发现它们。所以，“德·西特宇宙”的物质密度等于零，它是一个有运动无物质的空虚宇宙。甚至宇宙中只要有一小点物质，光的射线的路径就会在有限的时间里围绕自身，并回到它的起始点。

“德·西特宇宙”中一个星云即使在没有引力作用下，它也不会以固定的速度运动。在这种情况下就产生了一个难题：如果运动仅仅是因为星云旋转变化产生的，那么宇宙半径越小，其旋转变化必然越大。如果宇宙的半径仅仅是我们所计算出来的 8 000 万光年，那么这些旋转变化应该大得难以看见。为什么这些星云的实际旋转并没有那么大呢？

如果宇宙的演化真是建立在德·西特的宇宙学说上，那么真理很可能在我们所谈到的这两个极端之间，而且极有可能是前者。我们可以认为，宇宙的半径至少有数亿光年，光绕宇宙一周要花几十亿年的时间。

当然，所有这些关于宇宙结构的讨论在很大意义上是猜测，但得出这样一个受到赞同的一般结论，即使我们不能看见整个宇宙，至少我们能探索宇宙中的相当大的一部分。我们的天文探险家们可能仍没有作环地球航行，他们却可能发现美洲；我们可以大胆设想，甚至我们的下一代就将完成环宇宙飞行，并且正如我们认为地球表面是有限的而不是封闭的，他们将像我们理解地球一样，容易地理解宇宙，并认为宇宙是有限的、不封闭的。

宇宙模型

我们发现，即使是观测距离我们最近的仅 4.25 光年远的恒星都是件非常困难的事。因此，我们被劝诫不要再去观测距离我们最远的、几十亿光年之遥的恒星了，不要再试图用那种方法算出宇宙的圆周长。也许我们可以试着借助于制作模型、用比例尺的方法来确定好每个恒星的相对位置，

从而得出这些距离。我们可以把比例尺定得非常小，从而避免无法表示出那难以想像的遥远距离。

地球的运行速度比快速火车的速度还要快 1200 倍,它每年以 6 亿英里的速度绕太阳运行着。让我们把这个长度用微乎其微的 1/16 英寸来表示，这个长度适合于做我们的宇宙模型的比例尺。这样，太阳就被缩小到像灰尘那么大，即直径只有 1/3 400 英寸，而地球就被缩成更小的一个点，以致用最高倍数的望远镜也看不到它。根据这个比例尺，天空中距离我们最近的恒星，即比邻星的位置就要被放在距地球点的 225 码之外。如果再把宇宙中距离太阳最近的 100 颗恒星都做在这个模型中，那么这个模型的长、宽、高都要有 1 英里。

让我们来继续制作这个模型。我们可以把恒星都不加区别地想像成一粒粒小灰尘（因为它们的大小千差万别，就像每粒尘土的大小也各不相同一样），在代表太阳的那一点附近，我们要平均每隔 1/4 英里放置一些微小的尘土。在空间的其他区域，即更远的地方，由于存在着“ 区域星团 ”，因此，紧邻着太阳的正好是天空中相当密集的一部分星体。我们继续在每个方向都再来构建我们的宇宙模型。如果我们在银河系水平面中距离长的方向来构建，那么微小的尘土就开始变得稀少起来。这时我们正在接近银河系的边际。当我们到达了最远的球状星云后，我们已在银河系中的水平方向构建了 7000 英里，而且我们仍没有走出银河系。如果我们把地球围绕太阳运行 1 周的速度用作比例尺，来表示那微不足道的 1/3 400 英寸，那么整个银河系系统就大约相当于整个美洲大陆的尺寸。在继续进行我们脑中的模型构建前，我们最好先停下来，弄清楚一粒尘土和整个美洲大陆之间的比例关系。

当我们构建完银河系统后，如果我们想继续把模型构建下去，无论怎样，我们都要在大约 3 万英里以外的地方才能再为我们的模型加上新的一点。在这个遥远的地方，我们放置一个新的恒星群，这个恒星群可能实际上比我们的银河系要小，而且结构紧密。但在这个模型中，这二者的大小和组成的恒星数量却差不多。接着，我们继续构建我们的模型——差不多每隔 3 万英里就有一个由几百亿颗恒星组成的星群——直到我们建造了 200 万个这样的星群。这个模型现在已经在各个方向上都延伸了 400 万英里，这个距离就相当于我们用望远镜在天空中所能看到的距离。我们可以把这个模型继续假设下去，但无论我们知道多少或多远——所有我们知道的，都只不过是宇宙当中的一小部分。

每个银河体系，或宇宙岛屿，或河外星云，都包括几十亿颗恒星，这几十亿颗恒星由气态物质构成。我们知道的这样的系统有 200 万个。在太空中，用直径为 100 英寸的望远镜所观测不到的还有几亿亿颗恒星，而在我们所探索不到的宇宙空间中，一定远不止这么多。用一个易于接受的方法表示：宇宙中所有的恒星数目就相当于伦敦市中灰尘的总数。想想看，

在这个巨大的城市中，太阳仅仅相当于一粒小灰尘，而地球还不及这粒小灰尘的一百万分之一。那么，我们再来设想一下在这幅绚丽多彩的图画中，我们的住所与这个宇宙其他空间之间的关系。

把伦敦市中所有的灰尘都收集起来，再把它们向各个方向散开，结果也就等于我们构建的宇宙模型了。在伦敦市内，每粒灰尘的实际平均距离只有 1 英寸的很小一部分。为了使我们的模型有一个正确的比例尺，这个距离必须增加到 1/4 英里左右。即使当我们在建造太阳周围这个拥挤部分的太空时，也要用这个比例尺。如果我们用这种方法来构建我们的模型，那么我们才会得到一幅有空间的生动画面。按这个比例尺，滑铁卢镇除了 6 粒灰尘之外什么都没有。即使这样，它所拥有的灰尘也比太空中的恒星要显得拥挤得多。在银河系中，这确实显得比较拥挤，每个恒星系统之间那巨大的空间都被忽略不计了。而在整个模型中，平均每粒灰尘与它最邻近的灰尘之间的平均距离被证实大约有 80 英里。整个宇宙的主要组成部分其实不是恒星，而是广阔的空间——宇宙中除了偶尔的一颗恒星外，是难以想像的大量的在不断地延伸着空寂的空间。

让我们想像在宇宙中、在太阳附近的某一个地方设立一处观测站。在那里，我们可以看到恒星以 1000 倍于快速火车的速度通过我们。如果宇宙中真的被恒星充斥着，那么我们的观测站就不那么令人向往了，因为那就像坐在 Regent 街中心看拥挤、繁忙的车辆从我们身边擦过一样——虽然这种刺激能使我们变得勇敢起来。然而，一项确切的统计资料表明，恒星的运行速度其实一点也不快，以至于我们为了要看一颗恒星运行到我们这里就要等上 100 亿亿年。这项统计从另一个角度表明，任何一颗恒星想要撞上另一颗恒星要在 100 亿亿年之后。再者，恒星在太空中的运动是无规律的，那些盲目的热心者们所担心的恒星相撞的可能性其实是非常非常少的。我们可以预测，在未来的宇宙探索中，这种观念将最具有深远的意义。

我们对宇宙的探索深入到微
观世界，进入分子、原子、原子核、
光子等领域，目的是为了探讨辐
射的本质，研究各类星体能量的
损失及其物质的湮灭。

第二章　探索原子

目前，我们对宇宙的探索已不仅仅局限于对人类的研究，而发展到更广阔的太空领域。与此相比，对人类以及人类在太空的家园——地球的研究显得有些微不足道。然而我们只是研究了宇宙全部内容的一半，还有另一半，即微观世界在等待着我们去探索。直到我们将观察深入到物质的最小单位时，才真正地欣赏到这个无穷世界的另一半。这种观察现在虽然取得了很大成果，但也只是现代物理学的初步工作而已。

现代天文学为什么对宇宙另一范围如此关注？回答是：这些恒星不仅仅是惰性物质，也是正在放光散热的机器。这些光和热使我们看到了它们。通过研究这些光和热的产生和发射到地球的方法，我们更好地了解它们的作用，了解到现代物理学的核心。在这本书中，我们不想包罗这一新知识领域的全部内容，我们只关心那些能解释天文现象的部分。

早在公元前 5 世纪，希腊哲学就在宇宙最终基本物质是可分割的还是不可分割的问题上受到了检验。站在海岸上，我们可以看到周围一片片沙滩。初看上去，其结构连绵不断，好像是个整体，但近处一看，发现它们是由单个粒子组成。我们面前波滔汹涌的大海，其结构也是连绵不断的，而且我们无论用什么方法也无法将它们分开。然而它们是由无数水滴组成，而且每颗水滴都可以永远细分成更小的水滴。这个细分的过程好像可以持续不断地进行下去。实际上，希腊哲学家们广泛争论的问题是海水和沙滩是否真正呈现出宇宙间物质最终结构的真实情况。

德谟克利特学派的代表人物留斯帕斯和留克利希阿斯相信终极可分性理论。他们认为任何物质细分到足够次数之后，人们就会发现它们是由坚硬的单个不可再分的粒子组成。就粒子来说，沙子的终极结构概念要比水更好理解一些。水只要细分到一定程度，也可以表现出和沙子一样的粒子特点。现代科学充分肯定了这种直观推测。

实际上，人们只要认识到薄层物质所表现出的特点与较厚层物质所表现出的特点不同，这个问题就可以得以解决。例如，一层黄沙均匀地铺在红色地板上，只要有足量的沙子，沙层最少一个沙粒厚，就可以使整个地板呈黄色。假如只有一半那么多沙子，就不可避免使红色显露出来，因为不可能将沙子铺半个沙粒厚。沙层的这种性质是沙子粒状结构决定的。

人们发现薄层液体也有相同的变化特点。一茶匙汤可以盖过汤盘的底部，一滴汤只能形成一个不整齐的斑点。所以在有些情况下，通过液体不同厚层的变化特点可准确地测量出薄层的厚度。1890 年雷利发现，浮在水

面上的橄榄油薄膜只要减少到百万分之一毫米（1/25000000 英寸）以下，其性质完全发生变化。无数方法都可以证实这个解释：橄榄油是单个粒子组成，它们就像沙堆中的沙粒一样，每个粒子直径大约为 1/25000000 英寸。

所有物质都由这样的粒子组成。我们称之为分子。物质常见的性质就是分子组成层厚度的反应。小于单个分子的层厚度只能由物理学家在实验室中才能了解到。

分子

我们怎样才能将一种物质分解成最小的粒子或分子呢？对科学家来说，这很容易。不断地细分水就可以得到不可再分的粒子。

实际上，这是个十分简单的过程。在一杯水下面慢慢地加热，水开始蒸发。这意味着水正在分解成单个的分子。如果把这杯水放在高度灵敏的弹簧秤上，会看到水蒸发过程不是一层一层连续蒸发，而是跳动性地一个分子一个分子蒸发的，会看到水的重量在跳动式地变化。每一跳代表着一个单个分子的重量。杯子里的水代表着水的总体数，而不代表着单个分子的数。假如杯子里的水是以单个分子存在的话，它们不会在蒸发的过程中起到作用。

气体状态

蒸发时，从水表面逃逸的分子构成水蒸气。气体是由大量分子组成，彼此间独立，到处乱飞，只是偶尔瞬间相撞，造成彼此的运动干扰。分子间彼此运动干扰明显与它们的体积有关。分子越大，彼此相撞越频繁，运动干扰也就越大。实际上这种干扰向我们提供了估计分子大小的最好方法。分子非常小，普通分子直径大约为一亿分之一英寸。一般说来，和我们估计的一样，分子越简单，直径就越小。水分子直径大约为一亿八千分之一英寸(4.6×10^{-8}cm)，比较简单的氢分子只有一亿分之一英寸(2.7×10^{-8}cm)。不同领域的研究都认为分子的直径相近，这事实向人们提供了分子确实存在的最好证据。

分子非常小，也一定非常多。1 品脱水含有 1.89×10^{25} 个分子，每个分子重为 1.06×10^{-24} 盎司。如果把这些分子头尾相连形成 1 条链子，它可绕地球 2 亿圈。如果把它们分散在整个地球表面，每平方英寸将有 1 亿个分子。如果把它们当成种子，以每平方英寸 1 亿个分子标准播撒，整个地球所需的全部种子，1 个装 1 品脱水的容器就能装下。

分子运动速度非常快。在普通屋子的空气中，分子运动的平均速度为大约 500 码/秒。这近似于来复枪子弹的发射速度，但一般比声速要快。由于在日常生活中非常熟悉声速，所以很容易在我们头脑中形成分子在空气中运动速度的概念，因此用分子速度和声速相比不全是偶然的。声音的传播是一种干扰现象。分子彼此相撞，一个分子将干扰传给另一分子，很像信息传递接力，由一个人传递给另一个人。也很像古希腊火炬传递接力。

通过彼此间撞击，信息就向下传递。如果所有分子的运动速度和运动方向完全一致的话，则声音的传播速度就和分子的运动速度一样。然而，有很多分子运动时偏离自己的运动路线，虽然普通空气中单个分子的平均速度约为 500 码/秒，但声音真正向前传播的速度约为 370 码/秒。

分子高速运动使得气体产生高压。任何与空气接触的表面会受到一阵阵运动速度像子弹似的分子的压力。例如，火车汽缸中的活塞每秒受到约 14×10^{28} 个分子的轰击。无数颗小子弹不停地轰击，推动活塞运动，驱使火车前进。我们每吸一口气，就有数百亿个分子进入我们体内。而且每个分子都以 500 码/秒速度运动着，不断地冲击着我们的肺壁，使得我们的胸腔不被压扁。

空气实际上就是许许多多永不停止的分子像子弹向四面八方到处乱飞，彼此之间经常相撞。在普通空气中每个分子与其他分子每秒相撞 30 亿次。在连续相撞的情况下，分子平均运动距离只有约 1/16000 英寸。如果我们压缩一种气体，增加其密度，使更多的分子拥挤在一个特定的空间，它们彼此的碰撞就更频繁，运动距离就会更短。相反，减少对空气的压力，降低其密度，分子彼此之间的碰撞就会减少，运动距离就会加大。我们称之为“自由行程”。目前只有在实验室里才能获得最低真空。在这种条件下，虽然每平方英寸仍有 6000 亿个分子，但它们的运动距离可达到 100 码而不与任何分子相撞。

在天文条件下，可达到更低的真空。在某些星云间分子运动距离可达到数百万英里而无碰撞现象，但是很少有分子在这样的特定空间运动。

人们可能会认为飞行中的分子一旦相互碰撞会很快静止下来。子弹毫无疑问是这样的，但空气中的分子并非如此。

能量

子弹装填火药的多少是测量子弹运动能量的标准。发射一颗 2 倍重量的子弹，需要装填 2 倍的炸药。因为子弹或任何运动物体的运动能量和其重量成正比。但是，发射同一颗子弹使其具有 2 倍的运动速度就不是装填 2 倍的火药了，而要装填 4 倍的火药。因为运动物体的运动能量与其速度的平方成正比。有经验的司机都知道，10 英里/小时速度的汽车在 10 英尺内可以刹住的话，时速为 20 英里/小时的汽车在 20 英尺内是刹不住的，而需要 40 英尺。2 倍的速度则需 4 倍的距离。因为 2 倍的速度代表着 4 倍的运动能量。一般来说，无论什么运动物体其运动能量都与物体的质量成正比，与其运动速度的平方成正比。（脚注：这可以用数学公式 $\frac{1}{2}MV^2$ 来表示一个质量为 M、运动速度为 V 的运动物体的运动能量。如果 M 用克表示，V用厘米 / 秒表示，这个运动物体的运动能量为 $\frac{1}{2}MV^2$ 尔格。1尔格等于一个2克的物体〈$\frac{1}{2}M=1$〉以1厘米 / 秒的速度运动的能量。例如，

列 300 吨〈3×10^8 克〉重的特快列车，运动速度为 60 英里/小时〈2682 厘米/秒〉，运动能量为 1079×10^{14} 尔格。一颗重 1 吨的炮弹运动速度为 1520 英尺/秒，其运动能量也是一样。）

19 世纪物理学方面的伟大成果之一就是建立了著名的“能量守恒定律”。能量可以某些形式存在，可以无止境地从一种形式变为另一种形式，但它绝不会消失。物体处于静止状态时，该物体的能量不是消失了，而是变成了另一种形式。当子弹击中靶子后处于静止状态时，其部分运动能量使靶子变热，部分能量使子弹变热乃至熔化。其新的热能形式具有的能量和该子弹的运动能量是一样多。

根据同一原理，能量也不能创造。现有的所有能量一定是有始以来就存在的。尽管原来的形式与现在的形式完全不同也是如此。例如，火药存有大量的化学能，我们必须谨防这种被抑制能量突然释放而造成破坏。如含有巨大能量的容器爆炸会将很多东西崩上天。实际上，枪就是一种将火药能量释放并尽可能将其转化为子弹运动能的设备。射击打靶时，存在于火药中的化学能转化成规定的能量（这取决于火药装填情况），首先将它转化为子弹的运动能（最小程度地转化为枪的后坐力），最后转化为热能。这种热能部分消耗在子弹上，部分消耗在靶子上。这里提出了能量的三种不同形式。宇宙间所有生命都可以看成是各种形式的能的体现。宇宙间所有变化都可以看成是能从一种形式变成另一种形式，但能量是不变的。这就是伟大的能量守恒定律。

热

让我们进一步研究一下热。当我们想使屋子变得暖和时要生火，使储存在煤和木头中的化学能释放出来，或者打开电热器，让电流将远处电站燃烧煤而释放出的某些能传导给我们。热到底是什么呢？它又怎么成为另一种能的形式呢？

不管气体、液体还是固体，热只是单个分子的运动能。当我们给屋子加热时，空气中的分子运动加快。物质的全部热量就是指组成该物质所有分子的能量。给自行车轮胎打气，是迫使气筒活塞向分子运动的反方向运动，将空气的分子挤出气筒，加快分子运动的速度。分子运动速度的增加产生了热能。将温度计插入气筒中就可证实这一点。更简便一些，用手一摸就会感到气筒变热。

固体物质分子不具备更多的能量。其运动速度很慢，致使这些分子很少改变其相对位置。左邻右舍分子相互牵制很牢固。它们的运动能量很小，无法摆脱彼此的束缚。如果给固体加热，其分子就获得了更多的能量，运动速度开始加快。一段时间后，它们就可以摆脱邻近分子的牵制，每个分子都具备随意运动的足够能量。这时分子以独立形式自由运动，彼此相撞，冲挤着自己的运动道路。此时物质呈现出液体状态。为了说得更明确一些，我们可以冰融化成水为例：其稳固的牵制变得松散，分子可以自由地通过

其他分子。此时每个分子仍对邻近分子有束缚作用，但这种束缚力已不足以阻止其他分子运动了。对液体进一步加热，分子运动速度就会进一步加快，致使分子完全挣脱彼此间的束缚而自由地在空间飞行，变成了气体。继续再热，会使整个物质变成气体状态。再继续加热，只能使分子飞行得更快，增加其运动能量。

气体分子的运动能量与空气温度成正比。实际上这也是我们定义温度的方法。但这种温度不能用普通的摄氏或华氏来度量，而要用所谓的“绝对温度”。绝对温度的零度为-273℃或-469°F。绝对零度是最低温度，是物质不可能再有能量损失时的温度。在实验室中我们只能达到绝对温度大约 1 度。这时我们会发现这种温度可以将气体氢，甚至最难控制的气体氦冻成固体。温度计放在远离任何恒星的星际间，温度也只能达到绝对零度以上 4 度左右。更低的温度必须在超越银河系限制下才能达到。

分子碰撞

我们可以想像出空气中两个分子碰撞的情况。在战场上，子弹碰撞可以将其运动能转化为热能。它们会变得越来越热，以至于将其熔化。那么，分子是怎样从运动能转化为热能的呢？对分子来说，热能和运动能并非是两种不同形式的能，它们是一码事，热能就是运动能。全部能量都是守恒的，也不会出现什么新的形式。当两个分子碰撞时，最有可能发生的是一定量的运动能发生转换。比如，两个分子碰撞前运动能是 7：5，碰撞后可能变成 6：6，或 8：4，或 9：3，或者其他的一些组合。但它们的运动能加起来一定是 12。

每次碰撞都一样，能量既无消失，也未增加。分子会永远不停地飞行，不断地碰撞，而且碰撞间不会造成任何损害。根据它们之间的碰撞和变化，运动能或上升或下降，或下降或上升。人们最关注这种波动性的变化而不是能量的损失，因为分子运动是永恒的。

原子

气体状态中，每个分子都保持其原来固体或液体物质的化学特性。例如，水蒸气分子可使盐或糖变得潮湿，它和水一样易和那些高度吸水物质，如生石灰或氯化钾结合。

分子可否进一步分裂呢？留克利希阿斯和他的前人肯定会说“不行”。然而一个超越他们知识范围的很简单的实验可以证明他们是错的。

我们将普通电铃的两条导线放入一大玻璃杯水中，两头相对向下。人们会发现有气泡聚集在两条导线上。化学检测证明，这是两类性质完全不同的气体。两者不可能都是水的蒸气，而实际上两者都不是水的蒸气。一种气体被证明是氧，另一种是氢，而且发现其中氢是氧的两倍。由此可得出结论：电流将水分解成 2 个氢和 1 个氧。这些由分子分解出的更小的单位叫“原子”。每个水分子都是由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成。化学公式是 H_2O。地球上所有物质——鞋、船、封蜡、白菜、国王、木匠、海象、

牡蛎，总之我们能想到的一切东西都可以用这种方法或那种方法将其分解成原子。人们可能会认为地球上有极其丰富的各种各样的物质，从这些物质中会发现惊人数量的不同种类的原子。实际上原子的种类很少，所有物质中都有许多相同的原子。我们在地球上发现各种各样的物质，但它们并非由各种各样原子构成的，而由几种原子用各种各样的方法构成。就像画油画一样，三种颜色组成自然界几乎所有的颜色。至于那些陆地和海洋中从来没有的颜色就更不屑一提了。

对地球上所有已知物质进行的分析表明，迄今（编者注："今"指 1929 年）我们只揭示了 90 种原子。大概有 92 种原子存在。我们有理由认为仍有两种或更多一些原子有待我们去发现。即使这已知的 90 种原子，其中大多数是异常罕见的。组成最常见物质的原子大概有以下 14 种：氢(H)，碳(C)，氮(N)，氧(O)，钠(Na)，镁(Mg)，铝(Al)，硅(Si)，磷(P)，硫(S)，氯(CI)，钾(K)，钙(Ca)和铁(Fe)。由此可见，拥有无穷变化物质的地球就像是一座用非常标准的砖——原子建造起来的建筑物，其结构中真正最多的砖只有 14 种，其他的砖也有，只是太罕见了。

光谱仪

如用重锤敲钟会发出特殊音调那样，各种原子放在火上，或电弧中，或放电管中，都会放出特殊颜色的光。牛顿让阳光穿过棱镜，发现太阳光是由各种光组成的彩虹。用同样的方法，现代光谱学家用更精密的仪器可将任何一种光分解成构成这种光的组合颜色。这种彩虹之所以产生、形成一种光谱，是由光（或暗光，或光带）相交而成的。天文学家可用这种光谱来确定恒星离去或靠近的速度。通过这种光谱检测，技术高超的光谱学家可以马上告知此种光的原子类型，因而分光试验成了对现有物质最为精确的试验方法。

这种分光分析法决非仅局限于对地球上的物质。1814 年夫琅和费重复牛顿对阳光的分析实验，从中发现其光谱是由某些暗线相交而成。这就是人们所知的夫琅和费谱线。这位光谱学家可以毫不费力地解释这些暗线。它表明阳光中存在着地球上常见的一些元素：氢、钠、钙和铁。这些物质的原子吸收了所有颜色的光，所以夫琅和费谱线没有反映在太阳光谱上。现在人们知道太阳光谱要比夫琅和费所想像的要复杂得多。太阳发射的所有光线中的原子都可确认是地球上已知的原子。太空中所有恒星的光也是如此。这足可作出结论：整个宇宙都是由 90 种或 92 种地球上已发现的原子组成的。但目前还没有完全证实这一点，因为我们从太阳或其他恒星所接受的光仅来自于它们最外面的表层，没有任何有关于这些恒星内部各种原子的信息。实际上，我们对地球内部的各种原子也不甚了解。

原子结构

直到最近，人们才认识到整个宇宙都是由永恒不变的原子构成，宇宙间的所有变化都是这些原子重新组合的结果，就像小孩玩积木，可以依次

建造很多的建筑。到了 20 世纪才基本打破了这个概念。

上个世纪末，克鲁克斯、雷纳德，尤其是 J.J.汤姆生开始分裂原子。2000 多年来一直被认为是宇宙不可再分的粒子，突然从其结构中分割出一些碎片。1895 年，汤姆生指出这些碎片不管来自什么原子都是完全一样的。它们有相同的质量，带相同的负电荷。正是因为这个特点，它们被称为“电子”。但是，原子不可能只由电子构成而无其他东西。每个电子带一个负电荷，一个只由电子组成的结构只能带负电荷。两个负电荷是相排斥的，两个正电荷也是如此，只有一正一负才能彼此吸引。所以不管什么物质或什么结构，或是带正电荷，或是带负电荷，或者是不带电荷。观察表明，一个完整的原子是完全不带电的。因此，可以推断在原子的什么地方一定还有一个正电荷，其正电荷量可以中和所有电子的负电荷总量。

1911 年，卢瑟福和其他人做了一系列实验，揭示了原子结构。如下面所看到的那样，自然界本身有很多运动速度非常快、带正电荷的小粒子，即放射性物质放射出来的 a 粒子。简单地说，卢瑟福的方法是将这些粒子放射到原子中去并观察其结果。他获得令人吃惊的发现，绝大多数轰击粒子可直接通过原子，好像原子根本不存在，好像轰击在幽灵上似的。

然而原子也不总像幽灵。很少一部分轰击粒子，可能有万分之一的粒子偏离自己的运动轨道，好像碰撞到了什么相当巨大的东西。数学计算表明，这个障碍可能就是未被发现的正电荷。

通过对这些轰击粒子运动路线的研究，证明原子的正电荷一定集中于一个单独的、非常小的空间里。它只有一万亿分之一英寸大小数量级。由于卢瑟福提出了原子结构观点，因此这个观点永远和他的名字连在了一起。他推断原子的化学性质及特点都归于这个很重但很小的带正电的中心核子。在其周围有带负电荷的电子沿轨道运动。据推测这些电子在原子中是运动的。这一点很重要，不然由于正电对负电的吸引会将电子吸到中央核子里，就如地球不沿轨道运行就会被太阳吸去一样。简言之，卢瑟福认为原子结构和太阳系结构一样，很重的中央核子起着太阳的作用，电子就像是众行星。

电子虽然沿很小的轨道运行，但速度是十分惊人的。电子每秒绕原子核运动数千万亿次，相当于每秒数百英里。它的运动速度比行星快，甚至超过恒星。

为了消除中央核子周围的空间、防止其他原子靠近，电子运行轨道决定了原子的大小。电子所保持的畅通无阻的空间要比电子总体积大得多。大致地说，两者体积的比相当于战场和子弹的比。半径大约为 2×10^{-8} 厘米的原子是半径为 2×10^{-13} 厘米单个电子的 10 万倍，体积相当于后者的 1000 万亿倍。虽然原子核质量是原子中所有电子质量总和的 3000 至 4000 倍，但体积最大也就相当于电子大小，甚至可能比单个电子还小。

我们已对宇宙巨大的真空空间作了解释。假如在宇宙空间随意找一

点，它要比被一颗恒星所占据的空间大得多。太阳系的绝大部分也是真空空间。在太阳系中随意找一点，其空间也要比被行星，甚至彗星、陨星或其他星体所占据的空间大得多。现在可把宇宙真空空间概念扩展到宇宙物理学中：在原子内部任选一点，其空间与其中粒子相比也要大得多，其数量级最少是数万亿比一。我们可以想像一下，偌大的滑铁卢火车站的空间里有 6 个粉尘粒子。这就相当于，更确切地说，这完全相当于我们这个布满恒星的太空空旷程度。同样，几只在滑铁卢车站到处乱飞的黄蜂，就如同碳原子中的 6 个电子，其余的全是真空空间。我们将整个宇宙结构从星云和星际之间的巨大空间转到微小的原子结构上去，呈现在我们想像中的空间虽然很小，但都是未被占用的。我们生活的这个神秘的宇宙中有极其丰富的、各种各样组合的物质。

原子序数

原子中沿轨道运行的电子的数目被称为原子序数。除了序数为 85 和 87 的两种原子之外，现已发现序数中从 1 至 92 的所有原子。这两原子序数的原子完全可能存在。正如所估计的那样，可能就有 92 种“元素”，原子序数从 1 至 92 连续排列（编者注：现已排至 109）。

原子序数为 1 的原子是最简单的原子，即氢原子。它只有一个电子绕原子核旋转。该原子核正好带一个符号相反、重量相等的正电荷。

序数为 2 的是氦原子。原子内有 2 个电子绕原子核旋转。氦原子核虽带 2 个正电荷，但其质量是氢原子核的 4 倍。序数为 3 的是锂原子。它有 3 个电子绕原子核旋转，电荷是氢原子电荷的 3 倍，但质量是其 6 倍。以此类推，直至铀。铀是地球上已知最重的原子。它有 92 个电子绕原子核作轨道运行，质量是氢原子核的 238 倍。

放射性

当人们忙于分裂原子时，自然科学开始发现原子核本身也不是牢不可破的。1896 年，白克瑞尔发现含铀的各种物质具有一种异乎寻常的性质，它可以使底片自然感光。这个观察使物质的一种新特性即发射性被发现，在后来若干年，人们从放射性研究中获得的所有结果都与卢瑟福和苏第在 1903 年提出的“自然衰变”假说相一致。根据假说，放射性是放射物质原子的原子核自然衰变现象。这种物质的原子并非是牢不可破的，其原子核也都随时间的推移而不断衰变的。所以铀原子中的原子核，在很长时间之后会变成铅原子的原子核。

这个衰变过程不是瞬间之事，而是逐渐地分阶段进行的。衰变过程中它们会放射出 α 射线，β 射线和 γ 射线。

最初它们被描述成辐射线，因为它们具有穿透一定厚度的空气、金属或其他物质的能力。它们真正的特性是后来被人们发现的。众所周知，磁铁两极间的磁力可使带电的运动粒子偏离自己的运动直线。它们偏离的方向取决于它们是带正电荷还是负电荷。当放射物质放射出射线通过强力磁

铁两极之间时，发现α射线由于是由带正电荷粒子组成，故向一侧偏移，而β射线由带负电荷粒子组成，向另一侧偏移。但即使是最强的磁力也不会使γ射线出现偏离。由此得出结论：γ射线根本不是质粒。

α射线

组成α射线带正电荷的粒子叫α粒子。1909年卢瑟福和罗伊斯(Royds)使α粒子穿透一层不到1/100毫米的玻璃墙，进入到一个无法逃逸的容器里，该容器对α粒子来说就像是一个捕鼠器。他们发现容器中α粒子只要不断增加，就可以聚积成氦。因此可以肯定带正电荷的α粒子就是氦原子的原子核。这些粒子巨大的运动速度取决放射物质的特性。它们之中最快的是由钍C′放射出的粒子，运动速度为12800英里/秒，最慢的是由铀1放射出的粒子，运动速度为8800英里/秒。这是空气中普通分子运动速度的3万倍。以这种速度运行的粒子可以把所有分子撞离其运动轨道。这就是α粒子有如此强大穿透力的原因。

β射线

在磁力条件下检查其运动情况，发现β射线是由带负电荷粒子组成。这些电子与原子中沿轨道运行的电子完全一样。由于α粒子所带正电荷等于2个电子的负电荷量，所以放射出一个α粒子的原子后等于缺少一个正电荷，使该原子带一个负电荷，相当于两个电子的电荷量。因此，不可避免地出现α粒子放射和负电荷放射交替进行的现象，以便使原子保持正负电荷平衡。β粒子的运动速度甚至比α粒子的运动速度更快。有些β粒子运动速度与光速（186000英里/秒）仅差百分之几。

在自然科学中，一种众人皆知的仪器设备是由C.T.R.威尔逊教授发明的。当α粒子和β粒子穿透空气与所遇分子相撞时，该仪器将这些粒子的运动情况实录了下来。在一个粒子穿行的容器里充满水蒸气，在这种条件下拍摄带电粒子所经之处留下的凝聚的痕迹。图110是威尔逊教授拍下的照片，α粒子和β粒子的运动情况都反映在同一张底片上。由于α粒子的质量是β粒子质量的7400倍，所以它们会在空气中造成更大的干扰，并留下比较宽和比较明显的痕迹，而且它们的运动路线也比较直。质量较轻的β粒子在与很多分子相遇后，运动路线出现偏斜。底片反映出四条α粒子的轨迹和一条黯淡的β粒子的轨迹。其中一条α粒子的轨迹上出现了疙疙瘩瘩的影像，这是由于α粒子通过时将电子从原子中撞出的一段短程。（脚注：巴姆斯特德称之为β射线。）

■图110　α与β粒子的运动

γ射线

γ射线根本不是质粒。它被证明是一种非常特殊的辐射线。我们将在下面讨论。

辐射能

用一根棍子搅动池塘，水面会出现一系列波纹，一圈一圈地从棍子处

向四外扩展。水对棍子有阻力，我们必须不断地搅动才能使水塘呈波动状态。这种作功的能至少有一部分转化成水波能。我们可以看到水波载有这种能，因为它可使飘浮的软木或玩具小船克服地球引力向上浮动。水波具有使池塘水面波动的机械能，这种能是通过棍子运动传输到水池中的。

光和所有其他放射形式都类似于水波，将能从能源中传播出去。阳光的辐射将太阳内部发出的大量能通过空间向外传播。我们还不知光是否也是波运动，但我们知道光和其他形式的辐射的传播形式都具有连续波的某些性质。

我们可以看到组成阳光的各种不同颜色用棱镜是如何分开的。一种作比较用的仪器——衍射光栅可以将阳光分解成其构成光的波长，而且这些光的波长相当于虹的各种不同颜色，这说明不同颜色的光代表着不同的波长。这给我们提供了测量不同颜色光波长的方法。光的波长很短，我们所看到的最红的光，波长最长，但也只有 3/100000 万英寸（7.5×10^{-5} 厘米）；最紫色的光，波长只有其半，为 0.000015 英寸。所有颜色的光都以 186000 英里/秒或 3×10^{10} 厘米/秒的速度作匀速运动。红光光波通过任何一固定点的次数不小于 400 万亿次/秒。这叫作“光频率”。紫色光频率更高，为 800 万亿次/秒。当我们看到紫颜色时，光每秒就有 800 万亿次波进入我们的眼睛。我们看到的是经过分析的阳光光谱，从红色光区到紫色光区。但这并不是光的真正极限。如果将某些化学盐放在可见光紫色光区之外，会发现有鲜艳的闪光，这说明紫色光区之外，虽然看不见光，但仍有能在传播。不可见放射区可从光谱两端无限延伸。向红色光区一端可延伸到所使用的无线电波区。这种波长可达几百码至几千码数量级。向紫色光区一端，可延伸到短波区甚至更短的波区，即各种形式的紫外线辐射区。其波长是可见光波长的 1/100 到 1/1000，这就是我们所熟悉的 X 射线区。这种射线可穿透几英寸的肌肉，因此我们可以利用它给体内骨骼照相。此外还可以延伸到 γ 射线的辐射区。γ 射线波长可达到一百亿分之一英寸数量级，或者相当于可见光波长的十万分之一。γ 射线被认为是波长极短的不可见辐射线。后面我们将讨论它们的作用。现在首先讨论一下它们使白克瑞尔照片变得模糊不清这个十分重要的作用，因为这导致了对放射物质特性的探索。

我们可把放射性原子裂变比喻成放枪：α 粒子是放射，β 粒子是产生的烟雾，γ 粒子是闪光，最后变成的铅原子是放完的空枪，而最初铀之类放射原子是装有实弹的枪。这种放射性的枪具有自动放射的特点，任何企图控制这种放射的努力都是无效的。我们只能等待，你会发现它们会自动按时放射。

原子核

除了原子序数为 19 和 37 的钾和铷之外，放射特性只能在最大、最复杂的原子中发现，都局限在原子序数 83 以上的原子。较轻的原子虽然不像

较重的放射性原子那样易于自我裂变，但它们的原子核也是复合结构，用人工方法也可使其裂变。1920 年卢瑟福以放射性原子为枪，对较轻原子放射α粒子，发现直接轰击可使它们的原子核裂变。但是放射性原子自我裂变和较轻原子的人工裂变之间有很重要的不同。前者在不考虑β射线和γ射线存在的情况下，只放出α粒子；而后者α粒子一点也没释放出，放出的粒子仅为该原子的 1/4 质量，而且这种粒子被证实与氢原子核完全一样。

原子世界中这些轰动一时的事情被 C.T.R.威尔逊教授用“经迹形成法”拍摄下来。P.M.S.布来克特先生拍下了图 111 的底片，它反映了α粒子和氮原子相撞的情况。直线表示普通α粒子无重大变化的轨迹，与图 110 的轨迹相似。但是每张底片都有个α粒子的分支轨迹，形成了“Y”字形状。

上图中产生的这种分支现象是α粒子与氮原子相撞的结果，这一点是无可怀疑的。

“Y”字形下面的分支是α粒子碰撞前的轨迹，上面的两个分支是α粒子与氮原子碰撞后的轨迹。后者运动速度极快，将所有东西撞离运动路线。由于通过直角以两个不同方向同时拍摄，布来克特先生再现了整个碰撞过程，如底片显示的那样。这些角度与动态理论要求的角度完全一致。

下图显示的情况与上图的情况属不同类型。如果“Y”字形上面分支（上图所示）是α粒子和氮原子相撞的轨迹，这些角度与动态理论所要求的角度不一致。“Y”字形下面的分支仍是一种普通α粒子的轨迹，但左侧上面的分支是一种小于α粒子的轨迹，即一个从原子核中放出的、只有 1/4 质量的粒子，而右侧分支是捕捉到的、和α粒子一起运动的氮原子的轨迹。

用了很长的时间才确认了布来克特先生对自己所拍照片的解释，但下图确实成功地记录了氮原子的原子核裂变的情况，这一点是毋庸置疑的。

■图 111 用α粒子轰击氮原子形成的轨迹（P.M.S.布来克特摄）。上图中α粒子从氮原子处回弹；下图中α粒子逐出质子，然后自己与原子连成一体。

同位素

两个带有同样正电荷的原子核具有同样的化学性质。正电荷量决定绕原子核运转的电子数。电子数目正好中和原子核电场，确定该元素的原子序数。阿斯顿博士指出相同化学元素的原子如氖和氯，其原子核质量可能不同。相同化学元素的原子的各种不同形式叫作同位素，它们可以根据不同质量加以区分。阿斯顿更重要地发现所有原子的质量几乎都是一个单个固定质量的倍数。这个质量单位近似于氢原子质量，差不多是氧原子质量的 1/16。用这个单位测定的原子质量叫该原子的原子量。

质子和电子

结合卢瑟福人工分裂原子核的结果和阿斯顿的实验结果可导致出一个为人们所接受的假说：整个宇宙是由两种最终粒子——质子和电子组成。

每个质子带一个正电荷，电量正好等于一个电子所带的负电荷量，但是质量相当于该电子的 1840 倍。质子被认为与氢原子的原子核完全一样。所有其他原子的原子核都是复合结构，由质子和电子组合而成。例如氦原子的原子核或 a 粒子由 4 个质子和 2 个电子组成，其质量几乎相当于氢原子的 4 倍，电量的总和相当于氢原子的原子核电量的 2 倍。然而这并非是其全部情况。假如真是如此的话，每个完整的原子都是由 N 个质子和足够的电子所组成。其组成部分就会和 N 个氢原子组成部分完全一样，每个原子的质量正好是氢原子质量的倍数。然而实验证明并不是这样。

电磁能

为了从整体上弄清楚这点，我们必须认识到原子中除了含有这些具体物质质子和电子之外，还含有占 1/3 成分的电磁能。虽然我们的说法缺乏准确的科学性，但还是把这种电磁能看成是“瓶装的辐射”。现代电磁学理论都认为每种电磁能都有质量，它就像许多煤一样有自己的质量。光线如同一股水流、一阵风或许多下落的煤一样对它们所触及的表面有冲击作用。如果有足够的强度，它也会像消防水龙头一样，肯定能将人击倒。这决非单单是一种理论预测，因为光线对所触及表面的压力通过实验可以检测出来。由于辐射能量非常小，所以用普通的判断标准很难进行实验。例如，一个 50 马力的探照灯连续工作一个世纪所发出的质量只有大约 1/20 盎司。

因此，任何物质在辐射时都要失去质量。放射性物质在蜕变时也要失去质量，因为在蜕变时要辐射出 γ 射线。每盎司铀的蜕变速度可以用下面的公式表示：

$$1\text{盎司轴} = \begin{cases} 0.865\ 3\text{盎司铅} \\ 0.135\ 4\text{盎司氦} \\ 0.000\ 2\text{盎司放射线} \end{cases}$$

铅和氦加在一起所含的电子和核子的总数与原来 1 盎司铀所含的电子和核子的总数一样，但是质量却少于 1 盎司铀的质量，大约每 4000 盎司铀少 1 盎司质量，只有 3999 盎司的物质留下来，而那 1 盎司是以辐射的形式放射出去了。

这清楚地表明，我们不能指望各种原子的质量都是氢原子质量的整数倍。任何这种想法都会忽视电磁能，而这种能量在原子改变结构时以辐射的形式排放到太空中。这种能量的质量相对来说要小得多，因此其他物质原子的质量可以大体上看成是氢原子质量的若干倍。这能得到证实，当然不可能丝毫不差。这座原子大厦的总质量当然不会跟组成这座大厦的砖的总质量相等，还必须加上粘合剂（电磁能）的质量。粘合剂把砖粘合在一起。

所以，正常的原子包括电子、原子核和能量。这三者对原子的质量都有影响。当原子改变其结构时，无论是自发的还是被轰击，其原子核和电

子都会放射出物质微粒（α射线或β射线）——以这种辐射的形式释放出能量。辐射可以通过放射出γ射线的形式体现出来。稍后我们还要讲到它以放射出可见光和不可见光体现出来。我们可以通过排放出来的电子、核子和释放出的能量来推算出原子的总质量。

光子论

我们现在正在探讨的一系列概念比较难以理解，也不易解释。这是因为我们在日常生活中很难找到类似的经验和知识。（脚注：只对天文学感兴趣的读者可以直接阅读第三章。）因此，在讲述这些情况时，就得用类比、比喻等模棱两可的方式或用模型。的确，任何朝真理所作的猜测都是鲁莽的。

19 世纪末叶，电的理论尚处于模糊不清的时期。麦克斯韦和法拉第所提出的理论指出：电子持续不断地向宇宙中辐射其能量，剩下的越来越少。这同一理论还预测：释放到太空中的全部能量将迅速转化成波长极短的辐射。然而实际上这样的现象根本就没有发生，这就否定了当时流行一时的电动力学理论。

空（腔）振（荡）辐射

当时已经闻名的空振辐射提供了一个关键性的失败例子。一个中空的物体被加热到白热化程度，人们没有注意其外表发出的光和热，但是束缚在空心里的光从一个小孔泄出，分光镜或衍射光栅可将其分解成不同颜色的光。这就是人们所说的空振辐射。它代表了最完整的、可能的辐射形式，在辐射过程中没有丢失任何颜色，而且每种颜色都最充分地反映出来了。迄今还没有哪种物质的表面能进行如此完全彻底的辐射。当然，有不少物质大体上能做到这一点。我们把这些物质叫做“充分辐射物”。

19 世纪的电磁学理论指出，这种充分辐射物（或物质空腔）的全部辐射应当在光谱紫色的远端或以外找到，而不受该物质加热的具体温度的影响。实际上，恰恰在光谱相反的一端发现了这种辐射。因此，无法证实 19 世纪理论所提出的推测，也没有任何迹象表明能证实这一预测。

1900 年柏林的普朗克教授在实验中发现，被称为空振辐射的现象分布在光谱的不同颜色上，并进一步指出，他的新规则可以从电动力学的规律中推论出来。新电动力学理论与原先模糊不清的理论有很大区别。

普朗克设想一系列振荡器加热后的光辐射与音叉被敲击后发出的声音辐射一样大。旧电动力学理论指出，每一次振动都应当逐渐减弱，直到最终停止，就像音叉那样。此外，普朗克还假设，振荡器只能通过突然振荡才能改变其能量，能量单位可以是 1、2、3、4 或任何其他整数，而不可能有分数。因此，逐渐改变能量之说就不能成立。或者我们可以说振荡器没有“零钱”可找，它每收到一先令（接受一次外力），它就放出价值一先令的能量，放完为止。不仅如此，振荡器还拒收零钱，它只准备接受整先令。这种观念是革命性的，具有轰动效应，甚至有点荒唐。很多人都认为

这一概念与在空振辐射中所观察到的颜色分布完全一致。

爱因斯坦在 1917 年把这一观点表述成目前流行的更为具体的形式。根据哥本哈根的尼尔斯·伯赫(Niels Bohr)教授前些年提出的理论，原子或分子结构本身并不能在“逐渐阶段”改变其构型，也不能消耗其能量。“逐渐过程”在物理学中被排除了，由“间断性”取而代之。一个原子的结构可能有若干个构型或阶段，彼此完全不同但又相互联系，就像放在楼梯上的重物，可能有不同位置，它可能在第三层、第四层或第五层，但是不可能在$3\frac{1}{4}$层或者在$3\frac{3}{4}$层。（原子构型）从一个位置向另一个位置的变化通常要受辐射的影响。这个系统通过吸收落在其上的辐射能而被推向上一级楼梯，或可能降到下一级楼梯而进入一种较低能量的状态。与此同时，可能以辐射的形式释放能量。只有某种确定的颜色和某种精确的波长的辐射对引起状态的特殊变化才是至关重要的。改变一个原子的系统就如同从一个投币机中取出一盒火柴一样困难。除了特殊的工具外，还要知道一便士硬币的精确尺寸和重量——硬币太小或太大、太轻或太重都注定会失败。如果把一个错误波长的辐射照到一个原子上，就好比重新制造了一个关于百万富翁的喜剧：由于缺少一枚合适的硬币，即便他花费了全部财富也不能从投币机中取出一盒火柴；或者对孩子来说是个悲剧：即便他有许多法寻（英国旧时值 1/4 便士的硬币）和便士，也不能从投币机中取出一片巧克力。但这种辐射不会妨碍原子。当混合辐射照到集中起来的一些原子上时，只有那些改变原子内部状态所必需的波长的辐射能被吸收，其余波长的辐射都原样通过，没有变化。

关于辐射的原子的选择活动用多种方法得到证实，也许只在太阳光谱和恒星光谱中显示。与夫琅和费在太阳光谱中观察到的相似，实际上在所有恒星光谱中可以看到黑线。现在我们知道了为什么会这样。每一束可能的波长的光会从恒星炎热的内部放出，去轰击组成气体的原子。每个原子都吸收合适的波长的辐射，但与其余任何波长的辐射都不互相影响，以致最后恒星辐射的波长中只适合原子的波长减少了。因此恒星显示了一个有精细路线的吸收光谱。光谱中，这些路线的位置说明了恒星原子吸收何种类型的辐射，然后促使我们在从实验中得到的有关辐射的各种原子知识的基础上去认识辨别原子。但最终是什么决定了原子吸收何种类型的辐射，并拒绝某种类型的辐射呢？

普朗克曾假定任何一种波长的辐射都与某物有关，它有一定的能量，叫做“量子”。量子除了波长以外，不依靠其他任何条件。量子被假定与“频率”有适当的比例，或者与每秒辐射振动的次数成比例，（脚注：如果 u 是辐射频率，它的量子能量为 hu，其中 h 是自然普遍常量。这个常量就是能量乘以时间，其数值是：6.55×10^{-27}尔格×秒数）与辐射的波长成反比——波长越短，量子的能量越大；波长越长，能量越小。红光的能量弱，紫光能量强，等等。现在，爱因斯坦假定某一类型的辐射能影响原子

或分子的变化，只有当引起变化所需的能量与辐射的一个量子的能量正好相等时，这一变化才会产生。这就是众所周知的爱因斯坦理论。它确定了使原子或分子投币机器工作的辐射的精确类型。（脚注：以等式表达为 $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = h\nu$。其中 ε_1，ε_2 分别为物质系统变化前与变化后的能量。u 为辐射频率，h 为已确定的普朗克常量。我们发现，需要一个强有力的量子才能完成的工作由其他多个力量薄弱的量子一起也不可能完成。少量的紫光（高频率光）能够起到任何红光（低频率光）不能起到的作用——每位摄影师对此都熟悉并感到困难：我们能够接收尽可能多的未被破坏的红光，但只要有一束微弱的紫光就会破坏整个光盘。

这一定律既阻止了一箭射双雕，也阻止了双箭射一雕。在引起变化的过程中消耗了全部量子，以致个别量子中不会再有剩余能量引起其他变化。物质的这一性质已被爱因斯坦在光化学法则中用图例说明：“在任何由光的入射引起的化学反应中，被改变的分子数量与被吸收的光的量子数相等。”那些管理投币机的人们非常熟悉这个规则：“卖出的货物数量与机器中的硬币数量相等”。

如果考虑到能量的破坏力，我们会发现短波辐射比长波辐射更能破坏原子结构。充足的短波辐射也许不仅会重新排列分子或原子，而且还会通过照射某个电子引起光电作用，致使恰好落在辐射上的原子分解。频率也有确定的极限，频率范围以外的光无论多强都不起任何作用；反之，一旦频率在此范围内，即使强度最弱的光也可以立刻产生光电反应。吸收一个量子只能分解一个原子，再从原子中进一步分解出一个电子。如果辐射频率超出了此范围，那量子就会有更多的能量，这些能量要多于从原子中移动一个电子所必需的最小量。

电子轨道

有关概念以玻尔的假定为依据：在原子中，只有有限的轨道接收电子，其余轨道不接收。一个电子在辐射的激发下可以自由地从一条被允许使用的轨道迁移到另一条轨道上。玻尔自己研究了这些可以使用的轨道的排列方法。现代的研究结果显示了他的理论需要做大量修改，但我们仍然要讨论其中的许多细节，不但因为玻尔的原子图为我们提供了一个最好的、行之有效的机械模型，还因为理解玻尔的简单理论，对于理解将要取代玻尔理论的那些更复杂的理论是必不可少的。

我们已经讲过氢原子有一个质子作为核心，有一个电子环绕着质子。原子核的质量是电子的 1840 倍。原子核处于静止状态，几乎像休息一样，且不受电子运动的干扰，就如同太阳不受地球绕转的影响而仍然保持不变一样。原子核和电子分别携带正负电荷，互相吸引，因此电子按轨道运行而不是沿直线运动。这一点也像太阳与地球的运动方式一样。此外，正负电荷之间产生的吸引遵循万有引力定律。正负电荷之间的吸引力随着两个电荷之间距离的平方值逐渐减小。因此，核 - 电子系统在各方面都同太阳与

行星系统一样，电子绕核运转的轨道也同行星绕太阳运转的轨道明显地相似：都由一个椭圆系统组成，系统的核心有一个焦点。

然而量子动力学的一般概念认为电子在轨道之间任意移动是受到阻止的。玻尔认为氢原子的电子能够在一定的圆形轨道上运行，这些轨道的直径与自然数的平方成比例，如 1，4，9，16，25……虽然有些椭圆轨道受到偏心率必须有明确数值这一条件的限制，氢原子的电子仍然能够在这些椭圆轨道上运行，只是这些轨道的最大直径要与可以运行电子的圆形轨道的直径相等。其余轨道都被禁止使用。

电子能够在氢原子里运行的最小轨道如图 112 所示。最小的轨道直径为 1，标注为 1_1；在此范围外，有两个直径为 4 的轨道，标注为 2_1，2_2；然后是三条直径为 9 的轨道，标注为 3_1，3_2，3_3；最后是 4 条直径为 16 的轨道，标为 4_1，4_2，4_3，4_4。由于篇幅所限，图表就画到这里，但实际上可用的轨道还在无限延伸。即使在实验条件下，电子也有可能在直径为 1、标注为 1_1 的 100 倍的轨道上运行。在气体稀薄的恒星环境中，氢原子会膨胀，使体积变大。恒星光谱提供了例证：某轨道是轨道 1_1 面积的 1000 倍。如此大的轨道如果在图 112 中显示，则需要一个直径为 4 码的圆。

■图 112 氢原子中电子轨道的排列（玻尔模型）

所有的轨道，不论是椭圆形还是圆形的，只要它们直径相同，就有相同的能量。但是当电子从一条轨道跨入另一条不同直径的轨道时，能量就会发生改变。因此，在某种意义上可以说原子由一个装能量的容器构成。很容易算出能量的变化。例如，氢原子中直径最小的两条轨道的能量相差 16×10^{-12} 尔格。如果把适当的波长的辐射照在有一个电子正在最小轨道上运行的原子上时，该电子就会跨入另一条轨道，在此过程中吸收 16×10^{-12} 尔格的能量，因此该原子成了暂时容纳能量为 16×10^{-12} 尔格的容器。如果从外部以任何方式干扰原子，那么原子随时都会释放能量，否则它还会继续吸收能量、增加储备。

如果我们知道适合各种类型原子的全部轨道，就很容易算出电子在它们之中跃迁时能量的变化。当一种跃迁吸收或释放了整整一个量子的能量时，我们会很快推算出在跃迁过程中释放或吸收的光的频率。总之，如果已知原子轨道的排列，就能推算出原子的光谱。在实践中采取了这一过程的相反形式：已知光谱，要找出释放光谱的原子结构。玻尔的氢原子模型在这方面至少可以说是个好的模型——将被原子释放的光谱几乎同时可以再复制一个氢的光谱。但此观点并未全被接受，普遍认为玻尔的轨道图不能完全解释实际的光谱。我们继续讨论玻尔的图解，不是因为确定原子是那样组成的，而是因为它为我们目前的研究目的提供了一个极好的可行试例。

虽然最初的结果有些让人失望，但整个理论的本质特征是：即使携带 16×10^{-12} 尔格能量电荷的氢原子完全不受干扰，一段时间后，电子一定会

自发地降到起初较小的轨道上去,同时以辐射形式释放出 16×10^{-12} 尔格的能量。爱因斯坦表示，如果不是这样，那普朗克的“空腔辐射”这一确定的理论也不再真实了。所以，氢原子聚集的过程中，电子运动的轨道大于可能的最小轨道，这一点很像铀或其他高频放射原子的聚集过程。在此过程中，经过了一段时间后，该原子也会自发降到能量较低的状态中去。

在较复杂的原子中，电子轨道的排列与氢原子的轨道排列几乎相同，只是大小不同。在氢原子中，经过足够的时间后电子通常会降落到能量最低的轨道中去并待在那里。同理，可以认为，在一些较复杂的原子中，许多电子同时在轨道上运动，它们都将及时降到能量最低的轨道中去并待在那里。这不等于说事实就如此。在某些轨道中，绝对不会有多于一个电子的空余位置。这是控制着整个物理学的普通原理的特殊方面。它有个名字叫“排除原理”，它关系整个物理学，而我们几乎还没开始去弄清这一原理。这一特殊方面的其余部分与科学奠基石理论相同，即两个不同的物体在同一时间内不可能占据相同的空间。不必弄清基本原理，我们就可接受这一事实：两个电子不仅不可能占据相同的空间，甚至也不可能占据相同的轨道。电子好像会以某种方式自己传播出去，以便占据整个轨道，不给其余电子留有位置。毫无疑问，这当然不会被人们当作事物的本质概念而接受，但氢原子中最低能量级的轨道却有此可能，只因为它们充满了电子，而相邻轨道和其他更复杂的轨道却没有此种可能，因为电子或者占据它们的 3/4 倍，或者要占据它们的 3/2 倍。关于这一点，没有任何已知的物理现象能说明电子在某一确定的瞬间停在能量最低的轨道上的某一点。这种描述似乎毫无意义。一旦确定电子在某一固定的时刻在某一轨道上，就可以确定原子的状态。例如，如果电子已经自行散布到外层轨道上，就可确定此时的原子状态。但其他轨道的情况是不同的。当我们进入到能量高一级、直径大一些的轨道后，电子会逐渐变成另一种不同的结构，直到最后其重要性越来越小。电子围绕原子核周围的小轨道运转，不论它为何种形式，当它在离核较远的大轨道上运转时，就会变成简单的带电颗粒。

因此，无论什么样的原因，在同一原子中绕转的电子一定全部在不同的轨道上。这些电子就像站在梯子上的人们一样，两个人不能站在同一个阶梯上，那么两个电子也不能都在同一条轨道上运转。例如，当氖原子的 10 个电子分别占据着 10 个能量最低的轨道时，氖原子处于有最低能量的普通状态中。这就是量子理论成功的解释。在任何一个原子中，都存在这样两条轨道：它们的能量相等并且比其他任何轨道的能量都低。紧接着有 8 条能量较高并且能量相同的轨道，然后又是 18 条能量再高些并且能量相同的轨道，再以此类推。由于这些不同的轨道群上的电子都有相同的能量，如果用图形而不用容易使人误解的措辞来解释的话，这些电子通常都被称作电子环。它们是 K 环、L 环、M 环等等。K 环距离核心最近，只能容纳 2 个电子。其余的电子都被推入 L 环中。L 环能容纳 8 个电子，8 条轨道虽不

同，却有相同的能量。如果还有电子需要被接纳，那它们一定会进入 M 环中，以此类推。

在正常状态下，氢原子的 K 电子环上有 1 个电子，氦原子的 K 环上有 2 个电子，L 环、M 环以及更高能量级的轨道均未被电子占据。更具复杂性的原子如锂原子有 3 个电子，K 环只能容纳 2 个电子，另 1 个只能在外部的 L 环上运动。在有 4 个电子的铍原子中，有 2 个电子被赶到 L 环上运行。以此类推到有 10 个电子的氖原子，其 L 环与里面的 K 环都被电子填满。在下一个钠原子中，11 个电子中有 1 个被挤到更远些的 M 环上。以此类推。假设电子不受辐射或其他刺激的干扰，那么每个原子会及时降到另一种状态中去：电子各自占据着能量最低的轨道，一条轨道上只有 1 个电子。

到目前为止，我们知道原子一旦到达这种状态就会真正变为一台永久运动的机器，电子持续在轨道上运转（根据玻尔的理论，它们会以任意一种速度运动），不会因为运动引起辐射或其他形式的能量消耗。在这种状态下的原子不会释放能量。这听起来似乎难以置信，但据我们所知，确实如此。虽然我们的知识有限，但可以肯定这一特性决定了宇宙的存在。如果没有这种限制，整个宇宙的物质能量将在千分之几秒的时间内以辐射形式消失。按照 19 世纪物理学原理要求的办法，如果普通氢原子能够释放辐射能，作为直接结果，氢原子将每秒钟收缩 1 米多，电子继续一级一级地降到能量较低的轨道中去。大约千分之一秒后，原子核与电子将会相遇，整个原子很可能会在辐射的一瞬间消失。通过禁止除完整量子以外的辐射，或者当没有可以消耗的量子时禁止各种放射，这两个办法使量子理论成功地解释了宇宙的存在。

即使在所有这些现象的基础上也很难形成远离现实的抽象概念。现在，人们正在摸索着了解一门叫“波力学”的物理分支科学。但目前在实验现象中取得的进步远比在实际中获得的多。事实上，我们最后是否会正确了解全部过程还未可知；也许它们太基础了，以至于超出了人类思维理解的范围。

正是由于现代理论物理学很难解释，所以它才很难被人理解。在太阳系中，地球围绕太阳旋转这一运动很容易解释。我们看到太阳在天空中，感觉地球在我们脚下，每天的生活经历使我们熟悉了这一运动。那么，当我们试图去解释氢原子中电子围绕质子旋转这一类似的运动时，会有什么不同呢？你和我都没有关于电子或者质子的直接经验，目前还没有人知道它们到底是什么样子。因此我们做了一个模型，其中的电子和质子是由一个我们认为最简单的东西——小硬球代表的。起初的一段时间里，它工作得很好，然后突然在我们手中裂了。在波力学的新光线中，这个硬球不能像预计的那样充当电子。硬球在空间总会有一个固定的位置。但很明显，电子就没有这一位置。硬球会占据一个固定的空间，而讨论一个电子会占据多少空间正如讨论恐惧、担忧或其他不稳定因素会占据多少空间一样，

变得毫无意义。但如果我们坚持弄清一个电子会占据多大的空间，也许最好的答案就是它会占据整个空间。硬球从一点运动到另一点。氢原子模型中的电子从一条轨道跃入另一条轨道，并不像硬球那样做已知的运动，而真正的电子——如果真有东西像原子中的电子——也许运动会更少。既然目前我们脑中只能形成由这一不太完善的模型构成的原子图，我们也只好通过它来描述各种现象，从而继续进行研究。

辐射的动力作用

一个电子结构越密集，就需要越多的能量来扰动它，并且由于能量必须以单个量子的形式提供，所以量子的能量越大，辐射波长会越短。一个密集的结构只能被波长很短的辐射所扰动。

一艘驶进波涛汹涌海域的船只，当船身的长度与波浪的长度相等时，不仅船只会有危险，乘客也会感到不舒服。短波会影响船身短的船只，长波会影响船身长的船只，但长的波峰对两种船的影响都较小。当然，这没有提供一个关于辐射结果的准确的比喻，因为使电子结构解散的辐射波长是电子结构大小的成百上千倍。实际上，关于辐射的航海比喻中的波峰就很长。作为一个粗略的研究指导，我们可以说一个电子结构只会被波长大约为它本身大小的 860 倍的辐射所扰动，并且只能被波长在这一范围内的辐射解散。（脚注：数学家们将揭示这一规律的原因。此规律大致如下：分离两个电荷+e 和-e 所需的能量，如果相距为 r，大小则为 e^2/r；如果重新组合或解散一个电子结构或者直线距离为 r 的一些电子与质子，所需能量一般也可计算为 e^2/r。如果 λ 是必需的辐射波长，那吸收此辐射后可能获得的能量为 hc/λ。如果把这个计算式与 h 值约为 $860e^2/c$ 连立，我们会发现辐射的必需波长是将被解散的电子结构的大小的 860 倍。）总之，蓝光会影响金属摄影板，而红光则不会影响，其原因是因为蓝光的波短于银氯分子直径的 860 倍，而红光的波长于银氯分子直径的 860 倍。在任何现象发生之前，我们必须让波长低于 860 倍。

当一个原子释放出储存的能量时，它所释放的光的波长与最初它吸收的光的波长一样，这两个量子能量相等，波长相同。同样，任何电子结构释放的光的波长大约都是电子结构大小的 860 倍。因此，主要由原子释放的普通可见光的波长约为原子直径的 860 倍。实际上，只因为可见光的波长可以使光在视网膜上运动，所以人们可以看见可见光。

这种波长的辐射只能扰动原子中最外部的电子，而较短波长的辐射则会有更大的破坏性。例如，X 射线会扰乱原子结构内部更为复杂的电子环，如 K 环、L 环等等。短波辐射甚至还能扰动核中心的电子、质子。因为就像原子本身一样，原子核由正负电荷组成，所以除了辐射波长这一点大不相同外，原子核必定会做与加在它上面的辐射相似的运动。艾丽丝和其他人发现在放射性元素镭 B 原子的裂变过程中释放出的 γ 射线的波长为 3.52、4.20、4.80、5.13 和 23×10^{-10}（厘米）。这些波长仅仅是可见光

波长的十分之一，这是因为原子核只是整个原子大小的十分之一。这种波长的辐射在重新排列镭 B 的原子核中应该起很大作用，正如波长是这种波长的 10 万倍的辐射对重新排列氢原子起很大作用一样。

由于原子吸收或放出的辐射波长与量子的能量成反比，那么能使原子核“工作”的量子一定与能使原子“工作”、能量是它 10 万倍的量子有些相似。如果氢原子是一台我们前边谈到的投币机，那么，凡少于 500 镑的钞票都不会使放射性原子核运动。虽然试验还不足以说明，但放射性原子核就像氮原子核和氧原子核一样，可能被密集的撞击所分解。如果真是这样，那么每一个参与碰撞的粒子都会给撞击运动带来动能，这个动能至少与上述辐射的量子的能量相等。这就要求粒子以极高的速度运动。有极高温度的物质包含有大量的高能量子和高速运动的粒子。

热辐射

生活中，我们谈到的红热和白热是指物质的温度升高到某一程度时分别释放红光和白光。碳丝灯的灯丝据说加热后会变成红热，而汽灯中的灯丝加热会变成黄热。不必详细确定我们谈论的物质。如果碳在 3000℃释放红光，那么钨或其他物质在同样温度下也会与碳一样释放出红光。对于辐射的其他颜色来说也一样。因此，每种颜色以及每种辐射的波长都有一个明确的温度与其对应，这个温度就是在借助分光镜来分析一个热的物体放出的光的过程中某种颜色出现最多的时候的温度。一旦快要达到而未达到此温度之前，上述波长的辐射会增多；在这一温度以下时，根本观察不到辐射。（脚注：辐射波长 λ 和与之相关的温度 T〈在绝对百分度下测得〉有以下关系：λT=0.2885 厘米·度。）每当我们谈到红热或白热时，尽管我们不经常谈，我们仍会正式地提到 X 射线热或 γ 射线热。辐射波的波长越短，与之相适应的温度会越高。因此，当我们加热一物质时，它会释放出波长越来越短的光，并且依次通过下列组成彩虹的颜色——红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。我们不可能在实验室中把温度控制在一定范围去完成试验，但大自然已经在恒星之中为人类完成了这一实验。

热效力

我们已经知道短波辐射能够扰乱小的电子结构。当短波与高温相结合时，电子结构越小，扰乱结构所需的热量会越大。我们可以计算出一个给定大小的电子结构在热的作用下第一次分解时的温度。（脚注：将给出的 T 和 λ 两者之间的关系与“860 限度”的规律结合，我们发现当温度第一次达到 1/30000r 〈原稿中分母字迹难辨，特别是中间 4 个零是推测的〉度时，长为 r 厘米的结构将被温度辐射打乱。）

例如，一个直径约为 4×10^{-8} 厘米的普通原子会在几千度的温度下第一次分解。再举一个具体试例，波长为 0.00006 厘米的黄光专与 4800 度的高温结合，这个温度就代表平均“黄热”。当温度低于 4800 度时，黄光只在人为制造的情况下才出现。但是恒星以及其他物体在 4800 度时一般都自

行放出黄光，并在光谱的黄色区域内显示出路线。这是因为黄光可以移动钙原子中最靠外部的电子以及与之相似的元素。当马上达到 4800 度、但不在 4800 度时,钙原子中的电子开始被扰动。在地球上无法达到这个温度(除了在电弧上和其他人为条件下），因此陆地上的钙原子普遍都以最低能量的形式静止存在。

再举一个例子，在铀的转变过程中辐射出的最短波长约为 0.5×10^{-10} 厘米，与 58 亿度的极高温度相适应。当快要达到这样一个极高温、但不在此高温时，放射核的组成部分会自己重新排列，就如同温度达到 4800 度时钙原子的组成部分会自己重新排列一样。（脚注：如果假定用材料粒子来撞击电子结构可以使电子结构重新排列，那么电子、中子、分子有效撞击时的温度与可观察到的第一次有效波长的辐射温度几乎相同。这两个过程几乎在达到同一温度时产生。）毫无疑问，这就说明了为什么地球上任何温度都不可能在加速或抑制放射性裂变的过程中起到明显的作用。

“辐射的动力作用”表展示出了能够影响各种原子变化必须有的辐射波长。最后两栏指出了相关温度以及目前我们所知的发现这些温度的不同地点。后面这几条预先研究出的结果将在后面第五章详细说明。除了一个地点之外，在温度远远低于表格最后一栏所给的温度范围的地方，上述变化不会受到热的影响，所以只可能自发产生。因此这完全是个单向过程。

如果辐射能使原子投币机工作并且其波长不是很短，一旦这种状态存在，那么并不从周围辐射中吸收能量的原子则会持续滑入较低能量的状态中去。

高穿透力辐射

目前，据我们研究所知，γ射线的波长最短，但表格的最后一行却指出另一种辐射的波长大约只有γ射线波长的百分之四。

辐射的动力作用

波长（厘米）	辐射本质	对原子的作用	温度（绝对温度）	发现地点
7500×10^{-8} 到 3750×10^{-8}	可见光	扰动最外部电子	3850 度 到 7700 度	恒星环境
250×10^{-8} 到 10^{-8}	X 射线	扰动内部电子	11.5 万度 到 2900 万度	恒星内部
5×10^{-9} 到 10^{-9}	软 γ 射线	剥落全部或几乎全部的电子	5800 万度 到 2.9 亿度	稠密的恒星团中部
4×10^{-10}	镭 B 的 γ 射线	扰乱原子核的排列结构	7.2 亿度	?
5×10^{-11}	最短的 γ 射线	——	58 亿度	
1.3×10^{-13}	高穿透力辐射(?)	消灭或产生质子，并有电子伴随	22000 亿度	

自从 1902 年起，许多研究者，特别是卢瑟福、库克、麦克兰纳，柏顿、科尔赫斯特和密立根发现地球的大气层正被一种比 γ 射线具有更高穿透力的辐射穿过。通过向高空释放气球，科尔赫斯特、密立根以及鲍恩相继指出在高空这种辐射会更加密集，因此证明了它是从大气层外部进入地球大气层内部的。假如辐射来源于太阳或恒星，那地球上收到的辐射的主要部分就来自于太阳了，而且白天的辐射要比晚上的密集。可事实并非如此，所以辐射不可能来自于恒星，而是来源于星云或不同于恒星的其他宇宙团。密立根坚信辐射来源于银河系的外部。

辐射的量是极大的。即使在辐射最少的海平面，密立根和金马伦发现辐射大约每秒每立方厘米空气分解出 1.4 个原子。辐射在我们人体内每秒一定分解出成百万的原子——我们也许并不知道其生理作用。包括所有从恒星上吸收到的光和热，地球上收到的总辐射能量大约只有总辐射量的 1/10。这并不是说光和热有 10 倍于宇宙作为一个整体辐射到地球的量。因为如果辐射来源于银河系之外的地区，那给予我们光和热的恒星就会离我们较近，而高穿透力的辐射来源于更远的地方。就整个空间以及广阔的星云之间的空间的平均值而言，高穿透力辐射似乎比恒星的光和热更多，因此这种辐射形式是整个宇宙中最丰富的一种。

它是已知的最具穿透力的辐射形式。普通光根本无法穿透金属或者固体，只有一小部分通过极薄的金片显露出来。由于较短的波长和高能量子，X 射线会穿过只有几毫米薄的金片或导体。镭 B 的 γ 射线穿透力最高，它

能穿透几英寸的导体。我们刚刚谈到的辐射具有特殊的穿透力，穿透力最强的辐射可以通过 16 英尺的导体。

辐射是很短的 γ 射线的本质还是像 β 射线一样的微粒本质，这一点尚不太清楚。或许是两者的混合。辐射的穿透力远远超出任何一种已知的 β 辐射。因此，如果它真是微粒，那微粒运动的速度一定与光速几乎相等。

如果辐射，可能至少一部分是 γ 辐射，那么应该有可能从穿透力上确定其波长。直到最近，人们对于这两方面之间的关系才开始进行不同理论的研究。最新的理论由克莱因和尼什纳提出。该理论比其他早期的理论更精确、更完全。正如上文表格中指出的一样，这一理论指出辐射最具穿透力的部分的波长出奇地短，只有 1.3×10^{-13} 厘米。

如果我们用 860 定律，也许我们会得到最清楚的概念：它说明辐射将分解一个只有 10^{-16} 厘米大小的电子结构。由电子、质子组成的结构不会再比这个电子结构小了，因为单个电子的半径大约为 2×10^{-13} 厘米。一定波长的辐射可以自己分解质子和科学上已知的最小、最紧密的结构。

再从另一个角度来分析这个问题。数值关系已经说明这种波长的辐射量子一定有相当于 0.0015 尔格的能量，质量一定是 1.7×10^{-24} 克。物理学家们都会立刻认出这一质量，因为通过最精确的测量测定氢原子的质量为 1.662×10^{-24} 克。那么高穿透力辐射的量子的质量和能量大约也是如此。这个能量是一个完整的氢原子突然消失时释放了的所有能量。

很难想像，被地球接收的高穿透力辐射来源于氢原子的消失过程中。如果没有其他原因，宇宙中也许不会有足够的氢原子，那么这个假说也就不成立了。氢原子包括一个质子和一个电子，它的质量大致相当于宇宙中组成任意一个原子的质子和中子质量的总和。因此，高穿透力辐射的量子有波长和能量，它们来源于任意一个原子中的质子和电子，不管质子和电子是结合还是一个消灭另一个。我们已经看到了不同类型原子的质量与氢原子量的倍数是如此接近。或者更精确地说，它们成等级改变，每一个原子量都几乎与单个氢原子的质量相等。高穿透力辐射的量子的质量与每一个阶段质量的变化量相等，所以每一个阶段，原子量的降低这一变化可以产生量子。目前据我们所知，在大多数可能的条件下，这种质量减少的情况会在质子和电子结合的过程中产生，其结果是两者全部消失。

这种解释似乎远离了最有可能的辐射源，因为可能的辐射源不是仅此一种。例如，汞的原子号是 80，原子量为 200.016（编者注：现定为 200.59），它的同位素最多，它由 200 个质子、120 个核电子和 80 条轨道电子组成。卢瑟福曾指出，在由 200 个质子和 200 个电子迅速组成这样一个原子的过程中，会减少相当于 1.5 个氢原子的质量。如果组成原子的这个过程全部同时发生，那么巨大的、游离的能量会以单个量子形式释放出来。这种量子会有更大的能量，并且比观察到的高穿透力辐射的波长要短。密立根曾经指出作为辐射源的、由简单成分组成的复杂原子的结构，但总之，如果

克莱因—尼什纳的理论正确，那么根据密立根提出的结论，不会有极短波长的辐射。

单从物理现象上看，这种可能性很小，但我们仍然要考虑它。有 400 个组成部分的汞原子的结构极其复杂；并且难以令人置信的是，在巨大的辐射能量被释放的同时，这 400 个组成部分全部可以被瞬时撞击，变成一个全新结构的原子。如果原子曾经由简单的部分组成（并无证据可以证明自然界中有这一过程），这种集结会发生在不同阶段，辐射会发生在许多较小的量子中间，而不是一个较大的量子内部。但是，此类假设没有说明为什么计算所得辐射量子的质量与已知的氢原子量一致。由于这些原因，更基于科学家们对自然界较简单的假设有所偏爱，我们可以说：消除电子和质子，这为已观察到的高穿透力辐射提供了一个更易让人接受、更可能的来源。

目前，我们可以把这一未得到解决的问题先放一放，因为不久天文学将会给人类提供有关这个问题的一些证据。

我们用能量均分、物质湮灭
等理论探索地球的年龄和恒星
（包括太阳）的历史。调查表明，
地球上获得的高穿透力辐射来源
于外层空间物质的湮灭。

第三章　探索时间

我们对于宇宙的探索已经达到了我们的望远镜所能达到的最远的地方。我们已经探测到了构成天地万物、我们称为“原子”的这一最小结构的复杂性。现在我们的希望是对时间进行探测。人类个体的寿命及有文字记载的人类社会的发展史（顶多几千年），这两段时间的长度对于我们要探索的时间而言实在是太短了，没有任何帮助。我们必须寻找更长的标杆来探测过去的时间的长度，并用以探索未来。

我们采用的一般方法是地质学研究所常用的。虽然没有直接的历史证据，但是地质学家们却毫不气馁，坚持认为生命在地球上存在已有数百万年了，因为在沉积层中发现了留有生命痕迹的化石，他们估计这种沉积物肯定是经过了数百万年的积累。当他往地下深探、连续不断地通过各种不同的地层时，他是在探测时间，这正如一个在地球表面旅行的地理学家在探索太空一样。天文学家可以使用一种类似的方法。我们发现了一些天体的作用、特征，或者说是性质，这种特征显示了连续的积累与减少。我们可以估计目前正在发生的各种事物增加或减少的速度，我们应该也能估计出在过去普遍存在的不同条件下各地肯定发生过的各种物质增减的速度。这也许仅仅是算术问题，但要估计从这一过程开始到现在已经消逝了的时间，可能是更复杂的数学问题。

地球的年龄

在对地球的年龄这一比较简单的问题进行探索时，有一种方法得到了很好的验证。

第一个确定地球年龄的科学尝试是 1715 年由天文学家哈雷进行的。河流每天都带着一定量的水流进海洋，这些水中含有少量的处于溶解状态中的盐分。水蒸发了，而且到一定的时间后水又返回河流；而盐既不会蒸发，也不能返回河流，结果海洋里的盐量不断增加。由于海洋的含盐量显示出盐一直在不断积累的时间的长度，“因此这给我们提供了一个论据，”哈雷颇乐观地说，“可用来估计所有事物形成的时间。”

这一论据并不能使我们对地球的年龄作出很精确的估计，但是根据有关数据计算，结果表明地球的年龄肯定有数亿年了。

从雨水冲刷形成的沉积层中，我们可以获得更有价值的信息。每一年地球层都要重新调整。头一年还在丘陵上或高山坡上的泥土，现在已经被雨水冲到浑浊的河底，并被连续不断地带进海里。仅泰晤士河每年带到海里的泥沙就有 100 万至 200 万吨。以这种速度发展下去，英国将会存在多

久？已经持续了多久？在我们的一生中，我们已经看见了周围海岸线大量的陆地崩坍，有的全部沉入海里，有的滑落到接近海平面的高度。像尼德尔斯这样引人注目的地貌以及怀特岛南海岸线的一大部分眼睁睁地在我们眼前消失。地质学家能用这些估计出这种和类似的变化过程发生的速度，因此我们也能估计出沉积层沉积了多长时间才达到目前我们观测到的地质层的厚度。

这些地质层是相当厚的。阿瑟·霍姆斯教授（脚注：在讨论地球的年龄中，我们从霍姆斯教授的《地球的年龄》一书中引用了大量的材料）给出了如下可观测到的最大厚度：

前寒武纪	至少 18.0 万英尺
古生代	18.5 万英尺
中生代	9.1 万英尺
新生代	7.3 万英尺

我们可以对这些沉积层的沉积速度形成一个总的认识。自从 3000 多年前埃及拉美西斯二世法老统治开始，在孟菲斯市沉积物一直以每 400 至 500 年 1 英尺的速度淤积。挖掘者们必须深挖 6 米或 7 米才能到达拉美西斯二世法老时的埃及地表层。目前据估计，北美的剥蚀速度为每英尺需 8600 年。对大不列颠的类似估计表明，每英尺为 3000 年。地质层沉积的平均速度若是每英尺 1000 年，上面所列的总共 52.9 万英尺地层将需要 5 亿多年；若以每英尺 4000 年的速度沉积，需要的时间大约是 21 亿年。

这种估计地质时间的方法被称作“地质沙漏”。我们看见了有多少沙子已经流走，我们注意到现在它的流速有多快，计算出来的结果告诉我们它从开始至今一共流了多长时间。这种方法不尽如人意，因为不能保证沙子总是以相同的速度流。地质方法足以表明，地球肯定是存在几亿年了，但要获得其年龄的更确切的估计，必须采用更精确的物理及天文方法。幸运的是，前一章所讨论的放射性原子提供了一个完美的时钟系统，就目前所知，它的百年误差还不到一根头发丝。

经历足够长的时间以后，我们看到 1 盎司的铀可裂变成 0.865 盎司的铅和 0.135 盎司的氦。裂变过程是绝对自发的，在整个宇宙中没有哪种已知的物理力量能使其裂变过程有任何微小的或快或慢的变化。下面的表格显示其进展的速度。

1 盎司轴的衰变史

最初	1 盎司铀	没有铅
1 亿年后	0.985 盎司铀	0.013 盎司铅
10 亿年后	0.865 盎司铀	0.116 盎司铅
20 亿年后	0.747 盎司铀	0.219 盎司铅
30 亿年后	0.646 盎司铀	0.306 盎司铅

假如我们能够在任何时候测定出其形成的铅的量，同时也能测定出剩下来的铀的量，那么这很少的铀就提供了一个完美的钟。当地球最初固化时，铀的许多碎片被禁锢在岩石中，现在我们可以用其揭示地球的年龄。我们没有权利假定所发现的所有的铅都与放射性结合所形成的铀有关。但是很幸运，由铀的裂变已形成的铅与普通的铅仅有一点不同：后者的原子质量是 207.2，而前者的原子质量仅为 206.6。因此对于任何放射性岩石标本的化学分析都确切地表明，现有的铅有多少是普通铅，有多少是由放射性裂变而形成的。后一种铅的量与现存下来的铀的量的比例告诉我们一直在进行的裂变过程的确切时间。

总的来说，所测试的所有岩石标本都是这样的结果，而且还发现从 14 亿年前或更长时间地球固化以来放射性钟就开始记时。放射性钟并不能告诉我们在这之前地球已经以可塑状态或液态存在多少年了，因为在这最早的状态中，裂变的产物往往互相分开。

阿斯顿最近发现了一种铀的同位素，这种同位素被叫做射线铀。由于铀与其同位素的衰变期不同，两种元素的相对数量一直在不断变化中。按现在地球上残存的这些物质的数量比例，卢瑟福已计算出地球的年龄不会超过 34 亿年。实质上可能要短得多。

下面表示的是从地球固化开始到现在的时间的两种物理估计：

用原子钟确定的地球的年龄，1.按放射性岩石中铅与铀的比例确定的时间多于 14 亿年；2.从铀与射线铀的相对量确定的时间少于 34 亿年。

自从太阳系存在以来，各种天文学方法也用来确定时间。在这里，“钟”是由各种行星及卫量的轨道的形状提供的。轨道并不以相同的速度变化，但是它们的变化是由已知的定律确定的，因此数学家能根据过去的状态计算出所发生的变化的速度，并且靠计算总数就能推断出产生目前状态所需要的时间。下面的两种估计都是由 H.杰弗里斯博士做出来的：

用天文钟确定太阳系的年龄，1.根据水星的轨道确定太阳系的年龄为 10 亿到 100 亿年；2.根据月球的轨道粗略地确定太阳系的年龄为 40 亿年。

虽然这些不同的数字不能使我们对地球的年龄作出确切的估计，但是它们都表明，推算地球的年龄必须以数十亿计。假如我们希望把我们的想法用一个近似的数字来确定，那么最好的选择大概是 20 亿年。

恒星的年龄

现在我们来探讨恒星的年龄这一更复杂的问题。我们不能用一种直接的方法探讨这个问题，而须从距我们现实目标很远的地方开始。事实上，我们要从宇宙的另一端开始，进一步探讨气体的性质。

气体中的能量均分

我们已经把气体描述成一种乱飞的分子子弹。它们向四面八方发射，

偶尔相互碰撞，其结果是既改变了它们的速度，也改变了它们的方向。我们已经知道，碰撞并没有使运动的总能量减少。假如碰撞中一个分子的速度受控制，它所失去的能量就被另一个分子获得，并使后者的速度增加。运动的总能量保持不变。

我们可以设想有一颗相当重的射弹（我们称它为炮弹）进入分子的弹雨中时其速度约等于子弹的平均速度。炮弹的能量与它们的质量及速度的平方成比例。由于炮弹比子弹重得多，所以炮弹的能量也比子弹的能量大得多。假如一颗炮弹的质量与 1000 颗子弹的质量相等，它具有的能量就是单颗子弹的 1000 倍。

然而这颗重炮弹不能长时间以超过平均能量 1000 倍的速度在其较小的同伴中横冲直撞。首先遇到的是大量小子弹的迎头碰撞。几乎没有子弹射中其后部，因为它们都以相同的速度运动，所以很难从后部进行突然袭击。此外，即使它们真的进行袭击，对于大炮弹后部的打击也是很轻的，因为它们的运动速度很难超过大炮弹。不过这颗大炮弹的正面所受到的碰撞是相当严重的，小子弹的每一次碰撞都要降低其速度、减少其能量。每当碰撞发生时，运动的总能量保持不变，因此当大炮弹失去能量时，这些小子弹一定是在获得大炮弹损耗的能量。

这种能量交换将能持续多久？例如，它能持续到大炮弹的能量全部损耗并完全进入静止状态吗？这个问题是留给数学家来解决的。早在 1859 年麦克斯韦对这个问题所得出的答案被认为是一个十分准确的数学答案。大炮弹的能量并没有全部损耗掉。随着速度的逐渐减慢，情况也随之产生了各种变化。当情况发生变化时，我们发现大炮弹的能量在继续减少，但并非减少到全部能量被损耗，而是减少到其能量与子弹的平均能量相同为止。当达到这一阶段时，总的说来，小子弹的碰撞使大炮弹的能量的增加与其能量的减少差不多。因此，碰撞的结果是大炮弹的能量围绕着一个相当于小炮弹平均能量的值起伏徘徊。

麦克斯韦以及他的后人进一步证明：无论一种气体中有多少种分子结合在一起，无论这些分子的质量有多大差异，它们反复碰撞，最终形成一种状态；在这种状态中，无论是大分子、小分子、轻分子还是重分子，它们的平均能量均相等。这就是已知的能量均分定理。这并不意味着在任意瞬间所有分子的能量都十分相近。显然，物质的这种状态只能存在于一刹那，不能继续，因为任何一对分子间的首次碰撞都会立即把这种状态打乱。但就总体而言，每个分子的能量在足够长的一段时间里——比如说一秒钟里，这一秒钟在分子的生命中确实是一段相当长的时间了。在这一时间里至少发生 1 亿次碰撞——我们发现，不管这些分子是轻还是重，它们的平均能量都是相同的。

同一定理可以用稍微不同的形式来解释。空气由不同种类及不同质量的分子混合而成——较轻的是氦分子，极重的是氮分子，每一个氮分子是

一个氦分子的 7 倍重；还有更重的氧分子，每一个氧分子的质量等于 8 个氦分子的质量。定理告诉我们，在可供选择的两种形式中，尽管氦分子质量很小，但在任何瞬间，它们的平均能量都正好等于氮分子的平均能量，而这两种平均能量又分别与氧分子的平均能量相等。质量较小的分子是以它们高速的运动来弥补的。这一解释当然也适用于任何其他混合气体。

用许多不同的方法进行的观测进一步证实了定理的正确性。1846 年，格雷厄姆通过观察各种不同气体的分子从孔口进入容器的速度，测定出它们运动的相对速度。这些都证明各种不同类型的分子的平均能量都是相等的。甚至比这更早，莱利斯和其他人虽然还不完全了解其基础理论，却已经使用这种方法测定出不同分子的相对质量。因此，人们可以把它看成是一个已经建立起来的自然定律，即任何分子都不能永久地比其他同类分子保留的能量多。关于分子的运动能量，气体形成了一个组织完好的共享状态。在这种状态中，分子必须遵循的一条定律使它们平等地、公平地均分彼此的能量。

经过某些微小的修改，这一定律也适用于液体和固体。事实上，我们可以进行一个类似于把我们假想的炮弹发射到分子弹雨中的实验，并观察可能发生的现象。例如，我们把几种谷物的细粒粉末撒在藤黄或石松纲这两种植物的种子上，让它们在气体或液体的普通分子中起超级分子的作用。用一个高倍显微镜可以观察到，这些超级分子并非处于完全静止状态，而是当它们受到更小的、不可见的真分子的冲撞时进行一阵剧烈的运动。它在探索整个世界，好像它们受了舞蹈病的影响。这表示随着时间的推移，并没有运动减弱的迹象。这些运动被叫做“布朗运动”，它是以第一个在植物的树液中观察到它们的植物学家罗伯特·布朗的名字命名的。起初布朗把它们解释为受其影响的小粒子的确有生命的证据。但当他发现蜂蜡的粒子也有相同的运动时，就放弃了这种解释。在一系列令人惊异的精密实验中，布朗不仅作了观察，还测定了小的固体粒子在受到空气以及其他气体的分子碰撞时的布朗运动，并且极其精确地推断出这些气体中分子的质量。

恒星的能量均分

现在我们又回到恒星。能量均分定理不仅适用于气体、固体和液体的分子，也适用于天空中的恒星。这些数学的推导过程，无论对微小的还是很大的物质都适用。同样，一个已被证明了适用于最小的原子的定理，也适用于巨大的恒星（当然必须以假定它是正确的这一前提为基础），不会因为从微观世界到宏观世界的转换而受影响。

现在能量均分定理所需要的条件碰巧是令人惊异地简单。的确很难让人相信，这么简单的条件却能产生如此广泛的结论。它们实际上只是一个连续定律和一个因果律。换言之，体系在任何瞬间的状态，必然遵循前一瞬间状态而发展。所以在分子、在恒星或在正在讨论中的其他天体中，任

何状态都不是随心所欲的。总而言之，尽管大量的观测证据使这一点很清楚，即能量均分定律在普通气体中保持相当准确的近似值，但鉴于物理基本定律目前的混乱状态，我们不能完全肯定在分子问题上这些十分简单的条件得到满足的程度如何。

另一方面，对于是什么因素决定恒星的运动这一问题，不存在丝毫的怀疑。那是万有引力定律。恒星彼此之间有一个力使它们相互吸引，这个力与它们之间距离的平方成反比。这就是牛顿定律。但是我们无论是使用牛顿定律还是使用爱因斯坦定律，对于我们要达到的目的是无关紧要的。实际上用这两个定律来解释有关恒星的问题，其结果是没有什么区别的。有大量的证据，特别是从观测到的双星的轨道，说明用哪一个都行。就这个问题而言，其基本点是简单地推测恒星的运动是由两个引力定律支配还是由任何别的完全相似的定律支配。我们能够证明能量均分定理也适用于这些运动，不需要对原有条件作详细说明，仅万有引力定律和推测就足够了。

十分清楚地了解定理运用于恒星时的精确度是很重要的。当然它并没有肯定天空中所有恒星的能量都相等，它也没有断言天空中的巨型恒星与小型恒星的能量相等。它所肯定的是：假如我们把各种类型的恒星混杂在一起布满天空，在它们相互作用足够长的时间之后（这一点是很重要的），那些以较多能量开始运行的恒星必将把它们多余的能量传递给以较少的能量开始运行的恒星。因此，从长远的观点看，各种不同类型的恒星的平均能量必然达到相等的状态。

在分子问题上，分子间的相互作用是通过碰撞这一媒介进行的，在每个分子大约发生了 8 至 10 次的碰撞之后，才会产生能量均分，得到一个准确的近似值。在普通的空气中，这仅需要大约亿分之一秒。

在恒星问题上，我们讨论的是截然不同的时间长度。恒星发生碰撞的时间间隔是数千万亿年。假如恒星实际发生碰撞时才重新分配其能量，我们就能推测出，直到每颗恒星都经历了 8 至 10 次的碰撞后，才能获得能量均分的近似值。这需要的时间的确长得惊人。实际上根本不需要这样长的时间。因为甚至在相隔遥远的恒星之间，巨大引力比极少有的直接碰撞更有效、更迅速地进行能量均分。每当两颗恒星在运行中相距很近时，彼此都把对方拉出轨道一点，同时两颗恒星的运动方向及速度或多或少都有变化。这主要取决于恒星运行时彼此相隔的距离是远还是近。简单地说，恒星之间每次接近都导致一次能量交换；在经过足够长的时间之后，在它们之间重复发生的能量交换使彼此的能量相等。一般来说，不考虑它们质量的差异。

现在话题已经逐渐转向了关键问题，即：不同质量的恒星以各自的平均速度运行，由于有了这样的平均速度，在恒星中间能量均分已经基本实现——虽非绝对确切，但已经相当近似。

恒星必须相互作用多久才能达到这种状态？这对今天来说是一个绝对重要的问题，因为它与恒星的年龄问题有关。

恒星的速度

前面讲到如何确定双星系恒星的质量。其质量是太阳质量的 100 倍至 1/5 之间。测定双星的运动速度与测定单星的运动速度方法相同。早在 1911 年，哈勒姆积累了在他之前进行的这种测定经验之后指出，最重的恒星运行的速度最慢。他发现已知的最重的恒星与最轻的恒星的运动能量几乎相同。后者运动的高速度正好弥补了它们较轻的质量，这表明恒星的速度就如同气体中分子的速度一样，进一步证实能量均分定律。看来这是在巨大范围内的一种布朗运动。

从那时起我们积累了大量的观测证据。1922 年，西尔斯博士经深入的调查研究，发现恒星的运动表明恒星间已达到相当近似的能量均分。这一点非常令人信服。下面的表格列出西尔斯论述的最后结果。

恒星运动中的能量均分

恒星的类型	平均质量 M (克)	平均速度 C (厘米/秒)	平均能量 $1/2MC^2$ (尔格)	相应温度 (度)
光谱型 B3	19.8×10^{33}	14.8×10^{5}	1.95×10^{46}	1.0×10^{62}
光谱型 B8.5	12.9	15.8	1.62	0.8×10^{62}
光谱型 A0	12.1	24.5	3.63	1.8×10^{62}
光谱型 A2	10.0	27.2	3.72	1.8×10^{62}
光谱型 A5	8.0	29.9	3.55	1.7×10^{62}
光谱型 F0	5.0	35.9	3.24	1.6×10^{62}
光谱型 F5	3.1	47.9	3.55	1.7×10^{62}
光谱型 G0	2.0	64.6	4.07	2.0×10^{62}
光谱型 G5	1.5	77.6	4.57	2.2×10^{62}
光谱型 K0	1.4	79.4	4.27	2.1×10^{62}
光谱型 K5	1.2	74.1	3.39	1.7×10^{62}
光谱型 M0	1.2	77.6	3.55	1.7×10^{62}

这些不同类型的恒星的平均质量差异很大。表格第二栏，说明表示的范围大于 16：1。第三栏里列出了这些不同类型的恒星的平均速度。总的说来，最重的恒星的运动速度最慢，而最轻的恒星的运动速度最快。再下一栏表示不同类型的恒星运动的平均能量，说明速度的变化恰好用来使各种恒星的平均能量相等。最前两行中当然有例外发生，这指的是所有恒星中最重的星。

从这里我们看出，恒星运动的变化表示出一个真正的近似值，甚至相

当近似于能量均分。这本身提出一个问题：能量近似均分是否有其他原因促成，而并非因为长时间连续的引力作用？这后一个能动作用无疑是使它产生的原因。还有其他的东西能产生类似的结果吗？表格的最后一栏提供了答案。它表明气体必须达到的温度，以便使每个分子都像不同类型的恒星一样具有相同的能量。这很可能是一个荒谬的结论。一个重 100 亿亿吨的恒星，以每小时 100 万英里的速度在太空飞行；那么我们是否开始探讨这个问题：气体必须热到什么程度才能使其每个分子具有跟恒星相同的运动能、破坏能？提出这样的问题是否严肃认真呢？这一计算无疑是荒谬的。它本来就是荒谬的，因为它导出了一个荒谬的比例。假如观测到的能量均分是由某种物理作用，如辐射压力，即由分子、原子或速度极快的电子辐射所致，这个运动作用必须具有最后一栏中给出的温度及这一温度的物质均衡。这些温度大约是 10^{62} 度。（编者注：此处与上页温度在英文原著中未写明是华氏还是摄氏。）我们可以十分肯定地说，在自然界中不存在这种温度。由于对观测到的能量均分不能用物理方法进行论证，这就肯定是恒星之间引力作用的结果。

那么恒星的年龄就是由引力造成的一个与观测到的相同的恒星能量达到均分的近似值所需要的时间长度。

对时间长度进行的计算提出了一个复杂的，但是一点也不难处理的问题。所需要的数据都有，同时前文有关气体的理论中已明确了计算方法，故当问到数学家时，我们相信他能够提供一个可靠的、相当准确的答案。但是即使没有数学家的帮助，我们也能明白这个时间确实极其漫长。

暂时不考虑实际数字，用我们在第一章里所建立的“比例模型”这一术语进行思考就比较容易。我们用的比例太小，使恒星被缩小成微小的尘粒。我们注意到太空由于恒星非常稀少，在模型中我们不得不把尘粒相距 200 码远放置。如果把模型具体化，我们发现，即使在只有 6 颗尘粒的滑铁卢车站，其灰尘密度之大也超过太空中恒星的密度。现在我们让模型动起来，以便体现恒星的运动。为了保持恰当的比例，当然必须把恒星的速度减小到与模型线性尺寸的比例相同。这里，地球每年围绕太阳运行的 6 亿英里已缩小到了直径为 1/16 英寸大小（其圆周为 1/5 英寸）。根据恒星在太空的运行速度与地球在其轨道上的运行速度大体相同这一点，我们可以推测出模型中的每一颗尘粒的年旅行速度大约也是 1/5 英寸。因此 5 年后每颗尘粒大约移动了 1 英寸，1000 年后约为 16 英尺。这一速度是蜗牛速度的千万分之一。即使两颗尘粒迎面相对运动，它们也将需要大约 2 万年才能相遇。在滑铁卢车站里盲目地运动的 6 颗尘粒，以这样的速度，每一颗尘粒与其他尘粒近于相遇需要多长时间？

数学家对恒星的实际重量、速度及距离进行了精确的计算，发现已测定的能量均分的近似程度，说明引力的相互作用肯定已经延续了数万亿年，很可能是 5 万亿至 10 万亿年。那么，这无疑就是恒星的存在时间。

这段时间长得惊人，但我们在最终接受之前，还可以从其他方面寻找证据来进一步证实。在对地球的年龄进行推测时，我们使用了各种钟，包括天文的、地理的、物理的，令人兴奋的是它们的说法都一致。

双星系统的运行轨道

我们已经在前面说到双星系统的两个子星是如何永久地互相围绕着封闭的椭圆形轨道运行的，因为任何一个子星都逃不脱其伴星的引力控制。能量既存在于这些星系的轨道运动中，也存在于它们在太空的运动中。精确的数学分析表明，一个来自从它们旁边通过的恒星长时间、连续不断的引力的作用，最终肯定不但是在两个恒星的运动能之间，而且是在每个双星系统各种轨道运动之间产生能量均分。当最终达到这种能量均分的状态时，各恒星的运行轨道不会完全相似，但是可以表明它们的轨道形状将根据一个十分简单的统计定律进行分布。（脚注：轨道的离心率是通过下列的方式进行分布，即从 $e^2=0$ 到 $e^2=1$。e^2 的所有值是等概率的。）目前还没有发现星系的运行轨道符合这个规律。很清楚，就恒星的轨道运动而言，它们存在的时间还不足以能够使它们达到能量均分。如果不知道它们的一个或几个起点，就不可能论述它们沿着能量均分的道路已经运行的距离有多远。

下一章将更全面地论述双星系统的起源，目前似乎可以说它们是以两种不同的方式存在。

实际上，所有的天体都处于围绕一个轴心运动的状态。地球每 24 小时围绕地轴自转 1 周，木星每 10 小时自转 1 周。太阳自转的周期在日面赤道带为 26 天左右。我们可以根据观测到的围绕着太阳赤道运行的太阳的黑子、光斑以及其他特征跟踪其自转。有一种假定认为，太阳中心的旋转比这快得多，很可能在更短的天数里就能自转一周。这种推断有理论根据。大概天空中所有其他的恒星也都在自转，只是某些转得快，某些转得慢。以后我们将了解到，一颗恒星随着年龄的增长，体积可能会缩小，总的说来，缩小的同时也加快了自转的速度。数学理论表明，有一个不能超越的自转临界温度，否则就会出危险。假如恒星运行速度太快，为了安全，它只能分裂成两个，就像一个旋转的飞轮，由于驱动的速度太快而破裂一样。只有这种方法，才会产生双星系统。

除了某些例外，这个双星系统与在第一章所描述的分光双星系相同。双星系统的这两个子星一般离得很近，在望远镜里不能观察到不同的光点。只有光谱才能提供证据，说明我们是在与两个不同的天体打交道。

另一类双星（目视双星）可能有不同的起源，它们明确地以一对光点出现在望远镜中。它们最初是以星云气体的凝结体的形式出现的。这两个凝结体相距太近，彼此都不能摆脱对方的引力。这种现象肯定是经常发生的。最后它们缩小成普通恒星，而引力保持和以前一样大，于是只剩下一对必须永远相随相伴进行太空旅行的双星，因为它们从来没有足够的运动

能以摆脱对方的引力控制。这个作用产生的双星与单星裂变形成的双星极其相似，只是大小不同。这个双星系统中两个子星的距离必须与原始星云产生的、彼此分离的凝结体之间的距离差不多，同时又必须比分光双星中子星间的距离大得多。分光双星只是在直径上与破裂成碎块的普通恒星的直径相近似。这解释了为什么目视双星以两个不同的光点出现而分光双星却是以一个光点出现的原因。

在能量均分的最终状态中，正像我们已经了解到的，运行轨道的形状将是根据一个已确定的统计定律分布的。这个分布定律适用于所有大小不同的轨道。另一方面，按能量均分定律，分布所需要的时间对于各种轨道来说也不同。对于分光双星的紧凑轨道来说所需时间比目视双星更为开阔的轨道要长得多。其原因在于一个轨道形状的变化仅仅是由于从双星的两个子星旁边通过的恒星的不同引力引起的。如果两个子星相距很近，路过的恒星对它们的引力实际上是相同的。这种引力对双星中两个子星的运动方式的影响也完全相同。结果是从整体上改变了双星系在太空的运动方式，而轨道的形状却保持不变。路过的恒星对双星系的运动从整体上具有控制作用，但是对它们的运行轨道却没有什么影响。另一方面，当双星中的两个子星相距遥远时，路过恒星对子星的引力就会大不相同，这就使它们的轨道的形状有很大差异，即使路过恒星与双星相遇时彼此的距离并不很近，情况亦是如此。目视双星两个子星一般相距数亿英里远，人们又一次发现确立偏心度的最终分布所需要的时间大约是数万亿年，根据这个偏心度就能测定出椭圆形轨道。但是，对于相距较近的分光双星来说，所需要的时间似乎是这个时间的 100 倍。

下面的表格是根据利克天文台艾特肯博士所提供的材料编辑的，它表明了对那些有准确资料的双星轨道所观测到的偏心度的分布：

双星轨道中能量均分的近似值

轨道的偏心度	观测到的分光双星的数量	观测到的目视双星的数量	达到最终状态时理论上要求的星体数量
0 ～ 0.2	78	7	6
0.2 ～ 0.4	18	18	18
0.4 ～ 0.6	16	28	30
0.6 ～ 0.8	6	11	42
0.8 ～ 1.0	1	4	54

首先我们来看分光双星。在观测到的轨道中，我们看到低偏心度占优势，在 119 个轨道中偏心率小于 1/5 的不少于 78 个。换言之，大多数分光双星的轨道几乎是圆形。理论与观测都表明，当一颗恒星最初分成分光双星时，两个子星的轨道肯定几乎是圆形。表格中没有提供观测到的轨道形

状在整体上有任何变化的证据。表格的最后一栏表明，当双星最后达到能量均分时应当出现的不同偏心度的轨道的比例。在这里，高偏心度表明延长了的很扁的轨道占主导地位。

总的说来，第二栏中的观测数量与第四栏中的理论数量毫无相似之处。换言之，它表示分光双星没有任何近似的方法能达到最后状态，它们中的大多数仍保持着刚形成时对轨道的低偏心度。很自然，我们期待这一点，因为我们已经了解到，这些轨道达到最终的能量均分状态将需要数百万亿年甚至数千万亿年。但恒星星龄不可能这么大。因为，假如能，它们通过太空的运动应当表现出绝对达到了能量均分；而现在看，它们肯定没达到这一点。

现在我们转向第三栏。我们看到，一些目视双星达到理论上的最后状态，但它们不超过 0.6 的偏心度。这是很精确的近似值。高偏心度的轨道不多，意味着引力还没有足够的时间使全部轨道产生高偏心度。部分是因为，或者完全是因为这样一个简单的事实：高偏心度轨道无论是凭观察还是进行精确的测量，都是极难测定的。

那么，很清楚，对轨道运动的研究就如同对通过太空的运动的研究一样，是针对延续了数万亿年的引力作用的。在每种情况中都有一个例外的“证明规则”。在我们刚刚讨论过的情况中，它是由分光双星提供的。这对双星的两个子星相距很近，证实了引力的牵拉作用。在前一种情况中，它是由 B 型恒星提供的，这种恒星特别巨大，并且可能很年轻，使来自质量较轻的星体的引力对它们的运动没有太大的影响。

在详细地讨论这两组证据后，他们同意恒星的平均年龄大约是已经陈述过的 5 万亿至 10 万亿之间。

运动中的星团

天空中几组引人注目的亮星，像大熊座、昂星团、猎户腰带，大体上是由巨星组成，它们以有规律、有条理的结构，通过一群杂乱的小星，就像一群天鹅飞过混乱的秃鼻乌鸦和椋鸟。天鹅在飞行中通过不断地调整来保持它们的队形。而恒星不能，因为它们有规律的结构肯定会最终被其他恒星的引力打乱。质量轻的星体当然是最先被击出结构，而最大的巨星在结构中待的时间最长。观测表明，这实际上恰巧是发生在运动中的星团。无论如何，留在结构中的恒星，其质量通常都远远超过平均数。正像我们能计算出把小星击出结构的时间一样，我们也能立即推断出那些保留下来的恒星的年龄。

计算的结果进一步证实已经提到的那些结论。我们发现所用的三种天文钟都提供极其相同的时间。总的说来，天文学家们同意将恒星的年龄推测为 5 万亿至 10 万亿年。

后文将从另一方面进行研究，再一次得出与此相同的年龄。

恒星的年龄比地球的年龄长得多，这可能有点令人惊奇。假如我们承

认最遥远的星云按某种速度衰退，我们会发现正是因为星云在过去数十亿年中以目前的速度向我们飞来，才使星云与我们之间处于现在的距离。因此，我们可以推断几十亿年前星云肯定是比现在更密地挤在一起。这当然不是说从星云诞生到现在只有数十亿年。我们有理由期待一个折中的时间，使上面的两个时间至少相差不过分悬殊。

用一个稍不同的形式说明时间推测的困难程度。数十亿年的时间大概会使地球发生很大变化，并使巨大的星云在太空总的分布也有很大不同。但奇怪的是这样长的时间对恒星的作用会很小。那么我们必须假定一个比上述星龄长 1000 倍的星龄，这样我们才能解释恒星目前的状态。

这些见解的大意是：对恒星年龄的推测应该慎重，甚至应该持怀疑态度。然而，假如我们拒绝接受，那么将有大量天文现象得不到解释，大量的天文结构也会被搞得混乱不堪。我们别无选择，只有接受，并假定实际上恒星已经存在大约 1 万亿年。

太阳的辐射

在这如此漫长的时间里，太阳发出的光和热大概一直和现在差不多。确有大量的证据（后面我们再谈）表明，年轻的恒星比年老的恒星辐射量更多。因此，在其漫长的生命中，太阳肯定一直在辐射能量，甚至以往比现在辐射得更多。

假如我们的祖先思考这个问题，他们可能认为这释放出来的大量的光和热没有什么特别的。这主要是因为他们对太阳已经存在了这样长的时间不了解。只是在上个世纪中期，当人们刚开始对能量守恒定律有了清楚的了解时，才明白关于太阳能的来源是一个最难解的科学之谜。

太阳辐射明显表示太阳能的损耗；同时，正像能量守恒定律所说明的那样，能量不能产生，因此这能量一定有某个来源，它们能在相当长的时间里提供充足的巨大能量。这样的宝库到哪里去找呢？

目前太阳辐射的速度相当快。假如它的能量是在另外的发电站提供给它的，这个电站必定每秒烧煤数千万亿吨。这样的发电站当然不存在。太阳完全依靠自己的能源。它是茫茫大海上的一只船。假如太阳像这只船一样载着其自己储存的煤，或者像凯特想像的那样，其全部物质就是其储存的煤，其光和热来自煤的燃烧，那么至多几千年，整个太阳就会烧成灰烬。

科学史记载说有人试图把太阳能解释为来自外界。这是惟一的一次。我们已知道当一颗子弹的动能受到控制时其运动能是如何转换成热能的。大家熟悉的流星现象就是这方面的天文事例。

流星是像子弹一样的天体，它们从外层空间掉进了地球大气层。只要这样一个物体穿过空空荡荡的太空向地球下落，其速度会连续不断地增加。但是，当它进入大气层时，其速度由于受到空气的阻力，于是它的运动能就逐渐转换成热能。流星首先变热，然后白炽化，发射出我们看得到的明亮的光。最终，热量使其完全气化，并从眼前消失，仅在其背后留下

一个瞬间发光的气体的尾巴。流星的原动能已经被转换成光和热，——正是由于这光，我们才能看见它；也正是由于这热，最终它才气化。

1949 年，罗伯特·梅耶认为太阳辐射出的能量可能是因为流星以及类似的天体坠落于大气层得到的。这种说法是站不住脚的，因为一个简单的计算表明，相当于整个地球质量的此类物质很难使太阳的辐射维持 100 年。如果要使太阳连续辐射 3000 万年，这些坠落的天体将会使太阳的质量增加 1 倍。太阳的质量以这样的速度不断增加，这是不能被承认的，所以必须抛弃梅耶的假说。

1853 年，亥姆霍兹提出了一个极其类似的理论，即著名的“收缩假说”。根据这一假说，太阳本身的收缩最终释放出辐射能。假如太阳的半径缩短 1 英里，其外层大气的高度就下降 1 英里，所释放出的能量与相同质量的流星下降 1 英里，或者使其运动受阻燃烧所产生的能量一样多。在亥姆霍兹的理论中，太阳本身的各部分所起的作用正是在梅耶所说的从外部落入的流星的作用。太阳各个部分一次又一次地充当了流星的角色，直到最终收缩到不能再收缩为止。然而亥姆霍兹的理论与梅耶的理论一样经不住数学计算的验证。1862 年，克尔文勋爵计算出太阳收缩到目前的大小，几乎不可能已经辐射达 5 000 多万年之久，而前文中介绍的证据表明，太阳辐射的时间肯定远比这长得多。

为了成功地探索太阳能的实际来源，我们必须放弃猜测，从一个新的角度来探讨这个问题。我们已经了解射线本身是含有质量的，任何一个正在辐射的物体必然会损耗其质量；我们知道，用 50 马力的探照灯放射出的辐射，大约以每百年 1/20 盎司的速度减少其本身的质量。现在太阳表面的每 1 平方英寸正好是一只大约 50 马力的探照灯，由此我们可以断定，太阳的质量正在以大约每平方英寸每百年 1/20 盎司的速度减少。这样的质量损耗似乎很小。我们用太阳表面积的平方英寸的总数乘它，进一步算出太阳质量损耗的速度是每秒超过 400 万吨，或是每分钟大约 2.5 亿吨。这大约是尼亚加拉大瀑布水流量的 650 倍。

关于太阳及恒星的历史。我们继续做乘法运算。每分钟 2.5 亿吨，每天损耗的质量是 3 600 亿吨。这样，太阳在昨天的此时肯定比现在重 3 600 亿吨，而在明天的此时将比现在轻 3 600 亿吨。一天 3 600 亿吨，一年则是 3 600 亿吨乘以 365。我们可以用这种方法推测过去、探索遥远的未来。但我们很快遇到麻烦，它打乱了我们前面所有的计算。沙子并非总是以相同的速度流过沙漏。太阳失去质量的速度，今天与明天，甚至 1 个世纪或 100 万年内不会有明显的变化。但我们必须警惕，不要走得太远。假如太阳继续以现在的速度辐射，一个简单的除法计算说明它将继续存在约 15 万亿年。到那时，太阳最后 1 盎司的质量也将会消失。这使我们形成了一个清晰的概念：太阳真是太重了，它还能继续以 650 倍于尼亚加拉大瀑布水流量的速度将其物质释放到太空达 15 万亿年之久，直到枯竭！

然而，显然我们不能用这种简单轻松的方法进行计算。认为太阳最后一吨物质释放能量的速度与目前这个重达 $10^{28}\times2$ 吨的巨大的物质释放能量的速度相同，那是荒唐的。1924 年以爱丁顿发表的论文而告终的一系列的调查，用一种普通的方法揭示了恒星的光度主要取决于其质量。但这个条件既不十分精确，也不普遍。当我们得知一颗恒星的质量时，我们就可以比较准确地说出其光度，这大概有很大的或然性，要局限在某一相当窄的范围内。例如，发现了大多数与太阳质量几乎相同的恒星的光度也几乎与太阳相同。总的说来，正如人们所料，小星比巨星辐射的能量少，而且——这不能预知——它们辐射能量的差异远比质量的差异大得多。我们已经提到的规律对于太阳周围的一些恒星来说是正确的，尽管在另种意义上说，对于恒星整体来讲——巨星每吨的发光强度最大。例如，质量只是太阳一半的一颗普通星释放出的能量不能是太阳释放的能量的一半，而大概是 1/8 左右。按这种说法，太阳的寿命就要延长。所有恒星的寿命也的确如此，而且延长的时间几乎是无限的。恒星老年时能量的释放似乎才会逐渐节俭。只要它们有足够多的质量，它们就过度地挥霍，但当它们逐渐损耗光时，它们就缩小挥霍量。当沙漏中的沙子所剩无几时，它们也会放慢流速。

同样，质量是太阳 2 倍的普通恒星释放出的能量，也不仅仅是太阳所释放出的能量的 2 倍，它释放出的能量大约是太阳的 8 倍。在推测太阳的年龄时，我们必须记住这一点，能量的损耗把太阳过去的生命缩短了，而把它未来的生命延长了。观察告诉我们任何已知质量的恒星在辐射中损耗其能量的速度。同时，假定太阳在自己过去相应阶段中表现得像个典型的普通恒星，据此我们可以画一个表格来显示其一生中质量逐渐变化的情况。请看下表：

20 亿年前，太阳的质量是现在的 1.00013 倍

1 万亿年前，太阳的质量是现在的 1.07 倍

2 万亿年前，太阳的质量是现在的 1.16 倍

5.7 万亿年前，太阳的质量是现在的 2 倍

7.1 万亿年前，太阳的质量是现在的 4 倍

7.4 万亿年前，太阳的质量是现在的 8 倍

7.5 万亿年前，太阳的质量是现在的 20 倍

7.6 万亿年前，太阳的质量是现在的 100 倍

表的第一项表示地球诞生的大概时间。它说明，自从地球存在以来太阳质量的变化是微不足道的。因此尽管我们不能肯定，但在地球诞生时，太阳就和现在大致一样，而且在地球的整个生命中太阳的所有的重要方面都大致一样。

要获得明显不同的情况，我们就必须追溯到地球诞生之前的遥远过去。做到这一点很容易，因为我们已经明白了地球的整个生命在恒星的生

命中只是一瞬间。我们已经测定出地球的生命大约为 5 万亿至 10 万亿年。只有当我们追溯到极其遥远的过去，我们才能发现太阳的质量与现在有明显的不同。例如，我们只有回溯到 5 万亿年之前才会发现太阳的质量是其现在质量的 2 倍。当我们逆向追溯到比这更遥远时，就会出现一种新的现象，即太阳的质量开始飞速上升。最后我们看到每 1000 亿年其质量开始加倍或多于 1 倍。如果不假定一个十分难以想像的、不可能达到的质量，我们就不能追溯到 8 万亿年以前。那么，太阳一定是诞生在 8 万亿年前的某个时候。

表格中数字的准确性经不起推敲，但是作为观察的一般事实，毫无疑问，巨星以异乎寻常的快速度辐射出能量，并且损耗质量。这个过程相当快。除了这些详细的计算之外，这个总原则不仅限定了太阳的年龄，而且也限定了其他每颗恒星的年龄。太阳的年龄极限当然是大约 8 万亿年。

总之,这正好与其他计算所确定的恒星 5 万亿至 10 万亿的年龄相当吻合。这些计算方法相互补充，看起来似乎至少有两个谜正在开始令人满意地解开了。假如天空中所有的恒星都与太阳类似，我们对已经得出的结论充满无限的信心。

令人遗憾的是，当我们刚开始讨论目前那些比太阳重许多倍的恒星的年龄时，就遇到了困难。前面那张恒星能量均分表表明，6 倍于太阳质量的一种恒星（光谱型 A0）在太空中的运动完全符合能量均分定律。除非这是一种纯粹的巧合（这不可能，因为其他质量稍轻一点的恒星也正好符合），否则我们必须确定这些巨星的年龄为 5 万亿至 10 万亿年。然而，一般巨星目前的辐射量是太阳辐射量的 100 倍左右,这意味着每 1500 亿年其质量减少 1/2。很清楚，这个过程不可能已经进行了 5 万亿至 10 万亿年。

讨论更明亮的恒星时问题更突出。小麦哲伦星云的 S 剑鱼座目前的辐射量是太阳的 30 万倍。而太阳正在以尼亚加拉瀑布流量的 650 倍将其质量倾注于太空之中，S 剑鱼座正以尼亚加拉瀑布流量 2 亿倍的质量向外喷发。每 5000 万年失去的质量与太阳的总质量相等。想像一下，数万亿年来 S 剑鱼座一直以这样的速度在失去其质量，这是荒谬的。

对于像 S 剑鱼座这样的恒星，只有两种可能的解释。也许它是近期（按天文尺度）才产生的，目前仍处于最慷慨的年轻时代初期；也许其质量的损耗在过去的大半生中以某种方式得到了抑制。大量的论证反驳该星产生于近期的假设。恒星是星团成员之一，我们当然期待星团中所有的恒星年龄都差不多大。它在太空中处于一个没有迹象表明有恒星诞生的区域。即使我们接受了这颗特殊的恒星是近期产生的假设，我们对恒星能量均分表中列出的其他巨星的年龄已达到能量均分状态这一点会迷惑不解。

出于种种理由，我们更愿意，或者说必然要提出这样的假设：这些非常明亮、非常重的恒星在大半生中经过巨量的辐射之后以某种方式保存下来，它们的质量迅速地被消耗。简单地说，我们假定它们处于抑制发展状

态，其质量及总的外观与它们的实际年龄都不相符。稍后我们将提出一个物理作用过程。它极简单明了又很自然地解释发生的原因。

假如这种假说可以接受，所有的问题就都清楚了。我们一旦接受它，就可以随心所欲地为恒星确定年龄，当然要选择被能量均分定律所指明的那些，无论如何要选择能证实这一规律的恒星，确定其星龄。

我们刚刚讨论过的那些特别亮的恒星是天空中比较稀有的天体。大多数恒星的光度及质量接近于或明显地小于太阳。承认这些是没有困难的。事实上，如果为了说明许多其他恒星而不得不求助于太阳，那么抑制发展的假说便不攻自破了。它之所以可靠，是因为我们很少使用它。我们可以接受前面那张太阳质量的表格，因为它比较准确地说明了太阳的历史，我们能确定其年龄大约为 8 万亿年。对天空中大多数恒星，也可以画出一张大体上类似的表格。

恒星的能源

我们为恒星确定 5 万亿或更长的年龄。太阳在刚刚诞生时，其质量肯定至少是现在的 2 倍，或很可能是几倍。因为太阳诞生时，每 1 吨的物质仅有几英担（1 英担=50.80 千克）保留至今，其余的物质已转换成辐射能释放到太空，永远地离开了太阳。

前一章里我们有机会讨论了物质以辐射来转换，其转换伴随着放射性原子的裂变。地球上已知的这种现象最大的例证就是从铀到铅的转换。在转换过程中，大约总质量的 1/4000 转换成辐射能。在太阳上这种转换相应的分数也许是 1/2，也许是 9/10，也许是 99/100，但无论它是多少，肯定超过 1/4000。因此太阳产生光和热的过程，肯定包括了比地球上任何已知的过程都更为巨大的从物质的质量到辐射能量的转换。

布朗和爱丁顿曾经认为这个过程可能就是复杂的原子核产生于质子和电子的过程。爱丁顿经过精心思考的这个最简单、最恰当的例证是在氦核产生中发现的。一个氦原子的成分正好与 4 个氢原子，也就是说 4 个电子与 4 个质子的成分相同。假如这些成分不需从物质的质量到辐射的任何转换就能重新调整，氦原子就是氢原子质量的 4 倍。事实上，阿斯顿发现质量的倍数仅仅是 3.970。它与 4.000 的差就是当 4 个氢原子结合而产生（如果产生的话）氦原子时所释放出的辐射能量。1/130 的质量损耗远比放射性转换中的质量损耗大得多。但是即使如此，它也不能确切地说出恒星的年龄。太阳从最初由纯氢到完全由氦组成的这个转换，以目前的辐射速度看，太阳只能再辐射约 1000 亿年。能量均分的有力证据，以及我们在后面将要研究的其他证据等等，说明恒星应该具有远比这更长的生命。

物质的湮灭

现代物理学只能假定一颗正在辐射的恒星有足够长的生命过程，这就是物质湮灭。各方面的证据都表明，大体上，巨星中绝大部分原子与较小星体的原子并没有本质的不同，因此导致巨星与小星之间质量差异的主要

原因并不是原子质量上的差异，而是原子数量上的差异。一颗巨星只要使其原子消失，它就变成了一颗小星。这些原子肯定是湮灭了，而它们的质量转换成了辐射能。

1904 年，我第一次注意到能够由物质的湮灭产生的大量的能，正、负电荷一起冲撞，相互歼灭，并把它们的能量以辐射的形式释放到太空。第二年，爱因斯坦的相对论提供了一种计算给定的物质湮灭产生能量的方法，它表示能量以每克 9×10^{20} 尔格的速度释放出来，不考虑被湮灭物质的性质及状态。后来，我计算出恒星产生这些能所需要的时间，但是计算出来的数万亿年的存在史似乎比当时天文史料记载的时间更长。从那时起，不断地积累新的证据，特别是这一章里讨论的证据，要求恒星的寿命就应该这么长。这样一来，现在大多数天文学家认为恒星的能量最大的可能来源于物质湮灭。

除了刚刚提到的之外，还有其他的见解，认为物质湮灭是在恒星中进行的基本过程。假如没有物质湮灭，一颗恒星的质量没有多大变化，例如，像伴有放射性裂变的 1/4000，或者由氢原子产生的氦原子的 1/130。实际上，一颗恒星将终生保持其质量而不变。当然这肯定是把一种见解强加于恒星，即比我们所认为的恒星曾有过的寿命更短，因为每天太阳的辐射使其本身的质量损耗 3600 吨这一事实不能改变。所以假如太阳的质量没有太大变化，它就不可能已经辐射了如此长的时间。

我们已经知道，在今天的宇宙中，一颗恒星的光度主要取决于它的质量。假如我们设想事物所处的条件相同，那么在其整个生命中质量一直保持不变的恒星，其光度也应该不变，至少直到它们的辐射能量耗尽为止。否则与观测结果相反。我们发现与太阳质量相同的恒星也会有各种不同的光度。因此，假如我们抛弃物质湮灭假说，就有必要设想某种控制媒介，一种能够使质量与太阳相等的恒星、其辐射速度也与太阳大体相同的媒介，至少直到质量彻底耗尽，使它们不再辐射为止。对于所有其他质量的恒星也是如此。

这似乎并不是一般地反对假定这样一种控制媒介的存在。实际上，拉塞尔与爱丁顿都提倡过这样的控制媒介。但是当我们对此进行详细讨论时，我们遭到了各种各样的反对，这些我们将在第五章论述。据我们所知，反对的理由是，由它控制的恒星应该处于一种非常易爆的状态。我们立刻放弃了对于这个控制媒介的假设。观测到的光度对于重量的严重依赖，迫使我们设想一颗恒星的质量随着光度的变弱而减少，这很快又使我们回到物质的湮灭这个问题上来。

这里可能会涉及到针对同一问题进行的进一步的研究。我们已经知道，每吨物质的发光强度在最重的恒星中是最大的。因为每吨能量损耗的直接结果在最重的恒星中是最大的。当一颗巨星每吨损耗 1 英担的质量时，一颗小星质量的损耗仅是每吨几磅。其结果是，时间的推移趋向于使

恒星的质量相等。毫无疑问，这个规律大体上解释了为什么现在的恒星质量变化的幅度不太大。当把这一规律应用于双星系中的两个子星时，结果也是有意义的。这表明，随着双星星龄的增长，其两个子星的质量应该逐渐趋于基本相同。这样，老龄双星系两个子星质量的差异比年轻的双星系中两个子星的质量差异小。

最后的结论可以根据观测进行验证。艾特肯发现一个双星系两个子星的质量比率是从质量大的较年轻的星系的 0.70 增加到较老星系的 0.90。较老星系中的两个子星大体上与太阳类似。变化的方向是靠理论预测的，变化的总量表示在两种有关的状态之间有 5.4 万亿年的时间间隔。这正好与前面对太阳年龄的估测十分一致。但这是靠不住的，因为其依据多少有点不足。

总的说来，无论我们试图从哪个方向回避物质湮灭假说，无论我们提出哪种假设来解释事实，似乎迟早总会回到物质湮灭这个观点上来。

我们切不可低估这一变化给物理科学带来的变革性冲击。它是由这一假说引发的。19 世纪物理学的两大支柱理论——物质不灭和能量守恒理论双双失败，或者说被一个单一实体的守恒论所取代。这一单一实体可以从物质变成能。于是，物质和能再也不是不可毁灭的，而是以每克 9×10^{20} 尔格的不变的速度由物质转换成能。

然而从另一个角度看，这个假说仅仅是在过去已有的基础上把物理学又向前推进了一步。热、光、电都先后被证明是能的不同形式。湮灭这一假说只表明在原有的单子上再加一条，因为物质本身也是能的一种形式。

根据这一假说，在地球上维系所有生命的能、使地球温暖并生产粮食的光和热以及供我们燃烧的储存了太阳能量的煤和木材，追根溯源，它们统统起源于太阳中电子和质子的湮灭。太阳正在毁灭其物质，以使我们能生存。或者，也许我们可以更确切地说，只有这样我们才能生存。实际上，太阳及恒星中的原子是能源瓶，每个瓶都会被打碎，并使其能量以热和光的形式释放出来，遍及整个宇宙。太阳和恒星诞生时就拥有的大多数原子已经通过辐射而消失了，剩下的最终也必然如此。半个世纪前的科学家很高兴地把煤生动地描绘为“瓶中的太阳”。他们要求我们这样看待阳光：在远古时代，当阳光照在原始丛林上时，它被装到瓶子里并储存起来，以便数百万年以后的我们用来烧炉取暖。根据现代观点，我们必须认为它们是再装瓶的阳光，或者说是再装瓶的能量。第一次装瓶发生在数万亿年前，在太阳及地球还未诞生时，能量第一次被封闭在质子和电子中。我们不把太阳简单地看成是一大堆原子，而暂时把它看成是存放了大量能量瓶的巨大仓库，业已存放了数万亿年。这些太阳能源瓶相当大，并且每个瓶中都储存着巨大的能量，使太阳在辐射光和热长达 7 万亿或 8 万亿年之后仍然有足够的能量继续为未来的数万亿年提供光和热。

两个定量研究可以帮助我们比较清楚地说明这些过程。我们已经知

道，太阳现在的原子储量以目前的损耗率能够持续 15 万亿年。这意味着每年在 15 万亿原子中只有 1 个毁灭了，这个原子对于太阳所产生的大量的、连续不断的能量来说似乎是微不足道了。但是，我们可想像以每平方英寸约 50 马力的速度连续不断地从太阳表面释放的能量是产生于巨大的太阳内部；从每平方英寸的表面释放出的能量是在每平方英寸横截面、43.3 万英里长的锥体中产生的所有能量。这样一个锥体包含了大约 10^{33} 原子，虽然每年在 15 万亿个原子中只有 1 个毁灭,但实际上每秒大约仍有 2 万亿个原子被毁灭。

物质湮灭所释放的能量是颇惊人的，这种能量与用其他方法产生的能量完全不同。例如，一吨最好的煤在纯氧状态中燃烧，产生的能量约为 5×10^{16} 尔格；一吨煤的湮灭产生的能量为 9×10^{26} 尔格，这是前者的 180 多亿倍。煤在普通条件下燃烧时，我们仅获得煤中能量的精华。其结果是，总质量的 99.999 999 994/100 以烟、煤渣和灰的形式留下来。湮灭则什么也没留下，它燃烧得极彻底，既没有烟、灰，也没有煤渣留下来。假如我们在地球上能使煤燃烧到如此彻底的程度，一磅煤产生的能量能使整个英国，包括家庭炉火、工厂、火车、电站、轮船等等使用两个星期。比豌豆还小的一块煤，就能使“毛里塔尼亚”号往返于大西洋。

纯天文数据已导致形成了一个结论，即原子正在太阳与恒星中连续不断地湮灭。这里我们有一点困惑，这个问题刚好与前一章我们勉强讨论过的内容一致。正如我们在前一章所看到的，数学、物理方面的近期调查表明，在地球上获得的穿透力极强的辐射来源于外层空间物质的湮灭。在地球上获得的辐射量特别大，这使我们假设：把潜在的物质湮灭看成是宇宙的主要变化过程之一；现在我们发现这很可能是使太阳和恒星不断闪光并使宇宙存在的过程。

物理解释

设法进一步探索物质湮灭这一过程的物理性质大概是值得的，但是有一点必须先提出来，即探讨的内容是猜测性的，也就是说，目前还没有被直接观察、予以证实。

上个世纪电动力学理论指出：原子中的核与电子之间的距离应该随着时间的推移而愈来愈近，直到最后它们相互冲撞并结合在一起。这时，电子的负电荷与核子的正电荷相互抵消，同时它们的能量闪电般地辐射释放出去，就像两片分别带有正电和负电的雷雨云相遇时正负电荷相互抵消一样。

最近的量子理论指出，当核子与电子相互接近，一旦相距 0.53×10■厘米时，就停止进一步接近。这样就使整个宇宙活动频繁。当正负电荷相距上述距离的 4 倍、9 倍、16 倍等等时，也会发生停止现象。但这里对进一步向前运动的阻碍不是绝对的。在这些较长的距离中，量子理论所说的“这样远了，你不能再向前走了”似乎被“要到很久以后才能向前”的说

法所替代。根据天文资料，短距离的阻碍也可能不是绝对的。从物理的目标看，没有什么已知的东西是确定的，虽然这看起来又一次与较新的物理概念相冲突。例如，波动力学观点认为：或者对氢原子，或者对其他更复杂的原子，这种绝对的阻碍都可能存在。大概在离原子核最近的轨道上等待了很久以后，电子就获准继续运动，甚至受到怂恿或者强迫继续运动。电子将自己与核子合并在一起，于是瞬间辐射就在恒星中产生。这为电子和质子的湮灭提供了最明显的物理过程。这似乎也是天文学所需要的例证。然而，人们将更清楚地了解并认为这是一个纯粹想像出来的物理过程。我们将在第五章里回过头来进一步研究这个十分复杂的问题。

假如这一想像被证明是站得住脚的，那么，不仅为恒星提供光和热的原子，而且宇宙中每个原子都注定要毁灭，并最终在辐射中消失。这个固态地球如永恒的山丘，即使不像恒星那样快，但肯定也会消失，正如诗云：

那白云缭绕的巨塔，

那富丽堂皇的宫殿，

那庄严神圣的庙宇，

还有那巨大的地球自身，

是的，还包括地球承载的一切，都将永远消失，决不留下任何痕迹。

如果宇宙最终只落得这样一个结局，我们是否要引用这样的诗句：“我们都是微不足道的芸芸众生“仿佛在梦中；

“我们短暂的一生

“在睡梦中结束。”

——或者我们干脆不理这诗文？探索大星云和恒星是如何诞

生的，探索双星是如何形成的。

在重点探讨太阳系起源问题时应

用了拉普拉斯的星云假说、潮汐

理论、洛希极限说等。

第四章探索宇宙

我们已探讨过令人惊异的空旷宇宙：整个滑铁卢站散布着 6 颗尘埃，代表着恒星占据空间的最密集度。可能会有人说，6 颗尘埃中含有上亿亿个分子。但我们所说的太空之所以空旷是因为这巨大数目的分子正好聚集成 6 堆物质。在太空中这种聚集单位是恒星，平均一颗恒星含有约 10■个分子——数目之大令人无法想像。太空的空旷并非由于分子数目的稀少，而是因为恒星之间延伸着稀薄的气层，而且分子又聚集成我们称之为恒星的内含 10■个分子的星体。为何太空中的分子以如此方式聚集，而在我写作或你阅读的房间里的分子却不呢？

按照科学方法，为了揭示这些聚集团形成的原因，首先得研究是什么东西将其约束成团的。地球的大气层包含有约 10■个分子，这些分子为何被约束成一个大气层而不散向太空呢？问题的答案在于地球引力。从地球

表面以 6.93 英里/秒速度射出的子弹会逃逸进入太空，这是因为当子弹以这么大的速度运动时，地球的引力不足以将它拉回。但是一颗运动速度小于 6.93 英里/秒的子弹逃脱不出地球，因为其速度不够使它挣脱地球的引力。故运动速度不足 0.333 英里/秒的大气层分子“ 子弹 ”根本不具备逃脱地球引力的能力。地球引力不断将这些分子拉回，使它们始终覆盖地球。

一个大气分子很少有与其他分子之间产生连续碰撞从而获得超过 6.93 英里/秒的速度的机会。如果地球大气层外表面有一个分子达到这种速度，便会逃出地球的束缚而加入到星际间的散逸分子团中。地球不断地以这种方式释放其大气分子，但计算表明，这种释放即使经历上百万年，都不会相当明显，因而我们可将地球的大气层视为永恒不变。

太阳也是如此。太阳的热力将其大气层的分子分裂成原子，这些原子的平均速度可达到 2 英里/秒。但一颗原子子弹的速度必须要达到 380 英里/秒才能挣脱太阳的束缚，因此太阳的原子只能被稳住而形成太阳大气层。

如果一个普通房间的所有空气分子在房间中央聚成一团，则该气团会对其最外层的分子产生一种类似地球或太阳对其大气层分子所施加的引力。但由于这种分子团的质量小，其引力也就小。事实上，这种引力小到 1 个世纪 1 码的速度就足以达到使其外表面分子挣脱其束缚的程度。由于普通空气分子的运动速度达到 500 码/秒,故这种气团顷刻之间便会分散于整个房间。另一方面，如果房间大得可以容下太阳，则其分子可以呆在中央的球团之中，类似于它们在太阳中的情形。外层分子需要至少 380 英里/秒的速度才能逃逸,因此普通分子 500 码/秒左右的实际速度是做不到这一点的。

关于行星大气层：

一般而言，逃逸与束缚之间的矛盾来自于外层分子速度与内部物质团体对其施加的引力之间的抗争。太阳系中有许多这样的例子。月亮对其大气层分子的引力只有地球的 1/6，因此月球即使有大气层，现在也都该逃逸了。水星引力虽然有地球引力的 2/5，但由于它接近太阳，其朝阳面非常灼热，因而它的大气分子也逃逸了。火星对其大气层表面分子的引力虽然只有地球的 1/5，但其外表相对要冷。计算表明水气与重分子应被束缚住，而氦与氢这些较轻的分子应逃逸。这可能与事实相符。土星的最大卫星以及木星的两颗最大卫星的引力约等于月球的引力，但由于它们的表面比月球表面要冷，故其表面保留有大气层。一些观察员声明他们已经看到了这三颗卫星表面的大气层迹象。太阳系四颗主行星对其分子的引力均强于地球，故能很容易地束缚住大气层；金星对其大气分子的引力约等于地球的引力，故也能保住其大气层。

这些分析足以解释，为什么星体分子一旦聚集成团便能保持住这种状态。但是有关这些聚集团最初为什么和怎样能聚集形成的问题却复杂得多。例如，是什么因素决定每颗星中的分子数目大约是 10■个而不是 10

■或 10■个？

引力的不稳定性

我们很自然会想到现在维持一颗星球成一个整体的引力是否不同于该星球第一次聚集而成的力量。为此，有必要仔细研究一下引力的聚集力。

在牛顿发表其万有引力定律 5 年之后,特利尼提(Trinity)大学的本特利(Bentley)校长写信给他,询问新发现的万有引力定律是否不能解释物质聚集成星球这一现象。我们在牛顿 1692 年 12 月 10 日的一封信中找到了他对上述问题的回答：“ 我似乎觉得太阳、行星以及宇宙里的所有物质都均匀地散布在整个太空，每颗微粒对其他微粒均有一种自然的引力。这些物质分散的整个空间是有限的，该空间外层的物质会因引力而倾向内部的所有物质，因而在整个空间的中心形成一个大的球体。但如果物质被均匀分散在一个无限的空间，则其永远不会聚成一团。但是物质中的一部分会聚成一小团，其他部分会聚成不同的小团，故而形成无穷多的团，在无限的空间里彼此间相距甚远。如果这些物质是可见的，则这种方式便形成了太阳与固定的星球。 ”我于 1901 年开始进行的一项数学研究不仅大体上证实了牛顿的假设，而且提供了一种方法用以计算在引力作用的条件下所形成的聚集团尺寸。

凝聚的形成

如果你站在房间中央拍动手掌，或像平常说话那样发出声音，用物理学家的专业术语来描述，则是在制造声波。当手掌互相接近时，它们之间的分子受到排挤。这些受排挤而逸散的分子与外层空气的分子发生碰撞，后者进而与更外层的分子碰撞。这种原先由手掌运动而产生的碰撞便以波的形式传递下去。尽管单个分子的运动速度可达平均 500 码/秒，但其不规则的运动减小了其碰撞速度。正如我们已经发现的那样，这种碰撞速度大约只有 370 码/秒——为声音的常速度。当碰撞这种运动方式被传递到任何一点时，该点的分子数便会大大增加。这是由于逸散分子增加了该点的分子数额。在这种情况下自然会产生一种大的压力。正是这种压力作用通过人的耳朵鼓膜，然后传送至大脑产生感觉，这就是我听见你拍手掌时产生声音的原因。

这种大压力所持续的时间自然不会长，那些产生这种大压力的大量分子会很快分散，因而波会继续传播下去。然而这种分子的分散会受到一种因素的妨碍：每个分子都会吸引其邻近分子，当分子数目相当大时，这种吸引力也会相当大。在一段普通的声波中这种分子数不会太大，但正是这些数目不算太大的分子数会拉回周围的分子，阻碍它们自由扩散。可是当这种情况发生在宇宙天文规模下时，相应的引力就会变得非常重要。让我们来讨论一下空间某一区域空气的分子数大于邻区平均分子数,即所谓‘ 凝聚 ”时的情形。如果凝聚达到一定的程度，则其产生的引力会足以阻碍分子的扩散。在这种情形下，这种凝聚会因从外界吸引入更多的分子而不断

膨胀，而这些被吸引的分子的速度再也不能使它们逃逸。

这种情形是否会发生，自然取决于空气中分子的运动速度以及凝聚团的大小，但决不会取决于凝聚过程的进展程度。当凝聚团的分子数目加倍时，凝聚的进展程度会加倍。在这种情况下，造成凝聚团加大的引力虽然会加倍，但造成凝聚团扩散的压力也会加倍，即引力与扩散压力这一对矛盾的两个方面都会加倍。尽管如此，矛盾仍会向相同的方向发展。一旦条件有利于凝聚团的扩大，凝聚团会继续自动地增大，直至空间内无其他分子可以吸收为止。

凝聚的程度越大，则越有利于其继续增大。在其他条件相同时，直径为 200 万英里的凝聚团所产生的吸引力是直径为 100 万英里的凝聚团的 2 倍，但它们内部分子扩散的压力是相等的。因而凝聚团的尺寸越大，越有可能继续增大。可以想像，该聚团增大到某一程度时便只能一直不停地增大下去。此时自然的法则等同于无限制的竞争，我们会发现起先就大的凝聚团有能力继续增大下去，而那些一开始尺寸就小的凝聚团只会扩散开去。现在假定一个巨大的均匀分布的气团在太空中沿各个方向延伸亿万英里。任何一次破坏其均匀性的扰动可以被看成是建立任一可想像大小的凝聚团。

这一点起先似乎并不明显，因为有人可能会认为一次只影响小面积空气的扰动可能仅仅会产生一个小程度的凝聚团。这种想法忽视了任何一个小物体在整个宇宙中施加万有引力的方式。月球会引起遥远的地球乃至更远星球上的潮汛，尽管对后者的影响远不如前者。每一次某个儿童从其摇篮里扔出玩具时，就会影响到宇宙每颗星球的运动。因此，只要有万有引力存在，其影响就会波及整个宇宙。产生凝聚团的扰动越剧烈，则最开始的凝聚程度会更深，但是即使是最微弱的扰动也一定会导致凝聚的产生，尽管此时凝聚的程度非常浅。从前面的分析中我们可以知道，一个凝聚团的增大、扩散与否并不取决于它的密度，而取决于其大小。不管一开始的凝聚程度有多么微弱，大的凝聚团始终能继续增大，而小的则会消失。最终只会存在一些大的凝聚团。前面提到过的数学分析表明存在一个确定的最小质量，任何一个小于该质量的凝聚团均会扩散消失。我们目前的讨论只需一个近似数值即可。该最小质量是这样定义的：将该质量气体的 1/10 隔离在太空中，而去掉所有剩余的气体，此时分子刚好不能逃逸其表面。[①] 我们之所以说原先均匀分布的气团“不稳定”，是因为任何扰动，不管该扰动有多么轻微，总会导致其结构的完全变化。这有点类似于平衡于尖点的筷子，或是正要破灭的肥皂泡。原始混沌状态

这些大体上的理论结论现在可以用来解释任何气团。让我们首先看一

[①] 该定义值非常近似，不完全精确。精确的数学分析表明最小凝聚　子速率、引力常数、起始密度与比热。而以速率 C 运动的分子刚好不能逃　团的最小质量是刚够束缚住分子凝聚团质量的 9.7 倍。

看牛顿“物质均匀地排列在整个无限的空间里”的假设。假定我们返回到组成现在星球与星云的物质均匀地散布在空间里的远古时代，简短地说，返回到大多数宇宙学理论起源的那个原始混沌时代。哈勃(Hubble)曾预言，如果我们已知宇宙那些部分的所有物质均匀地分布在整个太空，以上述方式形成气体的密度只有水密度的大约 1.5×10■倍。这种预言值偏低，甚至代表了现

有的情况。为了重塑原始气体，我们必须加入一些东西来弥补在原始大爆炸时期变为射线的那些分子和原子。总之，10■也许是假定原始星云密度值。它低得简直令人不可想像。在一般情况

下，空气密度为水的 1/800，每两个相邻分子间的平均距离大约为八百万分之一英寸；而在我们现在所讨论的原始气体里，相应的分子间平均距离却有 2 码或 3 码。这种强烈对照又导致了空间里相

当空旷这一观点的产生。

那么，在这种原始大气里能够维持住的凝聚团的最小质量又

是多少呢？

计算表明：如果将通常状态下的空气稀释到这种特殊的程度，

则没有凝聚团能够维持住并继续增大的可能，除非凝聚团的质量至少大到太阳质量的 62.5×10■倍。任何一个小于此质量的气团对其最外层分子的引力都将是微乎其微的,这些分子有 500 码/秒的通常速度便能立刻逃逸出整个凝聚团。

相对于水的密度*分子速率 500 码/秒*分子速率 600 码/秒*分子速率 2000 码/秒*分子速率 3000 码/秒 10■*0.250 亿*2.000 亿*15.000 亿*50.000 亿

10■*0.625 亿*5.000 亿*4.000 亿*130.000 亿

1.5×10■*1.600 亿*13.000 亿*100.000 亿*300.000 亿

我们可以对其他假定的气体密度及其他的分子速度来进行类

似的计算。上表显示了会在原始混沌气体中形成的凝聚团的质

量。该原始气体的密度在表格的第一栏，各种分子速率在表格其他栏的上方。在每种情况下，凝聚团的质量以太阳质量的相对值给出。

所有已知恒星均有可与太阳质量相比的质量值。因此如果像牛顿所假设的那样，恒星最开始以表格中凝聚团的形式出现，则表格中的这些数值应具有一致的可比性。按照我们刚考虑过的形式，牛顿的假设明显站不住脚，因为所有计算的质量均为太阳质量的百万倍。假如存在一种我们现在正在讨论的原始混沌状态，则分子不会凝聚成星球，而是形成质量为星球百万倍的巨大凝聚团。大星云的诞生

已知名为超大星云的星际物质在宇宙的质量与已计算出来的数值相等，目前这一点很重要。现在有两块星云的质量可以被相当精确地测定，即仙女座大星云（图 93）和室女座 N.G.C.4594 星云（图 113）。哈勃估算

的它们的质量分别为：星云 M31：质量=35×10■个太阳的质量

星云 N.G.C.4594：质量=20×10■个太阳的质量这些估算数字可能仍然比较保守，但是从它们的大小等级上基本可以推断为原始星云中最先形成聚集、凝缩的必定是超大星云，而不仅仅是恒星。当然，至多据推测，大星云形成的方式就是这样（因为我们根本还搞不清是否假设中的原始星云真的存在），但我们能够设法解释目前星云存在这个事实似乎还是有充分理由和前提的。这些星云彼此大体十分相似，似乎都是由同一类宇宙物质活动产生的；而且，除了展现出一个假定的连续的原始星云存在之外，还可以在假设的基础上提供一个合理的解释。大星云肯定是彼此不尽相同的，我们下一个探索的问题就是产生差异的起因。

如果原始气态星云是在一种绝对有规则的方式下凝聚形成的，那么最终结果也将是形成一串非常一致，且空间排列十分有规律的相似气团。但是自然界很少如此正规，因此我们对见到的星云间隔不均、质量不一以及非对称排列也就不必吃惊了。在原始气团收缩、凝聚的最初阶段必然会产生气流，而且几乎肯定是非常均匀的。假如每团正在收缩的气体在每一处的收缩方向都指向中心，那结果就会形成一个缺乏运动的球状星云。但不均匀气流便会使每个收缩气团形成自旋。这种自旋起初无疑是很缓慢的，但是著名的“角动量守恒”定律要求旋转的物体收缩时，其转速必定加快。因此当整个收缩、凝聚过程完成时，最终形成的一定是旋转速度不同的一系列星云。

星云的旋转

这也正是可以被观察到的现象。我们的证据仅仅是各星云是以不同的速度旋转的。任何旋转云团的表面各部分在空间中必然处于不同的转速。例如太阳冲一个方向绕轴自转，我们看到其表面总是由东向西运动。结果是对地球而言，太阳的东边总是最先出现，而西边从我们的视线中退去。把分光镜连续对准太阳表面的各个不同部分，立刻会发现它们的速度各不相同；它不仅使我们确信太阳是旋转的，并且可以使我们测算出其总质量。对于星云，可采用同样的办法进行观察研究。观察结果是，大量的星云是伴随着固体物质的有规则运动而旋转的，好比一个旋转的陀螺。以地球的转速为标准，它们的转速应该说相当慢。以仙女座大星云(M31)为例，约 1900 万年旋转 1 圈。这样慢的速度是由于星云的庞大体积所必然造成的结果，即使 1900 万年才旋转 1 圈，星云外层部分的转速每秒钟也得有几百英里。

许多星云的形状十分不规则，但绝大多数还是规则的，最为重要的是它们正好可表现为旋转气团，可用数学方法计算出来它的形状。星云被认为是旋转的星团，实际上人们的认识还并不限于此。以星云的表面明亮及其他纯粹观察到的现象为依据，哈勃发■图 113 室女座 N.G.C.4594 星云（上）与 N.G.C.7217 星云（下）现几乎所有的星云都可以排成一条直线—

—它们顺序排列起来，就像一根线上的水珠。这个顺序经证实，几乎与原先以纯理论方法计算出的顺序完全一致，原因即气团整体的旋转速度逐渐加快。让我们来检验一下这一理论上的顺序结构在实际中的次序。一个根本不旋转的气团自然呈现出具有自身吸引力的球形体。已知相当数量的星云都是很标准的圆球体。图 114-1 所显示的就是一个典型例子。

旋转程度不大的气团略微呈扁橘形，类似地球和木星。这种形状的星云已知道数目相当多。图 114-2 即是一例。旋转程度越高，其扁平的程度也越高，但理论推算证明橘形星云短时间内就会变形。初始，其赤道明显地十分凸出；到最后，经过充分的旋转，就会甩出一个轮廓明显的边缘。这时旋转的星云就呈现出双层凸透镜的外形。这一理论预言已被实际观察充分证实，星空中可以观测到大量此类透镜形状的星云。图 114-3 就是一例。

下一个现象就稍显惊人了：更快、更充分的旋转并不会如设想的那样使星云越来越扁。到目前为止，转速的每一级增长都会使星云赤道更加凸出，但现在凸出程度已是最大的了。理论上讲，不断地压扁已经持续到了一个最大限度，下一步必然是星云物质被从赤道最边缘甩出，从赤道面上分离出去。这里同样以实际观测来证实这一理论。图 114-4 和图 114-5 显示的星云类型就被实际观测到过，前者即我们前述过的室女座星云。目前仍在赤道平面的相对薄些的气团层至少与牛顿有关物质“在无限空间中均匀分布”理论的一个方面相符合。星云中的局部变动可以多种方式发生，任何一种变动和搅扰，不论轻重，都会影响到一系列凝缩聚合的产生。正如前面所论述的，那些在一定规模极限下的星云会自行消失，而极限之上的便会继续在强度上增■图 114-1 N.G.C.3379■图 114-2 N.G.C.4621■图 114-3 N.G.C.3115■图 114-4 N.G.C.4594■图 114-5 N.G.C.4565■图 114 星云的变化序列加，直到在赤道面上吸引了所有气体。再有，在假设的原始无序状态下,我们可以推算出预想会永远存在的气团凝聚的最小规模(体积），结论再一次证实是极其有意义的。

哈勃估测的两大星云的总质量已经得出，两大星云的距离及体积均已知道，这样就很容易算出整个星云气体的平均密度。M31 星云的平均密度约为 5×10■倍水的密度；N.G.C.4594 星云相对于水的密度是 2×10■。这些数字使我们对星云外层物质的密度有了些概念。尽管这种密度几乎相当于推测出的宇宙原始星云密度的 10 亿倍，但还是低得不可思议。这好比是一个分子相对于一立方英寸的空间，或是把一只苍蝇肺部一次呼吸的空气充满一个大教堂后的空气密度。

在测算可能在这样低密度气体中形成及存在的最小凝聚物的质量时，我们得出了几项结果，如下表所示。分子运动的速率相当慢，以致要考虑到当气体散发到星云的赤道面上时它必将会冷却。相对于*分子速率*分子速率*分子速率

水的密度*100 码/秒*300 码/秒*500 码/秒

10■*1.7*36*220

10■*5*130*625

10■*17*360*2200

依据太阳的质量，可重新得出凝结星云的质量。非常重要的事实是表中大部分质量数据记录都是相对于太阳的。我们最后再论及恒星质量。肯定形成于大星云外层部分的凝结体，其质量是与那些恒星质量相比较而言的。

恒星的诞生

的确，我们观察和研究的恒星的诞生过程尚有一些问题没有搞清楚。即使是随便看一下星云照片，也可以完全明白向星云赤道甩出的星云物质并不会在赤道面上完全散逸开来，它们似乎都堆积成球、成结，或者凝缩起来。在很多星云照片上这个特点显示得非常充分。图 115 和 116 上显示的星云图就是个惊人的例证。这些球状物总是大得难以解释它是单一恒星，而更可能是恒星群。通过最大的望远镜观察，可以看到球状分解成许许多多光点，从图 108 上可见其状态。我们已经提到，使我们认为这些光点实际上是恒星的原因主要就是它们中的一些表现出造父变星的光波扰动。目前还不完全清楚是否恒星是直接由星云赤道面上的凝聚物形成；或者大一些的凝聚物先形成（即星云照片上所能观察到的球状物），继而是小一些的凝聚物形成恒星。总的来说，这里包括两个过程——首先是星云物质分化组合，形成大的聚合物，之后这些大聚合物形成恒星。这一系列过程很可能会伴随星云物质逐渐冷却。当然，再多两个变化过程也是有可能的。目前还无必要作出一个最终结论，因为在重要的论证上还没有什么实质上的进展。

挑选出来的星云照片可使我们清楚地了解从星云演变的最早期阶段（图 114），经过第一阶段的颗粒样球状物（图 115），再到初步可辨的恒星（图 116），到更后一个阶段，如图 117 和 118 所示。此时的星云变得更像一团恒星云。哈勃发现还可以继续观察，察明星云从最后一种形态过渡到纯粹恒星云团的连续变化过程，如图 119、120 所示的大小麦哲伦星云。

因此正如我们所推测的，恒星基本上是按上述方式产生，而它们的母体大星云则由于广为人知的名为“万有引力不稳定性”的作用更早地就存在了。这种作用可以造成任何混沌气团分离成独立的凝聚体，而且初始气体越稀薄，由其中产生并形成的凝聚体质量越大。最原始星云的密度非常低，以致由它生成的凝聚体的质量是太阳的几十亿倍。在持续的收缩中，星云的密度越来越大，当旋■图 115 猎犬座中的旋涡星云 M51 转促使这些聚集物抛开气体状物质时，它就会凝集成具有恒星质量的物质团。这就是我们实际认为的恒星。

我们对上述演化的前期过程不像对后期过程那么了解，我们认为前期过程曾经发生的惟一原因就是由于超大星云的存在。现在没有什么证据说明原始混沌星云曾经存在过。不论实际情况如何，对原始星云存在的假设都可以非常令人满意地解释目前星云的存在。另一方面，我们不仅知道有恒星存在，我们也了解从理论■图 116 大熊座中的 M81 星云上讲恒星必然产生于星云中的气团，它们是大星云非常稀薄的赤道边缘。望远镜帮助我们观察到了星云边缘和恒星，使我们对恒星的起源过程作出初步的研究。

关于银河系

假如我们对恒星诞生的估计是正确的，那么太阳及其行星无疑也一定产生于一个旋转的星云。实际观察有力地支持了这一结■图 117 大熊座中的 M101 星云论。从 Herschels 时起，就常有论述提到银河系的形状好似一个超大星云，银河面就代表原始星云的赤道面。纯粹以观察为依据，目前天文学正迅速转而认为整个银河系既是旋转星云，又是旋转星云的一部分。甚至银河系仍处在尚未演化成恒星的星云中部都有可能。在星座方面，Scorpio 和 Ophiuchus 是黑色的云，它们也许既遮住了银河系的中心，又可认为它们即是中心本身。在 1904 年卡普坦(Kaptey)发现太阳附近星星的运动方向原来不是随意的，而是沿着银河系平面的某一个方向而不是其他方向运动前进的。他管这叫做“星流”。星星运行的这一特点可能会使它们将光线投射到其原点上。

■图 118 三角座中的 M33 星云

整个银河系的每一个其他星体都在万有引力的作用下以复杂的轨道运行。要详尽测算出它们的轨道是不可能的。绕太阳旋转的行星的轨道容易测算，因为涉及到的只有太阳和行星本身两个天体。但即使只有三个天体，即太阳与两颗行星，那么后两者的绕日轨道也不可能算出，因为每一个都受到其他二者吸引力的作用。这就是至今仍无法解决的著名的“三体问题”。当把几十亿颗星体都包括进来——像在银河系中那样，试图去测算每一颗星体的运行轨道，其实是没有用的。希望测算出每个分子在气体中的运行轨迹也同样是无用的。

然而给我们有关气体特性有用信息的同样的统计方法，也许有助于我们研究恒星的运动。如此多的恒星我们并没有逐个去研究，我们只是将它们视为一个群体。而把它们一个个区分开来研究，就好比铁路公司要通过了解每个伦敦人的财政状况、习惯和心理来试图预报伦敦与布赖顿之间的假日银行的交易情况一样。

不用精确计算，我们就可以看到每颗恒星都有其自身的运行轨道，在经历了绕银河系大部分地区的运行后，它还会回到临近初始点的某个地方。经计算得知，它们运行每一圈都需几亿年才能完成。即使如此，很可能恒星已经运行了好几圈后地球才诞生。如果我们猜测恒星已经存在了几百万亿年这一猜测对的话，那么每颗恒星肯定已绕银河系走了好几千次

了。我们据此会希望银河系到现在已呈现出一个确定的、永久的形态；恒星的分布也应该已经稳定，恒星应处在靠近某一个稳定运行的点上。调查统计法显示，几乎不可能使已生成足够长时间的恒星系获得一个稳定状态。如果整个恒星系根本不旋转，那也只有一种排序法：恒星形成一个各方面均对称的完美的球状体。我们曾论述过的球形串（图 104）即十分接近这种结构型,尽管沙普利(Shapley)已发现它们中多数并不是绝对的球形体。假如整个恒星系是旋转的，它可能的结构就会是整体呈扁平对称形，像一个硬币、一块表或是一片饼干。换句话说，一个旋转的恒星系，其形状必然是与我们确信的银河系的外形完全一样，而且这星系中恒星的运动肯定呈现出卡普坦所发现的那种“星流”形式。因此不论是银河系的形状，抑或是其中恒星的运行特点，都说明银河系整体一定是处在旋转的状态下。最近沃特(Oort)、普拉■图 119 小麦哲伦星云■图 120 大麦哲伦星云斯凯特和其他人通过观察研究，证明理论上的旋转确是事实。星体的旋转表明整个银河系约 3 亿年公转 1 周。这一旋转大轮子的中心不论是方向还是距离都非常一致。这恰与先前沙普利在球形串的分散研究中断定的银河系中心的几何形理论相符合。所以，由于旋转不能凭空而来，则观察后确认的所有现象都说明银河系肯定源自一个旋转体。我们认识到只有一种大型天体才会演化为银河系，那就是大星云。大多数大星云被认为，并且一些已经被确认是旋转的，似乎有理由认为银河系一定脱胎于一个星云，除非如果我们从可以观察到其他大星云的那么远的距离之外看到其结构的确仍然是一个星云的结构。银河系的旋转周期大约为 3 亿年，实际上比任何已知或猜测的其他星云的旋转周期都要长，但银河系的体积也比其他已知的星云要大，两者实际情况决定了其旋转周期。再有，银河系所包含的恒星数量也多于其他星云，总质量同样更高。[①]所有这些都证明，如果银河是，或曾经是一个大星云，那么它肯定有不同寻常的体积和质量。

我们已经搞清了太阳和其他恒星是如何因为光、热辐射而不断减轻质量的。接下去就是了解银河系的总质量也是持续减少的，因此其作用于组成星系的恒星的万有引力也会持续减弱。假如万有引力作用突然间完全消失，每颗恒星的运行轨迹都将会变成一条直线，并以现有速度运行。失去了其他恒星的万有引力作用，轨迹不会弯曲，因此目前组成银河系的恒星不久便会逃散到整个宇宙空间。总之，如果恒星间互相牵引的力突然消失，银河系就会开始以极快的速度膨胀开来。

尽管这种情况不大可能发生，但恒星因为光、热发散，质量减小而引起的相互间引力的逐渐丧失，必然造成银河系无时无刻不在以较低的速度

[①] 下面的估算数字前边已被提及过：银河系恒星总数 300 亿颗（西尔斯），银河系恒星总数 1000 亿颗（沙普利），以太阳质量为单位的银河系总质量 2700 亿（爱丁顿），以太阳质量为单位的 M31 星云质量 35 亿（哈勃），以太阳质量为单位的 N.G.C.4594 星云质量 20 亿（哈勃）。

膨胀。据推算，按目前的膨胀速度，其体积增加 1 倍，时间约为 3×10■年。膨胀的速度在过去一定远快于现在，那时恒星正处于青壮年期，会比现在更多地散发自己的物质能量，因此很可能银河系过去比现在小，也更致密。原始星云可能还要小。我们已明白大星云中的恒星是如何汇集成球或成串的。银河系中的球形星群可能是同一般类型的恒星串一样没有受到其他恒星群的扰乱。因此据推断，在自身内部引力的相互吸引下保持着球体形式，正如气团那样。沙普利发现这些恒星串处在银河系平面稍外部的地方，看起来被分割得零零散散；或是在这一层面上不断运动，还可能碰到其他恒星。

对比一般被描述为运动星群的典型的恒星群——昴（宿）星团、毕（宿）星团、大熊星座和宇宙中伴随它们不断运行的其他星群——基本上都发现是在银河系的面上运动。除了一直没有固定形态的最大天体之外，这些很可能就体现了那些被其他恒星影响、打乱的球形星群的最后遗迹。数学分析表明这类运动的星体群和其他处在银河系平面的恒星之间的相互影响可能会引起每个星群呈现饼干状或手表形，直径是其厚度的 2.5 倍。大多数运动星群是像这样的扁平状，这一点很重要，其数量大体与推算的相符，甚至太阳周围的“局部星群”都可能是这类恒星群的遗物。这些星群的旋转运动同样也会导致它扁平得更厉害，其方向与其运动方向相垂直。有些星群就完全可以看出正在越来越扁。大熊星座即是个突出例子。

双星的起源

在探讨星云诞生于混沌之中的可能性时，我们注意到当前在原始介质中的物质存在会使星云有多种多样的旋转形式。对从星云演化出的后代来讲也同样，即恒星在其诞生之时起就是旋转的。导致旋转的原因当然还有很多。普遍适用的“角动量守恒”定律决定了旋转，正如能量永恒不灭一样。因其总量是不变的，所以当一个星云分离出若干恒星时，星云原先所具有的旋转性肯定存留在恒星中。只要是生成于星云中的恒星，也就被赋予了从其母体上继承下来的旋转特性，并且由旋转而形成的当前的星际物质也是在凝聚过程中出现的。

它们质量的不断减失导致其物理环境（形势）的变化。在下一章里我们会了解到这种变化基本上涉及到恒星直径的缩小。同样的“角动量守恒”原理现在决定：当一颗恒星缩小了，那么其旋转速度便会加快。简言之，恒星年岁越大，它的旋转也会越来越快。看来脱胎于星云的恒星诞生之时很重要的一个特点便是旋转。就我们所知，一个完全缺乏旋转性的星云绝不会分离出恒星，而且这一理论预言已被实际观测所证实。图 114-1 中那个具有完美球形体的星云在望远镜下肯定不可能分解出恒星。另一方面，我们已搞清了天生就旋转的星云是如何在缩小中持续不断地加速旋转，一直到每个星云最终分离、生成一个恒星家族的。显然，现在的问题是，由于恒星的转速增加，它是否会不断顺序地分离下去而产生第三代天体。也

许我们还希望数学分析同对适用于忽略其质量的大小天体。对这一问题的详细分析，说明实际上我们已经在思考中的这一过程是会重新发生的，如果物理条件适合，它还会造成更小的下一代天体。

然而，物理条件并不适合，至少表现在一个方面。虽然一颗旋转的恒星可从赤道面上释放气态物质，但整个过程的规模还是要比星云差得多。我们可能预计被甩出的气态物质会如以前那样形成凝聚。但经测算证明，除非分子运动速率非常慢，且这类聚集物的质量远大于整个恒星的质量，否则二级凝缩、聚集便不会再有。这就意味着不论分子运动速率如何，被甩出的气态物质都不可能形成聚合体。同时它也不会散落到宇宙空间，不可能构成任何有确切凝聚物形式的大气团。

如果恒星——像它们的前辈星云那样——被看作是纯气团，那么上述便是它们活动、演变的过程。

关于液态星体的分裂

我们已弄清楚了一个不旋转的气态星云的形状在其引力作用下会呈现出完美的圆球体，而略有旋转的话其外形便会像扁一些的橘子，比如地球。地球就是因为旋转而显现这种形状，尽管地球的内部构造与气态星云有极大差别。

严格的数学研究显示这种扁平橘子状的外形对于所有缓慢旋转的星体来讲，如果不考虑它们的内部构成，肯定是很普遍的，气态的、液态的或柔软的星体几乎无一例外。但是快速旋转的星体的外形基本上要决定于其内部结构和成分，尤其是当星体质量都集中于中心附近的情况下，其形状上受到的影响更大。由于气体的高压缩性，纯气团的中央质量、密度可以达到极限值。相反的极限可出现在均质的、不可压缩的液态物质（如水）中。水是根本不存在中心浓度的。当像后者这样类型的物质旋转加速，其形态就不是轻度扁橘形，而是比较明显的扁平橘形了。气态物质在赤道周围形成一个突出边缘的倾向是完全不存在的，其外形剖面总是呈椭圆形。在更高的转速下，赤道面不再是圆形，而会变成为椭圆形。这样物体就有三个长度各异的直径，但是每个剖面都绝对是椭圆形，这个物体即是一个“椭圆体”。再往后，其最大的直径开始伸长，直到仍是椭圆体的该物体变成一个雪茄形物体，此时长度几乎是其最短直径的三倍。

一系列新的变动现在开始了。液态物体逐渐以最大直径凝缩成两个明显的点，形成一个细腰，或垄状的沟横跨中部。这个沟越来越深，直到将原物体切断成为两个明显独立的个体，然后相互在各自的轨道上运行，形成一对双星。从图 121 可见这一变动的连续过程。

为作对比，提供一个旋转气团的连续性形态变化图，即图 122。这一图示与实际观察所见的星云形态的连续性变化完全一致。图 114 则以照片显示。

■图 121 液态星体的凝缩过程■图 122 气态星体的凝缩过程凝缩的两

个连锁演变显示在图 121 和图 122 中，它将记录下一个旋转的物质实体被完全均匀分离、其物质又高度集中于中央部分这两种极端状态。由于实际天体的构成必须介乎两种极端状态之间，我们便自然会认为这个天体就发生介于图 121 和 122 所示的两种情况之间的一系列凝缩。然而理论证明事实上并不会如此。中心聚缩程度没有那么高的所有星体都会产生图 121 所示的连续变化，或只有极微小的差别；中心聚缩程度甚高的所有星体都会像图 122 所示的那样发生变化。因而中心聚缩一旦达到某一程度，变化情况不是图 121 所示的那样，就如图 122 所示那样发生。总之，每一个旋转星体，不论它是液态的还是纯气态的，都具有各自的演变形式，不存在中间形式。

天文观测确凿地证明大多数恒星（也许是全部恒星）都在像图 121 所示的方式那样发生连续变化。就我们目前所知，还没有另一种历程适合于解释大量分光镜下显示的双星的形态。在这个双星系里有两个要素，即相互运行着的小型双轨道。在这些恒星中，星体的中心聚缩度必须如前所述，不能形成极端。在此种情形下它们便会发生液态而非气态星体的变化进程。我们完全依靠数学分析描摹出星体分裂的详细过程，但几乎完全不能以观测来检验理论结果。空间不存在一颗孤独的恒星，我们对它作出如下分析：这颗恒星一定是由于分裂而分离出来的，并且最后终将成为一对双星。这也许一点儿不奇怪。在恒星生命中这种很短时期内发生分离过程的可能性是很大的，因此无论在什么情况下，我们都必须在观察了解一颗恒星分离成两个之前研究大量的恒星。

另一方面，一颗正在分离开来的恒星应该非常容易区别于其他正常恒星。数学分析证明，分裂的恒星内部会处在一种非常骚动、混乱的状态中，因而其发出的光线几乎不可能是稳定的：它将成为一颗“变星”。而且，其状态也应是不断变化的，尽管这种渐次的变化是否在若干年的观察后便能很快探测到还是个悬而未决的问题。最后，假如一组或某级恒星被猜测已开始分裂，应可以将它们列入分裂进程早就产生的恒星范围内，而其连续变化的结果则是具有新形成的双星物理状况的恒星。

最近我已设想到造父变星——其未知的光波动机制为天文学家提供了有价值的帮助——只不过是正在分裂的恒星。间隔时间的缺乏妨碍了我们深入探讨这个错综复杂的问题，即它们到底多大程度上表现出了如数学分析提出的那种处于分裂状态下的恒星特性。当然，它们符合上述三条简单的检验标准还是很容易理解的，它们肯定是变星，而且不同恒星的光线变化如此相似，以致人们几乎都确信其产生于同一个原因。大多数造父变星的周期据猜测是变化的，赫兹普朗(Hertzsprung)已经估算出被观测了 126 年的样板星——造父变星 δ，其光波动周期正以每年 1/10 秒的速率缩减。这样，100 万年后它原来 5 又 1/3 天的周期就会变为 1 天多一点。最后，奥托·斯特鲁夫(Dr Otto Struve)博士发现造父变星的连续变化非常符合

最新形成的双星的演变过程。因此造父变星的“分裂论”似乎已被看好。但是，在该理论被接受前一定要经过全面检验，不能断言到目前为止它已经被全方位检验，或可被广泛地接受、认可。

另一种可参考的见解是由普鲁玛(plummer)和沙普利首先提出来的,他们认为造父变星是若干个脉动的气态天体。这类气态天体的运动情况已由爱丁顿和其他科学家做过数学研究，然而这并不表明它实际符合造父变星在观测之下的运动情况。双星的演变

不论双星系统的形成过程如何，显然我们现在正在试图探索这类星系是如何进一步演化的。有三个因素正在同时发生作用。潮汐阻力

三个因素中的第一个在短时期内被乔治·达尔文爵士称之为“潮汐阻力”。达尔文首先注意到了它，并研究了其作用方式。当一个旋转天体分裂成一对双星系统时，两个分离开的个体相邻很近，相互必然会产生潮汐作用。达尔文指出潮汐力迫使两个个体分隔，并使两者的旋转速度相等。经过几百万年的如上影响，两个天体各自的转速及相互间公转的速度必将趋于一致，因此每个分离出来的天体永远都是以同一面面对另一方，两者相互绕转，就像被一只无形的手相牵的哑铃。

尽管从严格意义上讲太阳和一个行星并不构成一对双星，但它们与真正的双星系统一样受潮汐阻力的支配。因此我们可见到，在潮汐阻力的作用下，水星总是将同一面朝向太阳。金星自转很慢，日复一日，甚至可能是周复一周，它朝向太阳的都是相同的一面。如果更深地进入宇宙空间，潮汐阻力造成的影响很可能会迅速消失。但别忘了一个极有价值的结论，那就是距离太阳较近的行星，如地球、火星等，其“日”周期为 24 小时，而对于木星、土星、天王星等离太阳较远的行星，其“日”周期大约仅为 10 小时。海王星的自转周期目前尚未知。除掉上述这些已知的结论，我们发现，在一般意义上可以这么说：行星距太阳越远，其自转速度越快。而这种较明显的变化，其原因应当说来自于潮汐阻力。同样地，潮汐阻力极有可能是形成现在的地球—月球体系布局的真正原因。月球能够与地球保持现有距离，并且总是以相同一面朝向地球。这其中潮汐阻力肯定也发生了作用。地球上海洋的涨潮，大部分与月球的运动有关，潮汐拍击着坚硬的陆地，减慢地球的自转速度，从而使白昼不断延长。潮汐继续减慢着地球的自转速度，直至地球和月球的自转和公转最终同步。如果这种情况发生，那么地球就会以相同一面朝向月球，地球上一个半球的居民们就将再也见不着月亮，而另一个半球的人则每晚都能够享受月光。这时，日和月的周期便可以确定：1 月大约相当于我们现在的 47 天。杰弗瑞通过测算已经得出：大约再过 5000 亿年，这种情况就会发生。

在此之后，潮汐阻力不再成为增加地球、月球间距离的因素。太阳潮汐和月亮潮汐将共同作用，降低地球的自转速度。而且这种合力作用越来越大。同时，月球也逐渐缩小它与地球间的距离。经过若干年的变迁，直

至有一天月球与地球间的距离将不超过 1.2 万公里。假如这一天真的到来时会发生些什么？地球引发的月球内部的潮汐剧涨会将后者撕裂成碎片（如图 123 下）。这碎片在地球周围形成一个小行星系，就像环绕在土星周围的土星环，或者环绕着太阳的小行星。

我们已经注意到如何利用目前的地球—月球系统计算地球的寿命。杰弗瑞预言：这个系统必已经过 400 亿年的演变才形成现在的布局。

按照地球标准来看，400 亿年何其漫长！但对于一颗恒星的寿命来说却非常短暂。双星系的两颗子星仅用其寿命的一小部分时间，形成了类似地球—月球体系的布局，然后它们继续相互接近，直至及时地达到一种平衡。此时两颗星都能够永远以相同的一面朝向对方。至此为止，潮汐阻力已在改变星体间距离方面发生了作用。而一俟达到上述状态，两个星体的潮汐就固定下来。潮汐阻力已达到了作用力的极限便不再起作用。此后两个星体将会依照所有永恒物体采取的运动方式自转着。质量的减少

潮汐阻力不再起作用后，另一股力量占了上风。我们估算得出太阳以每秒钟 2.5 亿吨的速度，或类似速度减少质量已经很长时间了，而且这种质量减少的现象仍将维持若干年。地球之所以与太阳之间保持现有这个距离，是因为依太阳现有的质量，与地球、太阳间距离正好适合。如果太阳的质量瞬间减半，则它对地球的引力也会减小一半，那么地球与太阳间的距离必定会扩大。（脚注：尽管细节并不十分重要，但有必要让读者了解地球绕太阳旋转的轨道是椭圆而不是正圆，当时地球—太阳间的平均距离也比现在大。）

当然，太阳的质量不可能瞬间减半。不过，在刚刚逝去的 4 分钟里，已有 10 亿吨的质量从太阳身上散失出去,这意味着它对地球的引力遭到削弱，也意味着地球的公转轨道扩大。此时的轨道半径已经超过 4 分钟前地球公转轨道的半径了。以上结论可以通过数据的记录精确地显示出来。它表明地球绕太阳公转的轨道并非一个完美的圆圈，甚至也不是一个离心率较小的椭圆，而是一种旋涡状的曲线，状如散开的钟表发条。地球每年都向漆黑寒冷的外层空间深入一步。根据精确的估算，地球与太阳之间距离的增加速度已经达到平均每个世纪 1 米。这种距离增加的后果与银河系中恒星质量减少造成的结果完全一致。惟一的不同是银河系中有成千上万个星体在膨胀，而在地—日体系中，只有太阳、地球这两个星体。

双星系统中两星质量减少形成的影响也与此基本相同。这时，两个星体同时消散能量，亦同时减少质量。详细的计算说明，尽管两颗星必定会不断扩大彼此间的距离，但是它们的自转轨道不可能有任何改变。

以上讨论了潮汐摩擦力和质量减少两个方面。不过若想解释清楚我们观测着的双星轨道何以形成现有的大小和形状，单靠其中一个方面或者双方的共同作用是远远不够的，还必须凭借第三种力量。我们根据统计数据研究轨道的偏差时已涉及到这种力量，那就是从旁经过的星体产生的引力

作用。质量减少在亿万年前便发生了，潮汐阻力已经存在了上百万年，星体经过时造成引力影响也有相当长的时期了。这三者的共同影响，推动了双星系的演化，使两颗星彼此间距离不断加大，同时旋转轨道也发生变化。

分裂

在双星系的轨道不断变化的同时，由于自身持续减少质量，这两颗星本身的物理状况也在改变。一般来说，与其早期体积相比，星球在大小上有收缩感。如果该星系中的任何一个收缩，将导致其形状改变，不再与上面详细讨论的双星体系常规布局下的形状一致。如果收缩持续到一定时间，收缩的星体将最终分裂为两大部分。双星系就是以这种方式分裂为三颗甚至四颗星体，形成了双星系的子体系。罗素已经从数学上证明：一个有 P、Q 两颗星球的双星系，若 Q 分裂为 Q、Q′两个星体，形成 P、Q、Q′三星体等，则 Q、Q′之间的距离不会超过 PQ 原始距离的 1/5。这个理论性定理已为实际观测证明。

天体五个时期的变迁显示始于原初混沌的发展轨迹：混沌—星云—星体—双星系—子星系。

不过，如果子星系中的星体碰巧发生裂变，看来天体的变迁要增加一个第六时期了。星体演变的历程始于充溢整个宇宙的稀薄的星云，终于弱小、破碎、毫无进一步分裂可能的临死状态。这个演变的系统学尽管仅仅建立在理论基础上，但我们不必对其准确性产生怀疑，因为演变的各个时期均被确凿的事实证明过。太阳系的起源

无论是站在完全确定还是合理假设的基础上，我们能够观察到的所有天体几乎都可以纳入前述的演化序列中。但只有一个突出的、让人疑惑不解的特例——太阳系。人们创建宇宙学最初便是为了研究太阳系本身，但由于历史的原因，该学科的研究活力受到限制。宇宙学发展早期，天文学对太阳系之外的内容涉足甚少，而现代所谓科学的宇宙学知识足以让我们遍游整个宇宙、大谈旅程中碰到的每个天体的起源和演变历程。但是当返回家园、回到我们的出生地——太阳系时，便顿时哑口无言了。拉普拉斯的星云假说

严格意义上的科学的宇宙学最初孕育于拉普拉斯著名的“星云假说”。1755 年，在康德笔下，处于原始混沌状态的气体浓缩成旋转的星云，认为这一团星云就是太阳的雏形。依康德的想像，行星形成过程与我们猜想的恒星的形成过程很相像，它是由星云旋转时抛出的气体固化而成的。1796 年，拉普拉斯提出了类似的观点，并进一步发挥，在数学精确性上超越了康德。他描述的图景是：收缩使星云的旋转越来越快，甩出一大团呈透镜一样凸起状的自转着的气体（图 114-3）。这团气体一边旋转，一边在赤道平面上抛散其他物质，或在中心气团收缩时将其他物质抛在后面。这时旋转气团看起来就像图 114-4、114-5 中的星云。尽管拉普拉斯当时还不了解星云的这种类型，但是他认为土星环环绕着的土星是说明这个形成阶段

的范例（见图 123）。在拉普拉斯想像中，脱离了大星云的气体，其边缘会逐渐浓缩，最终形成一个单独的行星。随着大星云继续收缩，会有更多的游离气体沿赤道平面脱离出来，然后浓缩形成另一个行星。以此类推。直到大星云不再收缩时就不会再产生新的行星了。相同的过程也发生于行星本身，其卫星就是这样生成的，只不过范围要小许多。星云假说初听起来似乎很有道理，于是公众也普遍接受了这种理论。但是在存在了近一个世纪后，这个假说遭到了非常严厉的反驳，而且批评的声音愈来愈多。其中一个关键论点足以推翻■图 123 土星及其光环(上 1916 年，中 19 年，下 1921 年)

星云假说。

根据拉普拉斯理论，太阳星云的过度旋转导致气体分裂，从而形成行星。但是观测和理论都清晰表明，一个自转过快的星体不会面临分崩离析的危险。对飞轮施力过大，导致其转速过高，它可能会裂成大小基本相同的几块，但这是偶然现象，并不普遍发生。光谱学显示双星和多星体系虽是由过度旋转的星体破裂的残骸生成的，可是这些体系与太阳系并无任何类似之处。根据角动量守恒定律，现在太阳的自转速度、围绕它的行星的公转速度，都必须与原始太阳的自转速度相平衡。考虑到以上方面的影响后便能计算出原始太阳的角动量。同时，也得考虑自从行星生成后太阳辐射导致质量损失而产生的影响。目前，利用已经掌握的地球寿命的精确数据，可以计算出这部分影响的具体比例。但是这个比例基本上是微不足道的。

原始太阳的角动量也可以用其他方法计算出来，而且非常精确。因为现有太阳系角动量的 95%存在于木星的轨道运动之中。既然该部分可以非常准确地计算出来，那么其他方面造成的 5%的影响基本可以忽略不计了。

而计算出来的结果足以让我们大吃一惊：原始太阳星云的自转速度远未达到能使其碎裂的程度。很显然，现在的自转速度也根本不可能让太阳粉身碎骨。一般来说，分裂的先兆是星体渐趋扁平状，但是我们使用最精密的测量仪器，也未发现太阳形状趋向扁平的痕迹。用木星和太阳系中其他行星的运动来衡量角动量，可以得出结论：原始太阳星云的自转速度与木星一样快，外观趋向扁平的程度也与木星相同，已经可以用天文望远镜甚至肉眼观察到了，但是这些都不足以使太阳星云分裂。

自从行星诞生后，太阳的变化可以说微乎其微。行星诞生后的 20 亿年，仅仅是太阳漫长寿命中的瞬间。我们想像一下，假设太阳在这 20 亿年间明显地收缩了，则已有的角动量非但不可能分裂原始太阳星云，就连现在的太阳也不会因之而破裂。因此，无论采取何种思路，结论是一致的，那就是太阳系的生成绝非拉普拉斯所想像的那样是由过度旋转的太阳星云分裂生成的。事实上，现有的转速产生的角动量与足以导致分裂的角动量相比，实在是太小了。

对拉普拉斯的诘难，另有三分之一针对其他方面。毋庸置疑，拉普拉斯是位伟大的数学家，他提出的抽象理论，其数学上的严密性至今尚未有人怀疑，而且更为严格的现代分析和观测以及拍摄的旋转星云的照片，都证实了拉普拉斯数学推理的正确。图 114 这些照片记录下发生在我们眼前的演化过程，除了其在演化范围上的庞大，它与拉普拉斯想像的毫无二致。这也就是说二者性质相同，只不过前者的范围远远超过了拉普拉斯所能想像的范围。在这些照片中，原始星云并非是单独一个正处于形成过程中的太阳，它包含着足以生成成千上百万个太阳的物质：可以浓缩形成上百万个太阳本身，而非七八个小如地球的微不足道的行星。人们不禁会问：为什么在拉普拉斯想像的小范围内不可能发生如此的演变？是因为我们目前运用的数学结论与我们正在研究的天体的范围并不关联吗？实际上已经有答案了。小范围内的演变完全按预想的在进行，可一旦涉及浓缩的形成，则范围大小就成为问题的关键。前面讨论过不计其数的分子浓缩成为太阳，可一屋子的分子浓缩根本生成不了什么物体，因为分子数目实在太少了。同样道理，太阳缓慢收缩，遗漏的分子（如果太阳的旋转速度快到可以甩出分子的话）因为数量太少，并不会浓缩聚合，它们会小批量地溢出，消散于太空之中，而不是浓缩为什么物质。数学计算已经明确证实了此问题，结论与拉普拉斯的星云假说截然相反。所以剔除细节上的不完善，星云假说虽然能够解释太阳系从星云中形成的过程，但是它无法解释太阳系的行星形成的原因。按拉普拉斯的说法，太阳是宇宙中的惟一星体，即便是它最邻近的星体，都因相隔太远，不可能对它产生什么影响。我们已经讨论过，两个星体互相接近到足以对对方产生影响的可能性很小。就算独个在太空中的星体，其进化模式也不可能解释太阳系的起源。早在 1750 年，巴芬曾提出一个理论，以为太阳系的产生可能是由于另一星体对太阳的碰撞。拉普拉斯参考了此理论，却又以其不能解释行星近圆轨道而简单地否定了该理论。殊不知这种否定建立在了错误的立论基础之上。我们确信一个单独的星体不可能降生一个太阳系时，自然会转向研究另一个方面，即一个星体的行进轨道受到从其附近经过的另一个星球的牵引，在这种极其罕见的条件下该星体的演变过程会怎样。（脚注：上文谈及的有关太阳系起源学说就是人们通常所知的“潮汐理论”。1916 年，通过观测在太空中两个星体互相接近到一定程度时的变化，我提出该理论。）

潮汐理论

当然，潮汐的影响极其微弱，我们似可以忽略不计。当两个星体越来越靠近，主要的影响必定是一个星体引发另一个星体的潮汐；而且距离越接近，引起的海潮越高。不过两个星体互相经过的速度也必须考虑在内，因为这将决定二者互相影响的时间。赋予旋转星云名称和外部形态的旋转臂极有可能是起源于某种类似的潮汐运动。在这里情况有所不同，星云旋转后会从其赤道面上散发物质，然后极其微弱的潮汐力就能使这些发散物

质聚集，从而形成两个对称臂。星际状态下，要从星体上牵扯出物质，相对接近的距离是必需的。而且很有可能形成的两个臂并不完全对称和相似，甚而有时只形成一个臂。

如果两个星体接近的距离已经非常之小，则引发的潮汐将完全不同于太阳或月亮的引力在地球的海洋上掀起的微弱潮汐。它们以极端猛烈的方式，涌起比山还高的海浪，挟着其他物质最终脱离星体表面。如果星体距离再近一些，星体上的山脉也可能变成长长的气体柱，从母体上弥漫出去。如果按照通常情况考虑，两个星体质量不同，则较轻星体会比较重星体失去更多的物质。行星的诞生

潮汐作用下从星体脱离的气体柱或丝状物质最初仍保持其原有结构。分析科学显示它们为“引力不平衡性”的研究提供了一个合适的课题。浓缩最早出现在这些气体柱中。如前所述，较小的浓缩物很快就消散了，而较大浓缩团的密度不断增加，直到丝状物分裂成大量的游离气团。图 124 和 125、126 中的天体很有可能就处于彼此间的潮汐影响下，借助它们我们可以了解正在研究的这一过程的基本属性。不过我们得时时记住，这一过程是发生在一个非常庞大的范围之内，而非相形之下极小的太阳系。若非如此，天文望远镜根本不可能捕捉到以上变化。

新近诞生的行星作为独立星体开始运动时，会受到两个星体引力的交互影响，造成了它非常复杂的运动轨道。随后，较大星体的引力作用逐渐减弱，行星的旋转轨道只围绕较小的星体。如果行星旋转的太空澄净一片，没有其他物质干扰，则其轨道是非常规整的椭圆形。彗星、流星和太阳系中其他幸存的小星体便属于此类型。但是刚刚结束的碎裂运动遗留下了各种各样的残余物，使得大部分星体不得不在充满气体和灰尘的太空中旋转，因而这些新近诞生的行星首先必须借助一些介质为其开辟运动轨道，哪怕介质将对行星的运动产生负作用。这时旋转轨道就不会是规范的椭圆了。现在已经能够证明正是这种负作用影响了轨道形状。不过，若介质的作用持续相当长的时间，则轨道会越来越圆，最后成为完整的圆。

但是太空中气体和灰尘的残余物总不断地被行星清扫，最终可能完全消失。这样，行星轨道并不可能呈绝对的圆形。假设上面的情况已在太阳系内发生，那么即便是很小的原始残余物也很难存在，它的最终残骸已极可能成为黄道带的尘埃。尽管如此，顽强的介质表现出已存在了许久的特性，并已使绝大多数行星和主星的轨道接近圆形。杰弗瑞正在做一项研究：探讨到何种程度这些变化才会发生，并对有关行星诞生时间的推测进行了确认。接下来我们有必要注意

一些对各类行星起作用的物

理变化。当第二颗星体距离

太阳最近、万有引力最大时，

从太阳拉抻出来的一缕丝状

物的中间部位定是很丰厚的。这时被拉抻物的形状可以用图形说明，我们可以认为这缕丝状物如一支雪茄——中间粗，两头细。这样当浓缩发生时，中间部分的物质将比两头的要丰厚。这就很有可能解释为什么两颗最大的行星木星和土星会占据在星系的中间位置。

■图 124 由潮汐引发的两星云(N.G.C.4395、4401)

图 127 显示了行星按与太阳远近而排列的顺序以及它们的不同体积。成千上万的小行星的运行轨道占据了火星与木星轨道之间的空间，它们被看作是一颗行星，就好像现在众多的小行星是由最初的一颗行星裂变而成的。

■图 125 孪生星云 N.G.C.4567、4568■图 126 星云 N.G.C.7479 如果环绕这些行星画一连线（如图 127 所示），凭想像重新构筑雪茄状物质，我们便会发现物态最丰富的地带便是最大行星所在地。

卫星的诞生

我们已经注意到太阳和行星质量的巨大差异严格地区分了太阳一行星的形成过程与正常的双子星的形成过程，同时暗示了两种成形的本源不同。这种差异在行星—卫星系统中同样存在。既然作为父辈的太阳要比它的儿辈——行星大许多，那么相应地也要比孙辈卫星大得多。太阳的质量是它最大行星的 1047 倍，同时也是最小行星的几百万倍。而在土星系中，相应的数据为 4150 倍与 1600 万倍。质量最为接近的数据来自地月球，地球是月球的 81 倍。正如太阳的行星系，木星和土星的卫星系也显示了一种倾向：远离行星的卫星质量增大，但随即又减少。这又揭示了雪茄状结构中越靠中间位置物态越丰厚。这种质量的巨大差异有力地说明行星的卫星的形成过程必定与它们的父辈——行星的形成过程一致。

我们能够大致想像这一过程：行星一旦诞生，必然开始冷却下来。最大的一些行星，如木星和土星自然冷却缓慢，而最小的一些则会很快。几乎就在诞生之时，它们便迅速失热，以至于液化甚至固化。当然这种情况的发生是有一定过程的。行星在追寻多少有些不规则的轨道，有时轨道距离太阳过近而导致自身爆裂。在这过程中，太阳饰演了最初来自太空的流星的角色，而行星则饰演了最初由太阳充当的角色。太阳从行星的表面抽出丝状物，这些丝状物凝聚形成卫星。在某些方面，这一理论解释了卫星的形成过程。数学研究表明，行星诞生时形态越接近液态，那么它被呈气

态的太阳击裂的可能性就越小。如果尽管这样还是不可避免地被击裂，那么行星与卫星的质量相接近的程度要比行星以气态形式存■图 127 展示行星从雪茄状丝状物中产生的过程和顺序。图下数字代表每颗行星的卫星数目。在时大得多。从完全气态的行星到诞生时或此后立即呈液态的行星经过，我们可以发现有大量相对较小的卫星的行星。等我们通过有着少量相对较大的卫星的行星的边界线之后，便会发现那些没有卫星的行星。

我们已经明白了处于太阳系中间的大行星，如木星和土星，它们应该持续气态的时间最长，而小一些的行星则更快地液化。理论假设所描绘的其实也正是太阳系所被发现的。从木星和土星开始，它们每个都有 9 颗小卫星。之后的火星只有 2 颗相对大些的卫星，接着是地球只有 1 颗相对更大一些的卫星，最后的金星和水星就没有卫星。另一方向，土星、木星各有 9 颗小卫星，天王星有 4 颗小卫星，海王星有 1 颗相对大的卫星。如图 127 显示，每一颗行星下面都注明了卫星的颗数。当数字如此分布之后，卫星系统的安排也就很清楚了，同时这种安排也是和潮汐理论的推测相一致。可见雪茄状的布局不仅适于行星，同时也适用于它们的卫星。地球和海王星都各只有 1 颗卫星，但它们形成了原本是气态的行星和液态行星之间的分界线，这便可使我们推测到金星和水星诞生后立即变成液态或固态，地球和海王星是部分液态、部分气态，而火星、天王星、木星和水星生来就是气态，并且一直保持到它们卫星家族的诞生。

我们或许可以发现能够进一步证实潮汐理论的证据，即在星体排列中火星及天王星的质量都极不正常地小。如果就像我们假设的那样，行星是由被太阳拉抻出丝状物而形成的，那么火星在诞生时的质量大小应介于地球与木星之间，而天王星应处于海王星和土星之间。如果如我们所推测的，火星和天王星这两颗反常的行星在诞生时是最小的两颗，那么它们将是在冷却过程中质量损失最多的两颗。这一损失过程是通过它们的最外层由气态向液态的转化实现的。如果火星和天王星被看作是两颗比现在它们的状态大得多的行星的残余物，那么这些疑问则迎刃而解。轨道面

每一个旋转的星体，无论是气态、液态或固态，总有一个固定的旋转中轴，与这个轴相垂直的是将这个星体对称分割成两部分的赤道面。当星体爆裂时（在公转过程中），赤道面和对称体依然存在。对此的说明可以在任何一套关于旋转星云的图片中看到，例如图 113、114。

如果能证明太阳的赤道面是整个太阳系的对称平面，那么整个系统被分割为平面的两个部分，这有可能说明整个系统是旋转爆裂的结果。但是，太阳的赤道面并不是一个对称面，行星也并不在这个面上运行，它们的运行面与对称面有 7°～8°的夹角。有关行星的形成是由太阳旋转爆裂而成的假设在事实面前自然不攻自破，而潮汐理论则给了简单的解释。太阳在行星诞生之前就一直在运行，同时保持着它最初的赤道面。而那由行星运行轨道构成的完全不同的平面则是由流星拉扯出来而成的。外层行星运行

轨道的平面标注了太阳和流星——太阳系的第二父亲在 20 亿年前的运行平面，这是后者能留下其身份特征的惟一线索。当然要在如此漫长的时间历程中确定其身份，这一线索也显得过于微不足道。

概括起来，我们明白了这个宇宙形成的正常机制，这一机制就是星体的不断产生是通过“引力不平衡性”的过程来实现的。正常的轨迹应该是：混沌状态—星云—星体—双星系—子星系。并非所有的星体都可以延续到最后两代；那儿只有一小部分的公转存在，一个星体往往没有后裔就终其一生。我们的太阳如果不是因为偶然过于接近另外一颗恒星也不会有其今日。由于它们的相互作用，其他两代星体也形成了，它们依然遵循“引力不平衡性”。对太阳系来说，就像对太空中或许存在的任何相似的星系，轨迹是这样的：混沌状态—星云—太阳—行星—卫星。两个系统各展示五代的变迁，每一代都由它们的父系通过“引力不平衡性”过程产生，并且两系统包括了所有被人们熟知的大星体，于是我们可以公平合理地说：“引力不平衡性”是现有形成宇宙格局的最基本的理论。

洛希极限

引力不平衡性的作用产生了行星的卫星。这主要还是由于气态行星的质量太轻，难以控制其不向外泄散。即使在最适宜的环境下，它们微弱的万有引力也很难阻止外层星云泄散出去。宇宙空间里存在许多小星体，像我们提到的小行星、流星、彗星以及土星遗迹的颗粒物。由于它们都太微小，可以认定诞生之日它们不可能是气态物，而可能是些大的星体的一部分。这也符合一般小星体的诞生不是单个而是群体的规律。

流星总是成群结队地出现。这些成群结队移动的星体使我们可以确定它们为破裂的彗星。小行星所表现出的也是一个群体，探寻它们的来源将是一个很困难的问题。当然，这整个群体亦可解释为某一最初行星的破碎部分。如土星环就可解释为是土星的卫星的破裂物。而我们不常提及的彗星极可能是由众多颗粒构成的，这些颗粒由于万有引力的影响而在太空中遵循共同的轨道运行。自从 1909 年哈雷彗星被发现以来，观测结果表明，它反射阳光的能力类似于一个直径为 25 千米的星体，然而它的表面积足有一个类星体的 30 万倍之大，并且表面是透明的。由此我们不得不得出结论：彗星是由一颗星体破裂后形成的大量的小颗粒组合而成的。

可以很容易想像发生爆裂时的情况。我们假设太阳曾经由于一颗过路恒星的潮汐牵引而爆裂过，太阳至少产生了它的行星家族；但假设这颗过路恒星没有离开，反而停留下来，那么后果会怎样呢？只要它与太阳一直保持一段距离，那么它的潮汐牵引力将会将太阳拉成碎片。我们还可以想像恒星停留时间越长，太阳就会产生更大的行星家族。这种无休无止的停留最终会把太阳撕成碎片。

洛希于 1850 年用数学方法对潮汐爆裂的过程进行了研究。他研究的对象虽然只包括固态和液态的星体，但无论是固态、液态还是气态，它们最

基本的运动原理是一致的。我们已经知道两颗星体遭遇时对小的一颗影响更大。洛希只研究两颗不同大小星体遭遇时的情形。在这种情形下，小星体围绕大星体的旋转轨迹会逐渐缩小。如果两颗星的密度一样，当小星体的运行轨道半径是大星体的 2.45 倍时，小行星就会完全裂开；如果小星体密度比大星体的密度小，那么轨道半径距离就相对增大。这个距离就是洛希极限。卫星的旋转轨道如果在洛希极限之外就可以安全围绕它的母星——行星运行；但一旦它落入限定范围之内，它便难逃被摧裂的命运。下面的数据证实了洛希的数理分析：

土星最外层圈半径：2.3 倍于土星半径

洛希极限：2.45 倍于原星体

土星最内层卫星的运行轨道半径：3.11 倍于土星半径木星最内层卫星的运行轨道半径：2.54 倍于木星半径火星最内层卫星的运行轨道半径：2.79 倍于火星半径依此类推。土星环的形成是由于它的卫星不慎落入洛希极限范围内被撕裂而成的。我们已经知道月球是围绕地球按固定轨道运行的，但如果这一轨道半径距离一旦落入洛希的限定范围之内，月球将最终被摧裂。这之后，地球将不再会有月球，而会被一层光环所环绕，就像土星一样。

我们提及土星环时用了复数词，这因为有两块明显的空段而导致存在三层相分离的光环。有些人会武断地得出结论：这一定是三颗卫星形成的。其实并非如此。哥兹布普夫已经证实较大卫星的运动会对土星旋转轨道产生影响，使其不够稳定，于是颗粒不可能永久停留在轨道上。他计算了这些不规则、不稳定轨道的位置，并且发现与实际的光圈变化一致。因此土星环一定是由单个卫星爆裂而成的。月球摧裂后在地球周围形成光环，那就不会出现分支，这主要是由于地球只有月球一个卫星。洛希的基本观点可以应用在很多方面。例如，在太阳周围，有一个由洛希标注出的危险地带，彗星就是由于经过这一地带而被摧裂的。人们观察到比拉彗星（1846）和泰勒彗星（1916）接近太阳时就各破裂成两部分。比拉彗星于 1852 年回归时分为两颗独立的彗星。这两颗彗星保持着 150 万英里的距离，但自那以后比拉彗星的两部分再也未被发现过。这些彗星的轨道和安卓米帝流星的轨道相似，每年 11 月 27 日便会在地球上空出现，有可能就是比拉彗星的残余物。其他一些比较令人瞩目的流星群也正在彗星的轨道上运行，如以前每隔 33 年在彗星 1866 I 轨道上运行的雷欧尼德，在另一彗星 1862 II 轨道上运行的帕塞德，以及在著名的哈雷彗星轨道上的阿夸瑞德。在以上每一例证里，很难发现有关对流星是由彗星破裂而成这一事实的疑问。除此之外，在一些彗星家族里，家族成员们一个挨一个运行在轨道上，就如它们曾经是一个整体一样。

洛希极限也适用于木星，因此彗星或其他星体一旦进入限定之内的危险区域就会破裂。现在木星最内层的卫星已经很危险地接近这一地带。但

是洛希限定的最大意义在于它很有可能解释太阳系小行星的存在。太阳系形成早期，行星的轨道不如现在这样圆。在火星和木星之间有一颗古行星，它的轨道被反复拉进木星的危险区域。如果真是这样，我们就不必再去寻找小行星的起源了。重要的是，小行星平均运行轨道与符合波得定律要求的存在于火星和木星之间的行星的轨道吻合。

集中讨论恒星的结构及物理

性状，后者包括表面温度、质量、体积、密度。不同的恒星以不同

的速度产生并释放能量，为使两

者平衡，它们不断改变直径。

第五章恒星

对其他恒星的仔细观察表明，全部恒星中的一小部分，比方说十万分之一的恒星可能有数颗行星相伴。另有更少数体积大得多的恒星似乎由于旋转过快而破碎，形成双星或者多元系星团。但是大多数恒星的最终结果是沿着自己的轨道运行，既不会自行破裂，也不会被别的恒星撞碎。这种恒星与外层宇宙的惟一联系是持续不断地辐射、光照。这种辐射过程几乎是单向的；任何恒星接受到来自其他恒星的辐射与自身发出的辐射相比实在微不足道。恒星在辐射、发光时自身质量将减少，而且得不到任何补偿。恒星所搜集到的杂散物质就像它接受到的辐射、光照一样，与其损失相比也是微乎其微的。可以毫不夸张地说，正常的天体可以被理想化地看成是在广阔无垠的宇宙中一个单独的恒星，它持续不断地辐射、发光，而自己却一无所得。

我们在前面已经讨论过恒星可能发生意外事故，具体地讲，就是由于辐射、发光造成的裂变，因路过星体的潮汐作用造成的碎裂等。我们现在可以转而讨论一个正常恒星的寿命问题。所谓“正常”，是指没有发生过意外事故，直到年久衰竭，在宇宙中寿终正寝、消踪灭迹。

首先有必要描述一下所观察到的天空中千姿百态的各类星体的物理形态，其中最基本的是我们必须解决如何把天文学家所观测到的情况表述成为人们了解星体状态的直接知识。恒星的表面温度

在第二章我们讲到每种光的颜色或不同波长的辐射都有相关的特定温度。某种颜色的光表明一恒星达到某一特定的温度。例如，某恒星的温度达到赤热，它所发出的光更多的是红光，而其他颜色的光则较少，所以用肉眼直接看上去它是红色的。因此，如果一个星体看上去是红色的，那就可以合乎逻辑地推测出其表面温度为赤热。如果另一颗恒星发出碳弧光色，那么，我们就可以推测其表面温度跟电弧光温度相同。由此我们可估计恒星的表面温度。

实际上，这个过程并不像上面所讲的那么简单。天文学家使星光通过分光镜（光谱仪）将光的不同颜色分开。通过精确的测量，他就能确定此光中各种颜色所占的比例。在光谱仪上马上可以显示哪种光所占比例最

大。用这种方法，或者通过颜色总分布图，他就可以推算出该恒星的表面温度。

我们已经提到普朗克发现的规律。按照这个规律，一个完整的光源发出的射线分布在光谱仪上不同颜色或不同波长上。图 128 中 4 条曲线代表恒星表面分别在 3000 度、4 000 度、5 000 度和 6 000 度下光照的理论分布。光的不同波长由横轴上的点来表示，波长是用亿万分之一厘米，即通常称为“埃”为单位来测量的，曲线的高度表示讨论中的这一波长的光的辐射强度。参照这些曲线可以很容易地理解确定恒星表面温度的两种方法。 6 000 度的曲线波长最高点达 4 800 埃，由此可以确定当光波最高达到 4 800 埃的任何一星体的表面温度是 6 000 度。第二种方法就是用所观察到的曲线与图 128 中所标出的理论曲线相比■图 128 在不同温度下不同波长的光辐射的分布

较，看与其中的哪种曲线最相符。用上述两种方法都能测定太阳表面的温度在 6000 度左右。这是电弧光中最热部分的温度的两倍。在地球上所得到的太阳的全部光和热表明，该星体在这一温度下差不多“充分辐射”了。太阳的光谱分布情况非常接近于图 128 所显示的在 6000 度高温下充分辐射的理论曲线。

恒星表面温度也可以通过其光谱型来推算。恒星光谱中的许多谱线是由原子发射出来的，因为这些原子中有一个或更多的电子被恒星大气中的热能电离。如果我们知道能使电子从讨论中的原子分离出来的最初温度，就可以推断该恒星的温度。■图 100 所显示的是与不同温度相应的不同类型恒星的光谱。其相应温度大致如下：

光谱型/温度/

B/23 000/

A/11 000/

F/7 400 /

G/6 000 /

K/5 100 /

M/3 400 /

表中的最后三项只代表那些直径与太阳的直径不相上下的正常恒星。我们在本章中将提到还有第二类（巨大）恒星，其直径比太阳的直径大得多。这些恒星的表面温度要低得多，见下表。光谱型/温度/

G/5600/

K/4200/

M/3200/

在研究恒星的结构及物理过程时，人们不太关注以测得的温度来表示表面热度，而较多地关注每平方英寸辐射量的大小。当然，这要取决于温度：表面温度越高，辐射的强度也就越大。但是，温度不能用来测定辐射

量。如果我们把表面温度提高 1 倍，其辐射量将是原来的 16 倍，而不是 2 倍；表面每平方英寸的辐射量的变化是温度变化倍数的 4 次方。

因此，一个表面温度为 3000 度的恒星，或者说一个表面温度为太阳表面温度的一半的恒星，其每平方英寸的辐射量仅为太阳表面每平方英寸辐射量的 1/16。（脚注：这在图 128 中已表明，3000 度区域的曲线仅为 6000 度区域曲线的 1/16。）每个恒星的辐射都是光、热及紫外辐射的混合。但是，在不同的恒星上它们的成分各不相同。恒星表面温度越低，在总辐射量中，作为热能辐射出去的部分就越大。因此一个表面温度为 3 000 度的恒星，其每平方英寸所发射出去的光只不过是太阳表面每平方英寸所发光的 1/16，但是放射出去的热量却要大于太阳所放射出去的热量的 1/16。

这就表明一个恒星的总放射量不能单凭其可见光的亮度来估测；必须在相当大的程度上考虑到不可见光的辐射，要考虑到在光谱上一端看不见的红外线热及另一端的紫外线辐射。这些重要修正都显示在图 129 中。图中的 4 条曲线与图 128 中的曲线相同，而且给出具有一定表面温度的恒星的辐射是如何随不同的波长分布的。在任何温度下总辐射量由相应曲线与横轴之间的面积来表示。发光时，肉眼只能看到波长为 3 750 到 7 500 埃之间的光，即图中的阴影部分。其余的均代表不可见光。

由此我们马上可以看出恒星在 6 000 度时所发光的相当大部分为可见光；但是，当恒星处于 3 000 度时发出的光中只有很少一部分是可见光。把全部恒星看作是一个整体，星光只是整个辐射的一小部分。

如果我们的肉眼突然之间能看到所有的光，那么，天空的样子将发生根本性变化。目前亮度为第 12 等和第 16 等的猎户星和天蝎星的红色星体就会耀然而现，成为两颗最为明亮的星体，而迄今最亮的天狼星则只好退居第 3 位。很不显眼的武仙星将成为第 6 颗最亮的星体。武仙座中 a 星目前由大约 250 颗星组成。由于温度很低，只有 2650 度，它放射出去的几乎全是看不见的热。例如，它放出的热量是御夫座蓝 η 星的 60 倍，该星的表面温度是 2 万度，但是其亮度只有蓝 η 星的 4/5。

本书在各种计算中都充分考虑到恒星的不可见辐射，但是没有必要在这一点上反复说明。

恒星的直径

■图 129 可见光与不可见光的辐射分布（阴影代表可见光范围）

测量行星的直径是很容易的，因为行星在望远镜中的图像是个大小确定的盘。但是恒星则大不一样。它们与我们相距遥远，不能用测量行星的方法来测定恒星的直径。在天空中没有哪颗恒星的直径会比我们放在 6 英里之外的大头针头更大些。目前还没有制造出这样的望远镜能使这样的天体在望远镜中呈盘状。所有的恒星（译者注：太阳除外），即使是最近的、最大的，都看上去像个光点，所以它们的直径只能用间接的方法测定。如果已经知道某一恒星的距离，通过其视亮度我们可得出其光度。在考虑到

其不可见光的辐射后，我们就能推算出该恒星所放射出去的全部能量——成亿成兆马力。我们还可以知道恒星表面每平方英寸能量的放射量。因为这只取决于其表面温度，而这个温度则可直接通过分光镜观察并推算出来。有了这两个数据，只要用还原计算法就能算出该恒星表面的面积有多少平方英寸，这样我们马上就知道恒星的直径有多大。

一些特大型恒星的直径可以直接用干涉仪来测定。当我们把望远镜对准一颗恒星，严格地说，我们看到的不只是一个光点，而且还看见一个被一系列相当复杂的明暗交替的环所包围的光点，我们称这些环为衍射图。人们可能会认为这些环的大小或许告诉我们恒星的大小，但是，实际上二者之间毫无联系。这些环实际上表明仪器有欠缺。环的大小取决于望远镜的大小和仪器组装的质量。迈克尔逊教授根据斐索于 1868 年提出的方法做实验，发现甚至可以利用这种欠缺。他借助于这些光环制造出一种可以说是现代天文学中最有创造性、最敏锐的仪器——干涉仪。实际上，这种仪器是把同一恒星的两个分离的衍射图叠加起来，以一个衍射图来抵消另一个，从而使产生这些衍射图的恒星露出庐山真面目、显出其大小。有些最大的恒星的直径就是用这种仪器测出来的，因此我们可以说这些恒星的直径是我们直接观察得来的。从任何角度看，凭直接观察得到的直径同上文介绍的用间接方法计算得出的直径相比都相当令人满意。当然并非十全十美。看来原因出自那些红色恒星没有准确地进行“充分辐射”。干涉仪测量法只适用于超大型恒星。对于另一极端的超小型恒星来说，相对论就可以发挥作用了。爱因斯坦证明了他的相对论的必然结果是：一个恒星的光谱应当向红色一端移动，移动的情况取决于恒星的质量和直径。那么，如果已知某恒星的质量，观察到的光谱位移应即刻使人们知道其直径。这种光谱位移在最近接收到的天狼星伴星的光中被观察到，所测得的数值使我们得知该恒星的直径，并且与根据其亮度计算出的直径完全一致。对星系中的最大的恒星和最小的恒星都可以用直接观察法来验证通过计算得到的直径。

由此我们可以满怀信心地用计算法来计算所有恒星的直径，即使计算的结果无法用直接观测法来验证。实际上，计算得出的直径与实际直径之间的差异仅仅是由一个原因造成的。在计算直径时，先假定恒星充分辐射热量。如果恒星像星云那样是半透明的，或者像月亮一样是固体天体，上述假设就是错误的，而这种错误立刻就会表现在计算得到的直径与观测到的直径之间的差别上。但是二者之间的差别并不悬殊，这一事实表明整个恒星，从最大的恒星到最小的恒星几乎是充分进行热辐射的。恒星的多样性

观测表明，恒星的物理特征千差万别，因此只要把一些亮度最高和最暗的、最大和最小的等等极端的星体加以对比，人们随时可以讲述一些非常动人的故事。但是，这将使人们对宇宙中的“居民”留下一个不完整的

印象，就像在表演者的帐篷里凭一个巨人或侏儒来判断一个民族，或者从一群身强力壮的人和肌肠辘辘的人来判断一个国家一样是不合理的。

如果我们考虑到距太阳最近的恒星的物理状态，我们就能对恒星在总体上表现出的实际差异程度得到比较均衡的印象。通过这些恒星在天空出现的先后顺序来排一下，就可以避开“我们是否特意介绍那些奇形怪状的或反常的恒星”一类疑问。通过这种方法找到的少量恒星有可能被认为是宇宙中恒星的代表，尽管这些样本仍不足以概括一切极端恒星。我们不必讨论太阳的细节，因为它将被挑出来作为宇宙中的标准恒星，其他恒星参照它而进行各种对比。

α半人马座系这个系列包括三颗结构型恒星。这三颗星被认为是宇宙中离我们最近的邻居。

最明亮的是一颗α半人马座α星，它与太阳最相似。两者的颜色相同，光谱型也一致，但前者的质量却是太阳质量的114%，其亮度大约是太阳亮度的112%。它与太阳的颜色一样，因为每平方英寸放射的总量与太阳放射的总量也是相等的。由于α半人马座α星的亮度比太阳的亮度高出12%，其表面一定比太阳表面大12%，那么其直径就要比太阳直径大6%。

星座中的第二颗伴星α半人马座β星，看起来要比太阳红一些，其表面温度大约只有4 400度，其质量只相当于太阳质量的97%，其亮度大约只有太阳亮度的1/3。由于其表面温度低，它就需要再有太阳面积一半的表面来放射相当于太阳放射出去能量的1/3，因此它的直径就得比太阳的直径大出22%。α半人马座α星和α半人马座β星构成可见的双星，这两颗星79年来相互环绕运行。

这两颗星与太阳都没有太大的区别。星座中的第三颗星——比邻星却是颗截然不同的星体。它看上去呈红色，表面温度只有3 000度，非常暗，发出的光只相当于太阳的万分之一，其直径只有太阳直径的1/14。其质量尚不清楚。

慕尼黑15040这是一颗鲜为人知的单个昏暗星体，表面呈红色，温度可能略高于2 500度，放射出的光只相当于太阳的1/2500。

沃尔夫359这是迄今为止发现的最昏暗的星，人们对它知之甚少。它呈现红色，发出的光只相当于太阳的1/50000。莱兰德21185这是另一颗暗红色星体，发出的光相当于太阳的1/200。

天狼星座该星座包括两颗截然不同的星体，人们怀疑可能还有第三颗星体。

其中的主要恒星天狼座α星（又称天狗星）是天空中最亮的星体，呈白色，其表面温度大约为1.1万度。由于它的温度相当于太阳温度的两倍，其表面每平方英寸发出的光相当于太阳的16倍，其亮度为太阳亮度的26倍，因此其直径要比太阳的直径大出58%，其体积几乎是太阳体积的4倍，但质量只是太阳的2.45倍。所以，在天狼座α星上的物质密度并不像太阳

上的物质密度那么大。太阳上每立方米的物质的平均密度是 1.42 吨，而天狼座α星上每立方米物质的密度只有 0.92 吨。

暗一些的天狼座β星是天空中最有趣的星体之一。它的颜色和光谱型与天狼座α星几乎一样，但是发出的光却只相当于天狼座α星的 1/10000。这两颗星体的表面温度差别很少，但是β星的面积和直径却分别是α星的 1/2500 和 1/50，而α星的质量却只有β星的 3 倍，尽管其体积是β星体积的 12.5 万倍。因此最令人注目的不是天狼座α星，而是天狼座β星。后者的物质平均密度是水的 6 万倍，每立方英寸的物质几乎有 1 吨重。B.D.12°4523 和英尼斯 11h.12m.57.2°对这两颗恒星的物理状态我们一无所知，只知道它们都暗，发出的光分别为太阳的 1/1400 和 1/10000。

科多巴 5h.343 和τ赛提这是两颗昏暗的星。都是红色，所发的光分别是太阳的 1/600 和 1/3。

小犬座系 这是双星系。在许多方面与天狼星座相似。主要的恒星小犬座α星，类型与太阳相同，但比太阳重 24%，发出的光是太阳的 5.5 倍，其表面温度为 7000 度，其直径是太阳的 1.8 倍。它的伴星小犬座β要暗一些。我们只知道该星发出的光仅为太阳的 1/30000，其质量为太阳质量的 39%。其他的物理状况不得而知了。

在太阳落山后，按顺序第八个出现的是非常不明显的恒星。它们都比太阳红、比太阳暗。它们的表面温度都不超过 5 000 度，所发出的光没有一颗超过太阳光的 1/4。下面接着出现的是克留格尔星系。

克留格尔 60 星系这是双星系统，两个恒星都比较小，红色，较暗。最亮的克留格尔 60A 星的表面温度为 3 200 度，发出的光是太阳光的 1/400。其直径和质量分别为太阳的 1/3 和 1/4,因此它的密度想必是太阳密度的 7 倍。那颗更暗的伴星克留格尔 60B 星的表面温度与 A 星大致度相同，但是发出的光却只有太阳的 1/14000。其直径为太阳直径的 1/6，其质量为太阳质量的 1/5。因此其物质密度想必有太阳密度的 40 倍。冯·马南星这是另一颗非常暗的星体。它的表面温度为 7 000 度。尽管如此，它发出的光却只有太阳的 1/6000。因此，其直径也只有太阳直径的 1/110，比地球还要小一些。它的质量尚不清楚，但是其密度可能比天狼座β星还要大。从上述对恒星的讨论可以看出，与太阳相比，宇宙中大部分星体的体积要小些，温度要低些，亮度要暗些。一些恒星要比太阳明亮得多。那是些特殊的例子。从总体上看，天空中的恒星要比太阳小、比太阳暗。

有了以上这些样板，我们就可以进一步系统地讨论恒星的特点，大可不必担心会提到一些极端例证。我们就从质量开始吧。恒星的质量

宇宙中已知质量最小的两颗星是前面已经讨论过的克留格尔 60 系列和最暗的三星系 0■波江星座，每颗星的质量都相当于太阳质量的 1/5。在宇宙恒星中，已经知道质量的恒星数目非常少，目前尚无法证实上面提到的这些恒星就一定是整个宇宙中最轻的恒星。从对整个宇宙的总体考察来

看（将在后面讨论），可能会有更轻的恒星，可能有少数恒星轻到只有太阳质量的 1/10。绝大多数恒星的质量介于太阳质量的 10 倍和 1/10 之间，趋于中间状态。质量为太阳 3 倍的星体比较罕见。可能有十万分之一的恒星的质量是太阳质量的 10 倍。毫无疑问，还有更重的恒星——我们前面已经提到普拉斯凯特星，它的双星质量分别是太阳质量的 75 倍和 63 倍。四星的大犬星座 27，从各方面看，其质量应为太阳质量的 940 倍。不过这是非常非常罕见的情况。一般地讲，我们可以说恒星的质量介于太阳质量的 1/10 到 10 倍之间，而且我们会发现恒星在质量上的差异取决于它们在其他物理特性上的差异。

恒星的光度

恒星光度的差异非常大，度量的单位是太阳烛光。最亮的恒星是前面提到的 S 剑鱼星。其光度为太阳光度的 30 万倍，而最暗的恒星是沃尔夫 359，其光度仅为太阳光度的 1/50000。恒星光度和质量的幅度大体上相同，在这两个幅度中太阳都是居中的。因此，就质量和光度而言，太阳是个中等恒星。所谓“中等”，是指居两个极端的中间。事实上有更多的恒星在光度和质量上低于太阳。

与质量比较，恒星光度的差异要大得多。S 剑鱼星的光度是沃尔夫 359 光度的 150 亿倍。假如 S 剑鱼星是个灯塔，那么沃尔夫 359 连萤火虫都不如，而太阳则相当于普通的烛光。假如有朝一日太阳突然放射出 S 剑鱼星那么多光和热，那时地球的温度就会猛升到 7 000 度，我们人类及我们的家园——地球就会在顷刻之间烟消云散。相反，如果太阳发出的光和热猛然降到沃尔夫 359 的水平，地球赤道上的人们会发现中午的太阳光和热相当于 1 英里以外的炉火，地球上的生灵将被冻僵，地球大气层的空气将液态，像海洋一样把地球淹没。迄今就我们所知，太阳还不可能表现得像 S 剑鱼星那样，但是稍后我们将会讲到太阳变得像沃尔夫 359 那样倒不一定绝对是痴人说梦。

恒星的表面温度和辐射

现已发现天狼星是最靠近太阳的恒星中表面温度最高的恒星——大约 1.1 万度，这几乎是太阳温度的 2 倍。（编者注：前文称太阳表面温度为 5 600 摄氏度，据此推断本节温度数值属摄氏体系。）离太阳再远点的，我们发现有许多恒星的表面温度比太阳的表面温度要高得多。例如，人们认为普拉斯凯特星的表面温度是 2.8 万度，尽管我们必须承认在促成星体高温的因素中已经估计到有相当多的因素是不确定的。

在另一个极端，恒星的表面温度降到 2 500 度左右。这是比较常见的。所有恒星中温度最低的恒星局限在变星中，这是一种特殊类型的恒星（长周期变星）。这类恒星的光度随着恒星表面温度的不同而变化。这些恒星的温度最低时可达到 1650 度，这只比普通煤炉的温度略高一点。在这些变星中，有许多恒星的表面温度的变化的幅度很大，但是最低也没有低到

根本看不见它的程度。因此有个大约不足 2 500 度的幅度。迄今还不知道哪颗恒星有这个温度，除了那些长期变星只是偶而达到这个温度。由此可以表明宇宙中暗星的数量是很少的。其他方面的例证殊途同归，也能得出同样的结论。如果一颗恒星停止发光，但是其引力也能揭示它的存在。虽然我们尚不能用这种方法探测单个暗星的存在，我们却可以查明多颗暗星的存在。如果三颗恒星中有两颗是暗星，我们完全可能根据暗星对现存恒星运动的影响来推测暗星的存在。通过总引力计算，我们可以排除大量暗星存在的可能性。目前就我们所掌握的知识而言，星体表面温度的幅度的主要部分是从 3 万度到 2 500 度之间。再低一些可达 1650 度，这是长周期变星所达到的最低温度。

除长周期变星之外，这个温度的变化幅度只不过是 12 到 1，与亮度的变化幅度和质量的变化幅度相比还是比较整齐均衡的。但是我们必须记住，一颗恒星表面每平方英寸的发光量比表面温度的变化要大得多，后者的变化是 12 到 1，而前者的变化则为 2 万到 1。如果再把长周期变星算进去，每平方英寸光度的变化幅度可达 11 万到 1。

用马力作为能量单位，太阳每平方英寸放射出去的能量为 50 马力，而表面温度为 1650 度的恒星每平方英寸只放出 0.35 马力的能量；表面温度为 2.8 万度的普拉斯凯特星每平方英寸发出的能量则为 2.8 万马力。用更明快的语言表达这个概念，这就是说，后一颗恒星每平方英寸所发出的能量足够一条在大西洋上航行的轮船时刻不停地全速航行，年年岁岁，岁岁年年，永不停歇。各类恒星表面每平方英寸所发出的能量的差别，大到驱动轮船飘洋过海，小到荡起一叶轻舟。

恒星的体积

■下面表中显示 4 颗已知直径最大的恒星：

恒星/以太阳直径为单位/以英里为单位

α天蝎座/大约 450/3.90 亿

α武仙座/大约 400/3.46 亿

■赛提（最大）/大约 300/2.60 亿

猎户座（平均）/大约 250/2.16 亿

这些恒星很可能相当松脆。以天蝎星为例，它占据的空间是太阳所占空间的 9000 万倍。如果它的密度跟太阳的密度一样，其质量就应当是太阳的 9000 万倍。可是实际上，它的质量却只有太阳的 40～50 倍。质量的差异是由天蝎星与太阳的密度不同造成的。平均来说，一吨物质在太阳上所占的空间少于 1 立方码；而在天蝎星上，将占有相当于圣保罗大教堂内部那么大空间。对恒星内部的详细研究表明，取恒星的平均数没有多大意义。天蝎星核心部分的密度很可能接近于太阳中心物质的密度。天蝎星之所以是个庞然大物，很可能主要是因为它有非常厚的稀薄的大气层，因此就没有什么必要在这大气层与恒星中心致密的物质之间取一个平均值。

被称为行星状星云的天体（如图 91）就很神秘，或许应把它们看成是直径更大的恒星。在这种星云的中心，望远镜发现一个相对来说较为昏暗、表面温度极高的星体；在这种恒星外面包围着一层朦朦胧胧的星云状物质，这就是那不幸的名字“星云”的由来。这很可能就像我们上文表中 4 颗巨大星体外面裹着大气层那样，只不过更厚些罢了。据估计，冯·马南星的直径是地球轨道的 570 倍，相当于天琴星的环状星云状物质的直径，也就是说等于 1060 亿英里。这些星云状物质有别于普通恒星的大气层，它几乎是全透明的。我们能看清 1060 亿英里厚的环状星云，而普通恒星我们却只能看清几十或几百英里。

恒星体积的另一个极端，已知的最小恒星是冯·马南星，它跟地球大小差不多，或者说在太阳的“肚子”里塞进一百多万个这么大的恒星还绰绰有余。但是，它的质量与地球是无法匹敌的。据估测，冯·马南星的质量是太阳的 1/5。如果能把太阳塞进地球那么大的球体中，就意味着把一吨重的普通物体塞进樱桃那么小的空间里。也就是说冯·马南星上樱桃那么小的物体有 1 吨重——1 立方英寸的物体重达 10 亿吨！地球的硬度表明物质的原子排列是相当紧密的，然而冯·马南星物质的原子排列还必须再紧密 6.6 万倍！

这怎么可能呢？稍后我们就会明白。我们把碳原子比作在滑铁卢车站嗡嗡飞行的 6 只大黄蜂。我们把原子再分成更小的成分电子、核子等。然后，再把这些原子成分重新尽可能紧密地排列起来，这样我们就会明白冯·马南星上的物质是如何构成的了。6 只大黄蜂可以在整个滑铁卢车站里飞来飞去，也可以把它们统统装进一个很小的盒子。

巨星与矮星

我们已经谈到在质量差异上，恒星有一个系列范围；同样，在温度差异（还有颜色）和体积大小上都可以列出各自的系列范围。在各个具体的系列范围中，都能为您找到您想知道的任何质量、任何颜色、任何大小的恒星。但是这并不意味着只要你提出您想知道的某个恒星的质量、颜色和大小，我就能为您查出来。很可能质量对而颜色不对，如此等等。例如，你想找颗红色恒星，我可能为你查到非常重的或者非常轻的；但是如果你想要查质量中等的，我却没有办法。因为迄今为止，还没有中等质量的红色恒星。查体积也如此——没有中等大小的红色恒星。赫兹普朗在 1905 年注意到红色的恒星可以根据它们的大小分成截然不同的两类——巨■图 130 恒星按光度排列、

按颜色分类

星和矮星两种。罗素在 1913 年进一

步研究了这个问题，证实了赫兹普朗

早先的结论，并指出这种巨星、矮星

分类法也可以在除了红色恒星外的

其他颜色的恒星分类上加以沿用。

让我们想像有一个颜色差别的系列，一颗恒星一种颜色，如红、橙、黄等等。我们把所有的红色恒星都挑出来，排在红色的不同等级上（当然是想像的）。不是随意安排，而是按光度顺序来排，最亮的排在顶端，然后把若干颗光度相似的恒星排在同一个颜色等级上。为了使这种排列比较固定，使每种颜色等级在光度上是下一种颜色等级的 5 倍，这样使每种颜色等级都有相应的光度。

在这样排列之后，我们可以进行下一步。我们把红色恒星放在适当的红色的不同颜色等级上。图 130 反映出排列的结果，图中“ × ”代表不同的恒星。

在图的右边人们会发现红色的恒星。按赫兹普朗法划分的巨星和矮星赫然在目。橙色恒星标在中间的图表上。正如罗素已经发现的那样，这种划分表现出来了，但是差别并不那么明显。赫—罗图

我们画一个阶梯表来表示每种颜色的恒星，按适当顺序把它们并排排列起来，表示恒星可能有的所有颜色。图 131 所表示的就是这个意思。这种图表是罗素于 1913 年首次提出的，现在大家称之为赫—罗图。

图顶部的字母代表恒星的光谱型，因为它们比用颜色的名称更能恰如其分地反映分类情况。与各光谱型大体相对应的颜色标在图的底部。只有很少几颗具有代表性的恒星显示在图中，但是所有已知的恒星都集中在图中这些典型的恒星周围。从广义上讲，这些恒星占据着两个显著的、但是互不相干的区域：首先，也是最重要之点是，有个区域呈倒 γ 状；穿过这一区域的中心线用一条黑线标出，穿过赖德曼所确定的位置；第二，在图的左下角有个较小的区域。这一带的恒星都很暗，可是比起光度相似的其他恒星来说，它们的表面温度却要高得多。

我们已经知道如何用恒星的表面温度和光度来计算它的直径。这就是说，赫—罗图中两颗位置相同的恒星，它们直径也必定是相同的。因此在图表中每个点都有一个确定的相应直径，于是我们可以在图表中画出恒星直径，这就像我们在普通地图上标出海拔高度一样。这套体系被称之为“ 等高线 ”。在目前这个例子中，这些“ 等高线 ”几乎都成了平行的弧线，在■图 131 赫—罗图■图 131 中以虚线标了出来。处于某一条线上的恒星就具有该虚线所标出的直径。

这个图使恒星直径问题一目了然。我们一眼看出直径最大——直径是太阳直径的 100 倍或更大——的那些恒星必定是光度高的红色恒星。事实

上前表中 4 颗大直径恒星都是高光度的红星，是红色巨星。

■在图 131 中，从左上角到右下角狭长星带上的恒星占天空中恒星的绝大多数。这就是众所周知的“ 主序星 ”。把这条星带的位置参照表示直径的“ 等高线 ”，我们会发现主序中的恒星的直径都是中等的。其中最亮的星的直径是太阳直径的 20 倍，最暗的星的直径仅为太阳的 1/20。但是它们的直径与太阳直径至少还是能够比一比的，相差并不太悬殊。我们按离太阳远近为顺序看这些样本，它们都有“ 主序 ”恒星的许多共同的特点。下面表中按光度大小列出一组恒星：

恒星/光度/直径（以太阳直径为单位）

天狼座α/26.3/1.58

小犬座α/5.5/1.80

α半人马座α/1.12/1.07

太阳/1.00/1.00

α半人马座β/0.32/1.22

τ赛提/0.32/0.95

■安帝/0.15/0.82

克雷格尔 60A/0.0026/0.33

克留格尔 60B/0.0007/0.17

沃尔夫 359/0.00002/0.03

从表中我们清楚地看到，在主序星中从上到下光度越来越低，直径越来越小。

■在图 131 中，其余的恒星，即左下角的恒星一般被称为“ 白矮星 ”。它们在图表中的位置表明它们的直径非常非常小。在离太阳较近的区域有三颗样本，列入下面表中：

恒星/亮度/直径（以太阳直径为单位）

天狼座β/0.0026/0.03

■波江座β/0.0031/0.018

冯·马南星/0．00016/0．009

除上面这些恒星之外，o 赛提的伴星很暗，当然是个“ 白矮星 ”。而小犬座β星则可能是个白色恒星。这些是迄今为止仅知的“ 白矮星 ”。由于这些恒星极不明亮，因此很难探明它们的位置。因此宇宙中很有可能有许多这样的天体。

上面按主序恒星光度大小顺序排列的表，同时恰好又是按质量大小排列的。其中有三颗星的质量不详，其余的恒星的质量列表如下。

恒星/光度/质量（以太阳质量为单位）

天狼座α/26．3/2．45

小犬座α/5.5/1．24

α半人马座α/1．12/1．14

太阳/1．00/1．00

α半人马座β/0．32/0．97

克留格尔60A/0．0026/0．25

克留格尔60B/0．0007/0．20

沿着主序往下，随亮度不断降低，恒星的质量也逐步下降。虽然图上显示得很明显，但是并不像光度那样下降得那么迅速、差别那么悬殊。

能够直接测出质量的恒星只有那些组成双星系统的恒星，而在宇宙全部恒星中，双星的数量是很少的。但是西尔斯发现双星系统恒星的质量符合能量均分法则（这一法则在第三章已经解释了），因此那些尚不是双星的恒星很有可能也符合这一法则，否则很难想像为什么双星系统恒星会比其他恒星更快地处于能量均分状态。这种统计规律把恒星运动的速度和质量联系起来，这样一来，已经处于能量均分状态的恒星系统就不会提供有关单个恒星质量的信息。但是，单个恒星的速度是已知的，这样通过该恒星系统运动的平均速度，就有可能确定恒星系统的平均质量。西尔斯■图132 西尔斯绘制的赫—罗图，显示恒星质量与密度的关系。就用这种方法确定了不同光度和不同光谱型的一系列恒星的平均质量。换句话说，就是恒星的平均质量由图131中形形色色的点来代表。他所获得的这一结果在图132中用粗的曲线表示。至此，我们的观测资料就齐全了。我们可以开始讨论更为困难的问题：这一切究竟是什么意思。现在我们把这些可靠的根据、查明的事实都先放一放，开始进行猜测、假设和推论等抽象的工作。我们将要讨论的问题是整个天文学中最有趣的问题；同时我们不得不承认，科学虽然发展到目前水平，我们得到的某些答案却仍是那么含糊不清、那么不尽如人意。请那些急于获得肯定答案的读者耐不住性子继续读下面这部分内容。

恒星的物理状态

我们在前面收集到的大量资料表明在某些区域根本就没有恒星，说明白些，在赫—罗图中的某些部位完全空白。先看图131中最明显的事例。在赫—罗图中主序的左下侧根本就没有恒星，隔一片空白才有离主序相当远的白矮诸星。为什么中间地带没有恒星？问得更具体点，为什么没有与天狼星颜色相同而光度只有天狼星光度1/2的恒星呢？为什么在图中直到白矮星0■波江星β、光度只有天狼星的 1/10000时，我们才发现一颗在颜色上可与天狼星相比的恒星呢？

人们头脑中会自然而然地出现一个假设：主序恒星与白矮星所形成的这两部分星团差异甚大，是因为它们处于不同的时代，代表不同的创生时期。当恒星年老时，它们的质量和光度都要逐渐降低。因此这容易解释白矮星质量轻和光度极低的原因。它们的年龄要远远大于主星序中正常年龄的恒星。但这种假说似乎站不住脚，理由并不充分。

冯·马南星是个例外，其他每一颗既不为人所知、又没有被认为是白矮星的恒星都是双星系统的组成部分，而它们的伴星都是主序恒星，或者是颗红色巨星（如■赛提就属此例）。我们已经知道在宇宙中两颗恒星相互接近是非常罕见的。当两颗各自独立的恒星信步由缰在太空中漫游，相遇时那颗强壮的恒星“逮住”那颗弱小的，然后再相依相伴继续它们浪漫的太空旅程。这一切简直是不可思议的、极为罕见的。因为如果要促使这种情况发生，除了两个恒星接近之外，还应该有些别的情况。也就是说两颗恒星接近还必须有第三者参与。这三颗恒星在广阔无垠的太空中邀游，同时不期而遇。即使这种现象只发生一次，那也是不可思议的；如果人们设想除了一颗白矮星之外，其余已知的白矮星都发生过这种情况，这就过于牵强附会了。于是我们只能假设每一颗白矮星跟它们正常的伴星从一诞生起就是相依为命的，是同时由同一个星云生成的。

因此白矮星与主序星的差别不可能仅仅是年龄上的差异，想必有什么物理方面的原因不利于恒星处于中间状态。如果我们思路放开，更广泛地考虑这个问题，就会使我们考察缺少某些特定结构的恒星是不是因为缺少某些物理特性，而这些特性恰恰是大自然所无法提供的。这就直接导致了恒星的结构及物理性能这个普遍问题。

恒星的内部结构

大多数人研究恒星结构时，都从假定恒星自里到外都是气态这一点入手。先不把这种假定看成是最终真理，眼下我们把这种假定暂且看成是研究这个极端复杂问题的捷径。有一个举世公认的定理——庞加莱定理——在讨论气态恒星时被认为是最有效的工具。亥姆霍斯认为太阳发出的能量很可能来自太阳的收缩过程：当里面的一层收缩时，外面的一层就裹在上面，把内部的能量转换成光和热释放出来。这种收缩能排放多少能量是可以估算出来的。例如，开尔文勋爵计算出太阳从当初无限大，收缩到现在86.5万英里直径，在此期间排放的能量相当于今后5 000万年的排放量。如果用尔格（厘米/克秒制的能量单位）为单位来计算，太阳收缩时排放的能量相当于 6×10■尔格。庞加莱定律指出：任何气态恒星分子运动的总能量刚好等于恒星缩小到目前状态所排放的总能量的一半。不论恒星先前是否收缩过，这条定律都适用，不牵涉任何其他问题，只考虑恒星的当前状态。

一个十分有趣的结果是，气态恒星越收缩，其表面温度就越高。如果某个恒星收缩到目前大小的一半，从无限大开始缩小的过程中所释放的能

量就得翻一番，结果分子活动的能量也需要翻一番，于是恒星表面温度也要提高一倍。这是用莱恩定律解释的一个特殊事例。

我们继续进行有关太阳这颗特殊恒星的计算工作。庞加莱定律告诉我们，如果太阳是个气态恒星，它的分子活动的总能量是 3×10■尔格。我们想知道的下一个问题是太阳有多少分子。我们知道太阳的质量是 2×10■克。那么 1 克太阳物质有多少分子？答案当然取决于太阳含有什么类型的分子。氢分子每克有 3×10■个，空气分子每克有 2 ×10■个，而铀每克只有 2.5×10■个分子。

如果我们假定太阳是由空气组成的，太阳得含有 4×10■个分子。因此，每个分子活动的平均能量为 7.5×10■尔格，而且这个数字还代表太阳内部的平均温度 3.75 亿度。在 1907 年，艾姆顿用另一种方法计算出空气组成的太阳中心的温度是 4.55 亿度。排除那些细节，很显然，空气组成的太阳中心的温度一定是上亿度的。

但是肯定有什么地方不对头。因为在第二章“辐射”的动力作用一节中的一个简单的计算表明，在这样的高温状态下辐射的量子在飞行中能量非常大，不仅能使空气分子分解成原子，并且能剥夺原子中所有的或几乎所有的电子。在这样的高温下，空气的每一个分子都会分解成它的最基本成分——原子核和电子，这就像在炎热的夏天，一块冰完全化成水一样。在较为安静的环境中电子能能把电子和原子核结合起来，先构成原子，再组成完整的分子。可是在高温状态下电子被连续不断地快速抛射，并受到高能量子的猛烈轰击，完全丧失了组合能力，就像企图在飓风中用卡片搭房子一样，是根本不可能的。这样一来，太阳含有空气分子这个假设便不攻自破了。因此我们就得重新探索。我们可以从任何角度入手，但是我们最后得出的结论必定是这样的：不论太阳含有什么分子，太阳核心的高温都会把它们全部或几乎全部分解成最基本的成分——原子核和电子。一切恒星都不例外。这种情况很自然引出恒星内部构造这个简单的问题。如果不知道分子的性质，就不可能知道 1 克分子有多少个单位；但是一旦分子被分解成最小的构成单位，我们马上就知道构成太阳的全部成分，知道原子核和电子（由它们组成 1 克）的数量：大约为 3×10■，不管它们来自什么分子。（脚注：这一说法出自这样的情况：所有元素的原子质量几乎是原子数量的两倍。这一结论对于氢是不适用的。但是我们可以对恒星含有氢这一可能性忽略不计。）因此，当恒星的高温把分子分解成原子核和电子后，我们知道这些基本构成物的总数，这样也就比较容易用庞加莱定律或其他方法计算出太阳内部的温度。这个温度跟好像是由没被分解的氢分子组成的太阳的温度是一样的。

艾姆顿在 1907 年用这种方法算出的太阳温度应当是 3 150 万度。后来爱丁顿进行了一次更为精确的计算，得出了几乎相同的结果；再往后我本人又进行了计算，得出一个相当高的数字：5 500 万度。现在还没有必要

讨论这些数字中哪个更为准确。它们之间的差异将会表明，在进行计算时有哪些未知因素在多大程度上起作用。

我们很容易看出这样的高温需要某些物理条件。从太阳表面辐射出去的热量首先必须从太阳的内部到达表面。热量只能从较热的地方向较冷的地方传导，剧烈的热流说明温度的梯度悬殊。从太阳表面深入核心，温度的上升肯定是非常剧烈的，而且这种上升要延续 43.3 万英里，直到太阳的中心。中心的温度肯定是非常非常高的。

计算出来的太阳中心的温度是 3 000 万至 6000 万度。这的确难以想像这究竟意味着什么。现在就让我们来想像一番：把 1 立方毫米（相当于普通大头针针头那么大）的普通物质放在 5 000 万度（太阳中心的大概温度）的高温下。仅仅为了补充它从各个方向放射出去的能量，将需要一台 300 亿万兆马力的发动机提供全部能量。这大头针针头大的物质发出的热能，足以使任何处于 1000 英里之内的人毙命。

尽管这个温度非常高，但是计算表明这还不足以使星体的分子全部分解。这种高温将使全部电子集中到 K 环（见第二章“光子论”一节），并将完好无损地处于这种状态下。要想把电子从原子核的 K 环状态中驱散剥夺，还需要更高的温度。这个结论适用于 3 000 万至 6 000 万度之间，太阳中心的温度大致也处于这个范围之内。这个温度与我们假定的构成太阳的原子总质量或者原子总数量几乎无关。

因此，如果整个太阳全是气态的，构成中心部分的大量原子就一定是电子都集中在 K 环上的，决不会超出这个范围。这种原子就像空气分子一样独立地快速运动。所有集中在 K 环上的电子本来是组成 L 环和 M 环的，现在处于 3 000 万至 6 000 万度之间的某个温度，也像空气分子一样在飞速运动。当太阳内部的物质向温度较低的表面移动时，被完全分裂的原子要更少些。最后，当物质接近太阳表面时会遇到一些完整的未被分裂的原子。也许有时会有例外，缺少一两个最外层的电子。在温度最低的表面，甚至会有完整的分子，例如氧化钛分子、氢化镁分子等。因为在红星的光谱上看到它们的存在。

天文学家在用同样的方法研究其他恒星的内部结构时，也发现所有的主序恒星的中心温度跟太阳中心的温度都差不多。而且，这还不是这些恒星惟一的共性。图 132 显示的是西尔斯对中等恒星的密度计算的情况。结果表明，主序恒星的中等密度都差不多，只是在两个极端上略有些差异。

太阳的平均密度为 1.4，这表明在太阳上平均 1 立方米的物质重 1.4 吨。可是太阳中心的密度大约是平均密度的 100 倍，即中心部位每立方米的物质重 140 吨。我们可以作一番比较：1 立方米的铅重 1.1 吨，如果所有的恒星的内部构造都像太阳一样，任何两颗具有中等密度的恒星中心部位的密度也是一样的。但是，对于那些质量是太阳质量数倍的恒星来说，有个新因素在起作用，具体地说就是辐射的压力。压力决定辐射出去的物

质的质量。对于大多数恒星来说，这种压力与挤压物质的原子和电子所产生的压力相比是微不足道的，但是对于巨大恒星来说，这个压力却大到足以改变其内部结构。这些巨无霸之所以如此庞大，就是由这种压力造成的。它们的直径在本章“恒星的多样性”一节中已列表显示。辐射压力的干扰作用的普遍结果是巨星的质量主要集中在核心部分，而较轻的恒星却不是这样。因此，当较轻的恒星与和一个巨无霸具有相同的平均密度时，后者中心部位的密度要大得多。把这个干扰因素考虑在内，图 131 在主星序上部的全部恒星的中心部位的密度大致相同，估计跟太阳的中心部位的密度一样，即每立方米的物质重 140 吨。我们还发现，这些恒星的中心部位的温度也大致相同，也跟太阳中心部位的温度一样。这样我们就得出结论：它们中心部位的物理条件几乎是一样的。因此我们可以认为这些庞大恒星中心部位的物质的原子分裂的程度与太阳中心的原子的分裂程度是一样的。处于 K 环的电子都完好无损地保留下来，可是外环的电子却变成了“电子冰雹”，像独立的分子一样狂飞乱舞。

我们可以相当准确地达到当前的目标：主星序上的所有恒星（可能要排除最下端的个别恒星）可以假定处于相同的物理条件。由于有了这一特点，主星序形成一条基本线，我们可以根据这条线来观察赫—罗图所反映的星球内部的物理状况。图 131 显示，在主星序右侧的恒星的直径要大于主星序中同等质量的恒星。因此，根据庞加莱定律，它在缩小到目前这个直径的过程中所排放的能量就少一些，因此它的分子活动的能量就小一些。这样，我们就可以说它的内部温度要低一些，它的原子被完全分裂的数量也少一些。像天蝎座这样的红色巨星，中心部位的温度只在 100 万至 500 万度之间，很可能它们的原子中不仅 K 环的电子保持完好，而且 L 环以及至少 M 环的部分电子也保持完好。

在主星序左侧如果真有恒星，那将是收缩得更小的恒星，温度当然会更高，被完全分裂的原子数量也就更多。事实上，在这一区域尚未发现任何恒星。再往下就到白矮星区了。计算表明，它们的中心温度想必至少有数亿度之高，而它们的原子中的电子可能全部被剥夺，只剩下原子核。可能只有少数原子免遭厄运。那么，星球物质想必是由纯原子核和自由电子组成，而这些电子在球体内部毫无拘束地横冲直撞。这些白色侏儒的高密度为上述描述提供了证据。中等密度的天狼星 β 肯定超过 5 万，冯·马南星的密度可能超过 30 万。没有任何方法能使物质如此致密。除非驱除原子中的全部电子而只剩下原子核。

就反映物理状况而言，赫—罗图给人们最清楚的总印象大致可规纳成以下几条：

首先我们想到的是两条互不相干的星带，一条由白矮星组成。在这些恒星中，物质的全部原子的电子都被剥夺了。另一条星带是主序恒星。在这些恒星中，物质的电子都集中在 K 环上，但是外环上的电子被驱散了。

大约从主星序的中部区域开始，引出一条支带通向红巨星（见图 131 所示）。我们沿着这条线继续移动，看到恒星的内部温度降低，这样比起主序恒星来，星体的原子被完全分裂的情况就少了。在最顶端的红巨星中，甚至连 M 环的电子也可能保留着。

罗素的假说

关于恒星的内部情况，人们提出了两种不同的解释。1925 年，罗素提出一种理论，其基础是主序恒星的中心温度几乎是一样的。让我们把情况简化一下。我们假设上面的说法是正确的——主序恒星的内部温度完全相同，比方说 3 200 万度。如果这是个确切的事实，那就自然而然地想像出恒星有某种起控制作用的物理机制，它能不断地把内部温度调整到 3 200 万度这个标准：如果什么时候中心温度低于这一正常温度，它的物理机制将发挥作用，使温度上升到 3 200 万度；同样，当中心温度高过正常温度时，这一物理机制也会起作用，使温度降到正常标准。这种控制机制在发动机操作中是很平常的现象。例如，在锅炉上总有安全阀，使锅炉压力保持正常；蒸汽机的调节器使蒸汽机总以同样的速度运转；恒温器使室内温度保持不变，等等。

已经知道有一种物理过程能提高恒星中心部位的温度。如果某颗恒星因为物质湮灭或其他原因使内部已经不再产生能量，恒星辐射时排放物质使恒星缩小，这种情况如我们在上一节所讲过的会使恒星的温度上升。通过某种调节，只要使恒星中心的温度低于 3 200 万度，从而使恒星不再产生能量，就能很容易地使恒星的温度保持在 3 200 万度。这就是罗素假说立论的基础。他假设温度低于 3 200 万度时，物质根本就不能产生能量，但是一旦达到这个温度，有足够的物质开始湮灭，使恒星能够进行辐射。这一理论有个问题，看来不可能从另一角度使温度保持正常。一颗恒星低于 3 200 万度时，一定是在不放热的情况下收缩，在恒星达到临界温度的瞬间，这种收缩不会骤然停止，其动量将使收缩继续下去，直至中心部位的温度大大超过 3 200 万度。但是，一旦中心部位的温度严重超过 3 200 万度时，该恒星有相当大一部分将达到 3 200 万度或更高些。这些物质如果全部湮灭，肯定要产生大量的热，这又会使恒星的温度进一步提高，结果导致越来越多的物质湮灭。最后，终于使这颗恒星在最后进行了一次辐射之后便在宇宙中销声灭迹了。

实际上罗素理论所假定的、处在高于 3 200 万度的物质，就像处在燃点的火药一样。数学分析也表明，中心温度处于 3 200 万度的恒星就像一个装满火药的钢筒一样，内部还有个火星——嘿，结果会怎么样，那简直无需描绘了。

爱丁顿提出使恒星保持稳定的设想，即：我们可以想像在物质获得湮灭所必须的临界温度的瞬间与发生湮灭的那一刹那之间有个时滞（瞬间的时间延迟）。迄今尚未证实这种假设是否有效。但是，即使它有效，其他

困难仍然存在。由于标准恒星处于主星序带，罗素假定这是标准物质的一种性能——达到 3 200 万度左右就能湮灭，并且这是所有主序恒星稳定的中心温度。这样一来就有必要提出特定假想来解释白矮星的光度和支线上红巨星的光度。这两类星体的中心温度与标准温度 3 200 万度相差甚远。因此他就假定这两类恒星可能含有其他类型的物质，它们分别可以在高于或低于 3 200 万度的温度下分解裂变，进行辐射。这样一来稳定性这个难题解决了。但是，后面这一系列假设在我看来似乎过于牵强附会，等于放弃了这个有趣的理论。对罗素理论难点的讨论，使我们用数学方法对恒星的稳定性问题进行了一次泛泛的探索研究，便简单地或多或少有些出乎意料地解释了图 131 赫—罗图中关于恒星分布的无法理解的现象。简言之，图中没有恒星的区域代表那些不稳定的恒星。我不知道有多少天文学家接受这一解释，但我认为肯定有人不同意。我林林总总写了这么多，我认为还不至于受到严肃的批评家们的责难。但是平心而论，我们只能说我们刚刚进入有争议的领域。

液态恒星假说

我们想像有大量的恒星是按不同方案、用不同物质构成的。数学计算表明，其中某些恒星不会持续发光。原因有两个或者两个中的任何一个：他们可能像一个加热了的装满火药的钢罐一样爆炸，或者因为固有的倾向而无限收缩或膨胀。恒星是否能消除隐患、避开第一种结局，主要取决于构成恒星物质的性质；避免第二种结局，主要取决于恒星构成的方式。这两种隐患并不是毫无联系的。当我们考虑质量巨大的气态星球的稳定性时，我们发现上面的两种危险似乎合而为一了。在这两类恒星中，只剩下一种较为安全的解决办法。但我们知道非常重的恒星是存在的，而且它们不能继续稳定地发光。那么如果这些恒星全是气态的，它们肯定在两种危险之间占据着安全有利的位置，这样我们就既了解了它们是如何构成的，也了解了构成它们的那些物质的性能。我们认为，只有当构成恒星的物质具有某些特殊的性能时，才能避免出现前文提到的那两种危险，而这种物质看起来又是非常不可能的，是我们在物理方面毫无所知的。总之，为了使这种恒星保持稳定，物质湮灭必须在由温度决定的一定速度下进行。这种物质的性能看来根本不符合我们在第二章讨论的物理学原则，其原子的活动情况也完全出乎我们的意料。物质湮灭是个非常非常激烈的变化，而且还有能量极高的量子参与。这比单纯的放射性衰变要剧烈得多，只要没达到第二章“辐射的动力作用”表中所显示的 22 000 亿度，放射性衰变过程就不受温度变化的影响（脚注：这就进一步提供了反对罗素假说的论据），而湮灭过程在这样的温度下进行简直是不可能的。

但是，我们已经发现的一些迹象表明，恒星并不纯粹是气态的，因为单纯的气态物质不可能组成像已经观察到的分光双星那样相距很近的双星系统。这种恒星只能由具有类似液体性能的物质而不是由气体组成的。这

种物质不一定全部都是液体，但是在中心部位的物质无论如何必须与气态物质有明显差异。此外还将有更多的事例可以证明这一点。

一旦我们承认恒星内部不一定完全是气态的，整个情况就要发生变化。哪怕是少量物质是非气态的，都会大大提高恒星的稳定性。如果一个质量巨大的恒星完全是由气体构成的，其稳定性就会减少到两种危险情况之间一个非常狭小的范围，也就是说，保持稳定的机会很少，而且只有沿着惟一的途径才能避免这分崩离析的结局。

但是，如果恒星中心部分是液体或者其中一部分是液体，其安全性就会大大提高，并能保持持续稳定；同时，恒星的物质将完全具有我们所假定的那种性能。具体地说，就像放射性衰变一样，不论温度有什么变化，物质的湮灭总以同样的速度进行。如果恒星物质具有这样的性能，恒星就没有爆炸的危险，因为铀和镭无论怎样都不会爆炸。此外数学分析表明，如果恒星的中心部位是由液态物质，或部分地由液态物质构成，恒星就没有分崩离析的危险。星体的液态核心提供了坚实的基础，排除了恒星爆炸破碎的可能性。

这种认识提出了两个相互补充的假说：

1.恒星物质的湮灭是自发进行的，不受恒星温度的影响。2.恒星中心部位不是完全由气体构成的，它们的原子、原子核和电子都被紧密地压缩在一起，虽不能像气态下那样自由飞舞，却可以像在液态下那样你挤我碰地涌动。

如果我们把观察到的地球大气层中穿透性很强的辐射说成是遥远的太空恒星的物质湮灭，而这种解释又是正确的，那么这第一种假设就得到证实。因为如果辐射已经穿透了非常厚的物质，它就不可能仍然保持所观察到的极强的穿透力。穿透某种物质后，各种辐射的波长就加长（而量子的能量在此过程中越来越弱），并最终失去穿透力。因此，无论辐射在何时产生，它都必然毫不费力地进入空旷的太空。同样，我们可以说这种辐射很可能是物质在较低的温度下产生的。这样一来，高穿透力辐射的存在证明物质可以在较低的温度下大量湮灭；而罗素所说的物质湮灭所需要的高温就不一定是必要的前提了。简单的计算表明，地球上的物质不可能进行真正意义的湮灭。在太阳上，差不多在每一分钟中每 10■个原子中就有 1 个原子在湮灭；而在地球上，即使有上述数字 1/10000 的物质的原子发生湮灭，地球表面的温度也会高得使人类无法生存。因此，如果我们只是说由于太阳的温度高，所以发生物质湮灭现象；而地球表面温度低，因此物质不可能发生湮灭——这是解释不通的。我们只能提出另外一种假设：太阳上物质的原子与地球上物质的原子不同，前者可以自发湮灭，而后者不能，或者说不能进行像样的湮灭。

恒星结构的稳定性

让我们暂时接受这种假设：恒星能量的产生，就像原子的放射性衰变

那样是自发进行的；使恒星发光发热的原子可以被看成是超级放射性原子，它们自行湮灭，将自身物质转换成辐射物。关于恒星能量产生的物理特性的观点使我们认识到，只有在中心部位不完全是气态的条件下恒星才能持续不断地发光。一个基本上是由高压气体组成的恒星就像建在沙漠上的房屋，最后要倒塌破碎。一个纯气态星球是个爆炸性的不稳定结构，而且肯定要继续收缩，直至其核心部分的原子被紧紧地压缩在一起不再呈气体状态。这时，也只有这时，这个星体才能成为一个稳定的结构持久地存在下去。因而任何恒星（例如太阳）的核心部位我们都可以直截了当地说是液体。

现在，让我们来想像太阳的直径扩大到当前直径的 10 倍，其密度就会缩小到当前密度的 1/1000。本来太阳的密度是水的密度的 1.4 倍。膨胀后的太阳的密度只相当于普通空气的密度，其原子、电子相互运动的范围扩大了 10 倍，彼此相距很远。所以新太阳完全可以看成是气态的。因此，新太阳将非常危险，很不稳定，而且不可能持久地保持其气态。

这个想像的膨胀了的太阳当然不再属于赫—罗图中的主序恒星。把太阳的大小扩大 10 倍，就把太阳排出了主序恒星的行列，使它进入那个完全空白的区域——处于红巨星与红矮星之间一片空白区域（图 131）。由此看来，即使我们人为地在这个空白区域放上个恒星，它也呆不住，它会立刻收缩，直到进入主星序行列。这是否可以看成是这个区域没有恒星存在原因呢？接下来我们再想像把太阳的直径缩小 10 倍，致使原子、电子的活动范围也缩小 10 倍,太阳的平均密度比水的密度从 1.4 倍提高到 1400 倍，太阳中心的密度从原来大约是水的密度的 140 倍提高到 14 万倍。你可能会阻止我，指出如果太阳中心已经处于液态，它就不可能再缩小到这种程度（通常不可能把液体的密度提高 1000 倍）。不过，我们已经注意到，恒星的直径缩小一半，其温度将提高一倍。同样道理，把恒星的直径缩小到原来的 1/10，其温度将从，比方说 5 000 万度，提高到 5 亿度。处在 5 亿度的高温下，原子很难继续正常存在——恒星物质几乎全部由自由电子和原子核组成。这些颗粒极其微小，把太阳的平均密度从原来是水的密度的 1.4 倍提高到 1400 倍不仅是可能的，而且还会使太阳物质完全成为气态的。于是，这个新太阳再一次处于极危险的不稳定状态。这样新太阳所处的位置很可能在主星序左侧的某个位置，即主星序与白矮星之间、靠近中间无恒星的区域里。我们再次看到，即使我们在这个空白区域人为地放上一颗恒星，它也不可能呆住。那么，这是否就是该区域没有恒星的原因呢？或者说这个区域恰好代表出现那些不稳定恒星的区域呢？你可能会再一次诘问我提出的恒星收缩则它的温度就提高的说法是否成立。我们想像，如果太阳膨胀，我们该不该认为它的温度要下降呢？答案当然是肯定的，但是这无关紧要。温度的降低将使 L 环上的电子（可能还有 M 环上的电子）重新组合，从而使新原子可能大一些，但它们不会失去充分活动的自由，以保

持太阳的稳定性。但是如果我们讨论的是一颗质量是太阳的 10 倍或 50 倍的恒星，情况就会不同；这样可以显示出 K 环和 L 环重新组合时所产生的一系列稳定组态。赫—罗图上的分支恰好为这样的星体提供了适当的位置。

这样复杂的问题用这种不连贯的讨论是不会得出令人满意的结果的。正常的讨论应当有数学分析。数学讨论表明赫—罗图可以被划分成若干区域，分别代表稳定的和不稳定的组态，就像图 133 所显示的那样。

■图 133 赫—罗图关于稳定组态与不稳定组态的示意图图中不稳定组态都明显地标出，其余部分是稳定组态。图中带点的部分表示已知绝对星等的 2 100 颗恒星。它们的绝对星等是在威尔逊山通过光谱学方法确定的视差获得的。观察材料并不是无懈可击的，因为许多不确定因素都属于 B 类恒星的光谱视差，而 A 类恒星却几乎未反映出来，因为它们的视差几乎不可能用光谱学方法获得。那理论曲线可能更不完善。但尽管如此，它们还是能卓有成效地显示有星区域和无星区域，与稳定组态的和不稳定组态的巧合了。在考虑到理论上的、观察得来数据的种种不完善之后，仍然显示出那么多共同之处，说明并非偶然。数学讨论似乎要得出这样的结论：罗素图中有星区域的恒星的中心部分都是液态的或者接近液态的。所有其余的恒星都是不稳定的，在罗素图的相应区域则一定是空白的。通俗地说，星空中恒星的中心部位都必须有液体物质或近似液体的物质。在这里我们有个迷惑不解的问题似乎跟我们在第四章遇到的难题一致：一个恒星如果中心部分是液态的，或是接近液态的，只有在裂变时才能破裂。有越来越多的证据表明恒星的中心部位是液态的，而不是气态的。

对上述假说——恒星中心液态说——的批评主要集中在这样的观点上：K 环原子的直径非常小，致使太阳中心部位 K 环电子不可能被挤压得足以使它们脱离气体状态。如果不知道 K 环上电子的直径，这个问题难以讨论，也很难使批评者满意。有了玻尔理论（见第二章“光子论”一节），我们当然知道 K 环上电子的直径。不会有什么人对于这种真实地描绘了原子的理论还会持有异议。它提供了一个很好的有限的工作模式，但是我们对于限制的界限却一无所知。惟一的实际经验是有关氦原子 K 环原子的情况。玻尔理论规定它们的直径为 0.54×10■厘米。但是固体氦和液体氦都提供了实例，表明氦原子可以被挤压得多么紧密，但它们的直径却仍有 4×10■厘米，也就是玻尔理论确定的大小的 400 倍。看起来我们对 K 环电子的大小似乎还是不甚了了。薛定谔的新波动力学对原子内部描绘了一幅与简单的玻尔理论完全不同的情景，并且很快取代了后者，甚至电子也与旧的玻尔理论描述的电子也不一样。按老的说法，电子与原子核之间相距无限大。当它逐渐向原子核靠拢时，它要发生变态，变成另一种样子。迄今还没有人能描绘得出来，也根本不可能描绘出当电子处在 K 环轨道时呈现什么样子。我们只了解 K 环轨道的能量。看来也无法预测这种轨道将占

据多少空间，除非我们对物质的特性了解得更多。

当然，我们不得不承认一些物理证据似乎表明K环电子的大小比液态恒星假说实际需要的电子要小。但是在我看来，天文证据似乎更有力、更可靠，它显示出了截然相反的情况。在此我们只好把这个难题放一放，看看会发现什么新难题。除非我们知道构成某一独特恒星的原子的类型，否则我们就无法计算恒星内部温度热到什么程度恒星才会分崩离析。不了解星体的原子序数，就无法绘制稳定组态与不稳定组态之间的理论曲线。

图133中的曲线是根据原子序数为95左右绘制出来的,这比铀原子的原子序数92略高一点。我们选择这个原子序数是因为它能使理论和观察最佳地协调起来，同时我们将看到其他观点也能证实这一选择。

恒星的结构

一颗恒星就像一座建筑物或一堆沙子一样，也是一种结构，如果其内部一层构造不向外面一层施加压力来抵消引力所造成的压力，它就会坍塌、破碎。这种压力不像普通的气压，不是全部由于分子碰撞的结果。这种压力部分来自一定数量的原子碰撞，这些原子中的电子全部或几乎全部被剥夺，只剩下原子核；更大部分的压力是由大量飞速运动的像冰雹一样的自由电子的碰撞造成的。对于巨大的恒星来说，它们的额外压力是由辐射造成的，因为辐射本身有质量，它向被辐射的物体施加了压力。由自由电子、原子（或者称为裸原子核）和辐射所产生的共同压力使恒星避免了因自身引力造成的解体。

这就得出了一幅合情合理的恒星结构的图画，也可以得到一幅表现其物理作用的图——把原子核想像成α射线粒子，把自由电子想像成β射线粒子，把辐射想像成γ射线粒子（当然，在大多数恒星中辐射的主要部分具有χ射线的波长）。这三种射线都贯穿整个恒星的辐射。在试验室研究中，人们发现β射线比α射线的穿透力强，而γ射线穿透力比前两种射线的穿透力都强。恒星内部的热传导

我们已经看到气体分子运动的能量全凭气体自身的热量。在研究气体热量时，人们通常把气体分子看成是热的载体。当一个分子与另一个分子相遇时，两个分子所携带的能量相互交换，于是热量从温度较高的分子传到温度较低的分子。每个分子都具有这种传导能力，而且这种能力与分子的运动能量、运动速度和连续传导的距离成正比。

在恒星内部有原子（或裸原子核）、自由电子和辐射三种主要的载体在起作用。我们可以通过增加三种形式的能量、速度和“自由路径”来比较三者传导热能的效力。为达到这样的目的，我们可以把辐射的自由路径看成是辐射能被吸收 37%之前所走过的距离，因为这可以将辐射传播能量的平均距离显示出来。计算后的能量表明，与辐射相比，原子核和电子的传热效力是微不足道的。原子核和自由电子可能有大量的能要传导，可是它们的穿透力较弱，它们传播的距离与辐射比起来差得太远，它们传导

的速度同样也很慢，因为辐射是以光速来传播能量的。由此看来，能量从恒星内部向表面的传播主要经过辐射这一观点是可以接受的。这个总原则是桑普森于 1894 年第一次明确提出的。他还指出，恒星内部任何一小部分的温度都是由下面的条件决定的：它接受到的辐射量必须等于它辐射出去的量。但是这一原理的具体应用却被他错误的辐射定律所否定。12 年之后，史瓦西独立提出这一思想，并用数学公式（辐射平衡公式）加以表述，并为这个问题的进一步讨论奠定了基础。

正是由于在从恒星内部向表面传导热量方面辐射远远胜过电子和原子的传导能力，因此星体的构成必然取决于星体中心物质的热的不传导性。不传导性改变了，传播能量的辐射也要改变，从而影响整个恒星的结构。

一颗恒星的内部如果全透明，就根本不可能保存热量，整个内部的温度将会很低，并且有极大的广延性（体积扩大）。相反，在一颗完全不透明的恒星内部，热量将在产生热的区域积蓄起来，于是恒星内部的温度将会很高，而恒星的半径将相应很短。当然这是个确实有趣的普通例子。但是，刚才提到的许多极端的例子表明恒星的构成取决于热量的不传导性。

遗憾的是，我们无法测定地球物质在恒星条件下的不传导性。因为恒星内部的温度非常高，在地球的任何实验室里都无法得到这样高的温度。但是我们知道恒星物质的不传导性是由构成该星体的物质的原子、原子核和自由电子决定的；这些颗粒阻止向外的辐射。尽管我们得不到恒星物质的样品，但是我们相当肯定地知道需要多少原子、原子核和电子才能合成这样的物质。因此，这就成了一个如何在理论上计算这种物质的热的不传导性问题。1923 年哥本哈根的克莱默兹教授作了这种计算，计算结果被普遍接受。实验室检测的情况跟观察到的情况非常相似。尽管实验室条件与恒星上的条件有很大差别，但是还很难说克莱默兹公式在恒星上就不适用。

根据这个公式我们完全可以确定恒星的结构，或者假定已经知道恒星的构成。克莱默兹公式告诉我们能量从内部传到表面的速度（这完全取决于星体物质的热的不传导性），进而又告诉我们星体内部必须以最快的速度制造能量，以保持讨论中的组态的辐射平衡。正如预料的那样，不同直径的组态要求以不同的速度制造能量。实际上，星体必须不断调整其直径，以便适应能量产生的速度，这样恒星不仅有了合适的直径，而且还调整了表面温度、颜色和恒星的形状。

如果恒星突然改变制造能量的速度，恒星就必须立即膨胀或收缩，直至出现适度的直径和温度，以适应新的产生能量的速度。详细的计算表明，整个都是气态的恒星，直径巨大，相应的情况是产生的能量也较小。反之亦然。因此，如果整个恒星是气态的，与同等质量的主序恒星相比，红巨星就不会太亮。西尔斯图表（图 132）表明：从反面来说也是这样，一个红色巨无霸的辐射能比同等质量的主序恒星高 10～20 倍。这就提供了不利

于恒星气态说的证据。而且还有比这更有力的证据呢。对于全部是气态的恒星来说，西尔斯图表中的粗斜线是直向左上方偏的斜线。在这条斜线体系与图 132 所显示的曲线之间有个宽宽的偏带，它提供了某种迹象，表示星体物质偏离纯气态的程度。根据克莱默兹理论，物质能量的不传导性是由组成这种物质的原子的序数和质量决定的。由大量原子核构成的一大块物质在吸收辐射方面，比同样质量的大量小块物质要强得多。地球上的日常生活经验证明了这一点。正是因为这一点，物理学家和外科医生选用铅作为阻隔χ射线的器材。他们发现一吨铅要比一吨木材或一吨铁能更有效地阻拦不需要的χ射线。如果我们知道一个χ射线仪的强度，知道其周围屏蔽物的总质量，我们就完全可以通过测定从屏蔽物逃逸出的辐射量来测算出屏蔽物的原子量。我们可以用非常类似的方法测出构成恒星原子的原子量。一颗恒星实际上就是一台巨大的χ射线仪。我们知道许多恒星的质量，并知道它们放射χ射线的速度就是向宇宙中发射能量的速度。如果我们能把恒星中的每一个原子核都分割为二，我们也就把恒星的不传导性分割为二了；这样，星体内的辐射在被吸收前速度将加倍。如果恒星全部是气态的，它就要膨胀，直径将是原直径的 4 倍，而表面温度将降低一半。于是，我们可以根据恒星的质量、光度和表面温度计算出构成该恒星物质的原子量。假定恒星完全是气态的，计算出很多恒星的原子序数，结果都比铀的原子序数高，而铀的原子序数是地球上已知原子序数最高的（编者注：此指作者著作时的情况）。计算的结果不是一般地高，而是高得出格，简直是不可能的。这样也就反证了恒星不可能全部是气态的。

一旦假定星体内部部分是液体，计算出的原子序数就大为降低，原子序数就不能准确地确定，大约 95。我们得出这个数字，是因为考虑到罗素图表似乎与现在已知的各种事实完全一致。实际上其他的观点似乎表明星体原子的原子序数应该比 92 高些。假定星体的辐射出自我们在地球上根本不了解的某种物质，或者是我们不了解的别种类型的物质。一旦人们同意这种观点：普通物质的辐射不受温度和密度的影响，那么，显然星体辐射就不可能出自我们在地球上所熟知的任何类型的物质。恒星上肯定存在别种类型的物质，那些元素的原子序数都必须高于铀原子序数（有两个例外），因为原子序数自 1 到 92（铀）的元素都属于地球上的元素。

那种超重型原子绝不会在恒星光谱中见到，否则我们就会了解恒星大气的构成。而当较轻的原子向表面流动时，正是这些原子，或者说主要是这些原子出现在恒星光谱仪上。当行星诞生时，如果太阳大气中也含有相当数量的这类超重型原子，其中有一些原子地球上也应当有。这种重型原子的数量也不会多，否则它们产生的大量能量早就把它们暴露出来了。最明了的观点看来应当是这样的：较重的原子沉入恒星的中心，而地球主要是由流动到太阳表面的较轻的原子构成的。

恒星的演化

我们已经假定恒星最初是由外层空间的旋涡星云收缩生成的。从它们形成的状态看，收缩后的星体应当有各种大小，而限制却只有一个——不能低于某个质量极限。因此，我们不能指望恒星无论是在诞生之时还是在尔后的发育阶段会是同样大小、同样质量或具有相同的物理条件。从赫—罗图看，恒星应当在各个不同的位置出现，不过我们可以想像它们最初的位置应当限制在图中有星球区域——要么像“恒星液体说”所显示的那样，是因为这些区域是惟一稳定的组态；要么是因为迄今尚不知晓的其他原因。恒星日复一日、年复一年都要丧失一些质量，因此它产生能量的速度和光度都要相应降低，结果使恒星移到图表中的新位置。我们再回到显示恒星质量的西尔斯图（图 132）。我们可以把质量相同的曲线看成是一段楼梯的梯级，非常不平稳的梯级——每一级代表的质量都比上一级低。不论恒星如何演变，最根本的是它总比梯级低，高是不可能的。

在赫—罗图中，我们可以勾画出恒星演变的两条可能的路径（不包含进入无星区）。这两条路线是大批恒星把自身物质转化成辐射能的过程中可能通过的路径。第一条路径当然是主星序区。很多人都认为这是大批恒星通过的主要路径。在赫—罗图中，从红巨星开始的支线可能代表恒星通过的第二条路径。有一定数量的恒星沿着这条路径进入主星序，成为蓝星或白星，然后继续向下运动经过主星序区的下半部分，在结束时成为暗红星直至最后消失。

在这两条路径上的运动，都伴随着恒星自身持续萎缩、直径不断变小，这倒不是说恒星的密度也在持续不断地增加，因为恒星的质量不断减少，即使其密度不变，其直径也要变短。但是，对西尔斯图所显示的中等密度恒星的研究表明，恒星的密度确实在不断提高，虽然在接近主星序中部区域时密度提高的幅度不明显。实际上，现在已经提出的关于恒星演变的每一种理论都想像大批恒星变化的类型与上面描述过的总的类型相同，虽然现代学者的观点倾向于认为主星序地带是恒星通过的主要路线，而早年的观点则假定最年轻的恒星主要通过从红巨星开始的支线，只是到中年时才汇入主星序。

在形形色色的理论中，洛基尔理论（第一个严肃论理）说，上升的温度和下降的温度的两条分支共同组成赫—罗图中最后提到的运动路径。罗素于 1913 年提出的理论再次确定前面刚刚描述过的恒星的演变路线，也试图用物理方法解释为什么恒星沿着这几条特殊的路径运行，而不是其他的路径。在 1925 年，他又提出新理论。与旧理论的不同之处仅仅在于提出为什么恒星沿着这几条特殊路径运行的新解释。关于这一点我们在本章“罗素的假说”一节已经讨论过了。

现在可以说差不多所有的或者很多天文学家一致认为，恒星演变的路径就像我们前面叙述过的那样：有的从红巨星开始，有的从蓝星开始，有的可从中等条件开始。随着它们年龄的增加，在赫—罗图中，它们向下移

动，它们经过不同路径，包括在倒置的γ那个分岔开始（图 131 所示），经过这一点之后，它们就沿着主星序区域向下移动。可是在另一方面，天文学家在解释演变路径上的观点却分歧很大。大多数人不急于作出判断而持观望态度，他们要等待确凿的证据来裁定这些相互矛盾的理论的是非。当恒星最初作为被旋涡星云甩出来的片片火雾而诞生时，它们是由各种原子组成的混合物。有的可能因为将自身立即转化为辐射而很快消失，成为宇宙间的匆匆过客；有的却非常长寿，被称之为恒星。除了少数放射性原子，地球肯定也会含有恒星上的全部新型原子。计算表明，地球物质的原子肯定比恒星的平均原子更长寿。否则它们的自我湮灭将全使地球温度过高而不适于居住。恒星上的持久性原子对恒星产生能量的能力几乎不起多大作用，而仅仅增加恒星的质量。寿命最短的原子使恒星具有极高的产生能量的能力，而对恒星的质量却影响甚小。总之，任何类型的原子的寿命越短，每年湮灭总量中的份额就越大，因此每吨物质所产生的能量就越多。

恒星从诞生之日起就有很大一部分寿命短的原子首先猛烈地产生能量。随着年龄的增长，寿命短的原子最先消失。这样一来，每吨恒星物质所产生的能量就降低了，结果这颗恒星的质量就减少，每吨物质产生能量的速度也放慢。最后全部制造能量的原子消耗殆尽，恒星便只剩下一块萎缩了的物质，只有很小的辐射能力。

换句话说，恒星上每吨物质产生能量的速度与其原子总数中的死亡率成正比。我们说天狼星每吨物质所产生的能量是太阳的 16 倍，就是说天狼星上的平均原子寿命是太阳上原子寿命的 1/16，而它们的死亡率则是太阳原子的死亡率的 16 倍。在任何恒星中，随着死亡率最高的那部分原子的消失，原子的平均死亡率就会下降。换句话说，随着恒星年龄的增长，每吨物质产生能量的能力就降低。

这与实测天文学的发现是一致的。最庞大的恒星不但比较小的恒星产生较多的能量，而且每吨物质所产生的能量也高得多。下面的表格显示主序恒星产生的能量。

恒星/质量（以太阳的质量为单位）/产生的能量（尔格/克）皮耶塞斯星α/36.30/15000.00

ν船尾星（座）α/19.20/1000.00

天狼星（座）α/2.45/29.00

太阳/1.00/1.90

波江星（座）/0.45/0.26

克留格尔 60B/0.20/0.021

有关恒星质量的西尔斯图（图 132）表明，这是恒星财产的一览表。不妨重复一遍前面的比喻：恒星在青年时代对能量大肆挥霍，尽管剩下的还相当多，但是到了老年却小气吝啬，放射的能量越来越少。理论上的认识可以解释这种现象。这同一个图表显示，两个质量相同的恒星通常并不

具有相同的光度。总之，在通向红巨星的分支上的巨星的光度比同等质量的主序恒星要强得多。我们已经注意到红巨星的辐射量可能是同样大小的主序恒星的辐射量的 10 倍或 20 倍。我们从主序恒星移动到白矮星会看到同样的情况：主序恒星的辐射量比同等质量的白矮星的辐射量要强得多，有 500 倍以上。下面表格中的三颗白矮星的辐射量可以跟前文表格中的后三颗主序恒星的辐射量相比较。

恒星/质量（以太阳质量为单位）/产生的能量（尔格/克）天狼星（座）β/0.85/0.0027

0■波江星（座）β/0.44/0.0020

冯·马南星/0.20/0.00055

到目前为止，我们假设产生能量是自发的，不受物理条件变化的影响。但是，刚才提到的事实似乎表明这还很难说是问题的全部真相。举一个实实在在的例子作为不同意见：天狼星α及其伴星天狼星β很可能同时出自同一个星云，但是前者每吨物质排放的能量是后者的 4 000 倍。二者之间有天壤之别，很难说是由不同类型的原子造成的。双星同源这一事实几乎可以排除这种说法。

我们知道在这两颗恒星中原子的物理状态不同：在天狼星α上，原子完好无损地保留在 K 环电子，而在天狼星β上，原子分裂成裸核和自由电子。如果这一对天狼星的基本原子是同样类型的（双星同源很容易使我们想到这一点），那么它们产生能量的巨大差异看来取决于它们的原子处于不同的物理条件。在第三章里我们假定恒星的能量是通过电子与质子合并产生的。质子只存在于原子核中，因此，纯物理观点使我们想像，能够跟特定的质子结合的电子只有那些始终围绕原子核转的电子，而质子就呆在原子核里。对恒星结构的研究证实这一假说。如果自由电子进入原子核就能产生能量，这就表明整个星体将不稳定，而且在辐射时一下子就会爆炸。根据这一假说，在一个恒星里只有少数原子尚有电子在轨道上旋转，当然只能产生少量能量。这立即就能解释为什么白矮星产生能量的能力很弱；同样也可以解释为什么红巨星（它们的原子的 L 环和 M 环上仍有电子运行）比同等重量的主序恒星产生更多的能量。

随着恒星年龄的增长，它的质量却减轻，它得不断改变其组态，以便与排放能量的速度协调起来。同一颗恒星在不同的时期，可能依次是红巨星→主序恒星→白矮星。通俗地说就是：一颗恒星得不断改变其直径以适应产生能量的速度。在上面刚提到的假说中，恒星既要改变排放能量的速度，又要改变产生能量的速度。它要时刻改变直径，从而使能量的制造和排放取得平衡。一个恒星排放能量的速度差异如此之大，是因为有时有很多电子在轨道上运行，有时几乎没有多少电子在轨道上运行。不管怎么说，星空中的所有恒星似乎都能做到这一点。但是长周期变星除外。这种星不断地膨胀、收缩，似乎找不到一个合适的直径使自身能量的制造与输出达

到平衡。同一假说立刻就能说明银河系里所有巨大变星的星龄几乎相同，而且还诞生于同一个星云。银河系里所有最明亮的恒星，几乎不可能以目前产生能量的速度已经活动达 1000 亿年以上。如果星龄再长些，当初诞生质量如此之大的星体是根本不可能的。但是恒星的运动表明，即使是这些最明亮的恒星在星空中一定生存了至少 50 倍于上面提到的那个星龄——1000 亿年。但是，如果我们承认下列情况，这些矛盾之处就迎刃而解了：最明亮的恒星的极端光度仅仅是近来的进展，在这种恒星一生中的 98%的时间里，失去的能量很少，因为它的原子中的大部分电子都被剥夺，剩下的几乎全是裸核子，因而已经不能湮灭了。有人会怀疑 98%这个必须的比例似乎太高了。但是我们已经提出一个极端例子，我们只在一个非常罕见类型的恒星中提出这么高的比例。这种类型的恒星很可能不会超过千万分之一。

这种恒星现在非常明亮。可是在它们的早期，当它们处于睡眠状态时，它们可能是非常非常重的白矮星。从事观察的天文学家并未提出证据证明它们的存在，可是也没有确凿的证据证明它们不存在。我们都知道非常庞大的恒星是非常罕见的天体，因此，很可能我们得远离太阳才能找到一颗。也可能因为它实在太遥远了，我们在地球上看不见它。不管怎么说，一个光度很弱的遥远的恒星完全可能不被人类发现。但是，迄今未被发现的恒星不一定就根本没有。

而且尚不能肯定这种恒星还没有被发现。非常大的白矮星的表面温度应该比庞大的主序恒星的表面温度，或已知的白矮星的表面温度都高得多，后二者的质量都比较轻。已经知道有一整个星群——O 型恒星的光谱表明，它们的表面温度确实很高。这些恒星通常被看成是极为遥远、光度极高的星群。但是，它们当中至少有一些是光度较弱、距离中等的恒星，特别是行星星云中的那些中心恒星是属于 O 型和 B 型的。据观察，其光度却比太阳的光度弱，尽管正常的这类主序恒星的光谱型通常比太阳的光谱型要亮 1000 倍。因此这种行星星云可能就是我们需要找的那种类型。不过有两种认真的反对意见我们不可置之不理。其一，如果我们以通常的方式来认识它们的光谱，它们运动的速度之快对于它们庞大的体积来说是不可理解的；其二，它们的光谱没有显示向红色一端的位移；而根据相对论，这么重的、直径这么小的恒星应该反映出这种移位才对。尽管有这样的疑问，这种恒星的存在看来仍然是可能的，要么就是 O 型或 B 型光度微弱。但是非常庞大的恒星处于睡眠状态，这正是我们讨论中的假说所预料的情况。总而言之，我们可以假定一颗庞大的恒星以行星星云的形式或者以 O 型恒星的形式在星空生存了数亿年，而自身的质量不变，突然爆出一颗光度极高的极为年轻的恒星。但是迄今还没有通过观察得到的足够证据证明或推翻这一假说。有些疑团消失了，而我们只好等待出现新难题。

关于白矮星。除了那些庞大的假定的白矮星之外，天文学家们通常认

为普通的白矮星是恒星演变的最后阶段。天文学家们一致认为它们的中心温度极高，它们的原子中的电子几乎全被驱散，只剩下孤零零的原子核。但是恒星为什么会处于这种状态，天文学家们没有取得共识。

就恒星液体说而言，赫—罗图中无星区域代表不稳定组态。质量的些微丧失，恒星通常都要移到图表中一个新位置，并与旧位置毗邻。但是有时这种微小的移动可能使恒星进入图表中的不稳定区域，这时它会匆匆穿过这个区域，最后进入一个完全不同的稳定的组态。

恒星液体说解释白矮星所处的状态是很简单的。这一假说认为这种白矮星是恒星演变的最后阶段，是灾难性的收缩。这时它所产生的能量已经不足以保持它主序恒星的地位了。在这一状态中，恒星辐射出非常少的能量，湮灭和衰变几乎全部停止。我们很清楚，如果太阳仍像现在这样发光、辐射，1．5 万亿年之后，太阳自身将全部辐射完。与此相反，冯·马南星很可能继续按现在的速度辐射，到 1.5 万亿年后其损失不会超过现在质量的 1/1000。我们可以认为白矮星是恒星演变的最后阶段。从这时开始，变化、衰变几乎全部停止。收缩到这一状态的恒星，其生命进入一个新阶段，翻开新一页——但还要经历数千亿年。

能量只能从高效能向低效能

转化，宇宙的终结是“热死亡”。

而地球在 1 万亿年后温度将降低

30℃，其间可能有别的灾难。所

幸我们处于地球史上的辉煌时

期。

第六章宇宙始末

我们已经看到物质世界中的固态物质是如何不断地转化为无形的辐射的。昨天的太阳要比今天重 3 600 亿吨。这是由于太阳 24 小时不停地辐射造成的。辐射出去的物质现在正在太空中运动。就目前观察的结果来看，它们的运动注定要进行下去，直到时间的终结。所有恒星上都在进行着物质转变为辐射的过程。地球上也在进行着，只是程度弱一些。在地球上，复杂的原子如铀正在不断地转变为简单的原子如铅和氦，并在转变过程中不断放出辐射。但与太阳每天失重 3 600 亿吨相比，地球因辐射每天损失的重量仅为 90 磅。

人们很自然地要问：如将宇宙作为一个整体来研究的话，是否这个过程仅为闭路循环过程中的一部分，因此太阳、恒星和地球在这个过程中的损失可以从其他方面得到补偿？我们站在河岸上看着河水不断流向大海时，我们知道水必定会变为云和雨再重新回到河中。物质世界与这个循环系统一样吗？或者将物质世界比作一条无源之水，当自身的水流尽之后它会断流吗？热力学

广泛应用的科学原理“热力学第二定律”对这个问题给了我们一个非

常简单的回答。如果我们问“使我们周围充满各种各样生机活力的根本原因是什么”，答案就是“能量”——驱动轮船、火车、汽车的燃料中的化学能，或是使身体保持活力、使肌肉运动的食物中的化学能，使地球运动产生昼夜、冬夏、潮起潮落的机械能，使植物生长、造成风雨的太阳能。

热力学第一定律（其中包括“能量守恒定律”）认为能量不灭。能量可以由一种形式转变为另一种形式，但在转变之中，能量的总量不变。因此宇宙中的总能量始终保持不变。由于使宇宙充满生机的能量不灭，所以我们可以认为生命将永存。热力学第二定律否定了生命永存的可能性。能量的总量不会消失，但它的形式在不断地变化。总的来说有向上和向下的变化。我们知道向下运动容易，向上运动难，或者根本不可能做到。因此大部分能量向一个方向转变。例如，光和热是不同形式的能量。100 万尔格的光能很容易就转变为 100 万尔格的热能。让光投射到任何冷的、黑色物体上就可以做到这一点。但向相反方向的转变却不可能做到：100 万尔格的热能决不能转变为 100 万尔格的光能。这是基本原理的一个例子。它说明辐射能总是转变为波长更长的能量形式，决不会变为波长更短的能量形式。当用蓝光照射荧光物质时，它发出绿色、黄色或红色的光。但反向转变却做不到。荧光物质总是增加光的波长（斯托克原理）。将荧光物质放在光谱的紫外线区域内，它可以发出可见光，但没有任何物质放在红外线区域内能发出可见光。

有人可能会用我们每天点火这一事例来否定这个原理：太阳的能量不是储存在我们所烧的煤中吗？我们不是能从燃烧的煤中得到光吗？答案是太阳辐射是光和热的混合体，并且所有波长的辐射都是光和热的混合体。储藏在煤里的主要是太阳的光和其他一些波长更短的辐射。当我们烧煤时，我们得到一些光，但这并不是太阳储存到煤中的全部的光。我们也得到一些热，但这热量要比以前储存进去的热量多。根据守恒理论，整个转换的最终结果是一部分光转变成为一部分热。

这说明当我们考虑能量时，我们不仅应从量上来考虑，还要从质上来考虑。能量的总值始终不变，这是热力学的第一定律。但能量的质会有所变化，并且它有总朝一个方向变化的趋势。在不同质的能量间有单向“转门”存在。能量向一个方向变化很容易，但不可能逆向变化。生活中我们不必一定走单向转门，可以找出另一条路绕过它。但对能量而言，没有可绕的路。这是热力学的第二定律。能量就如同向下流的水一样，总是向一个方向转变。正如我们所看到的那样，短波辐射转变为较长波长形式的辐射是能量向下转变的一条道路。从量子力学角度讲，就是少数的高能量子转变为大量低能量子。当然能量总值没有改变。因此能量向下转变就是将它的量子分解为更小的单位。一旦向下的变化开始，量子分解，就如同打碎的鸡蛋不能复原一样，能量就不能恢复到原来高能量子状态。

尽管这是能量向下转变的主要道路，但并不是全部的道路。热力学表

明不同形式的能量有不同的“效能”。在向下转变的道路上，能量总是由高效能向低效能转化。

现在我们可以回到本章开始时的问题上：“是什么使宇宙间充满生机活力？”我们原来的答案是“能量”。这看来是不完整的。能量无疑是关键的东西，但真正完整的答案应是“由高效能能量向低效能能量的转化，是向下运动的能量”。如果认为宇宙的总能量不会减少，就认定宇宙将会永存，就如同说钟摆的重量不会减少、钟的指针就会永远走下去一样。

宇宙的终结

能量不能永远向下运行，就像钟摆一样，它最终会走到尽头的。因此宇宙不能永远继续下去，迟早有一天它能量的最后一尔格会从效能之梯降到最底层。这时宇宙的活力一定会消失。能量还会存在，但它已失去一切变化的能力。到那时能量就如同一池死水不能推动水车一样，它也不能使宇宙运动。这时留给我们的是一个死亡的但可能是温暖的宇宙。这就是“热死亡”。这是现代热力学的教义，对此我们没有怀疑的理由。的确，我们在地球上所得到经验都充分证实了这一点，它无懈可击。这个学说否定了宇宙循环的可能性。在循环的自然界中，我们可以见到河水流入大海，但我们见不到水是如何回到河中的。河水可以循环往复，但它并不代表整个宇宙。是某种外在东西使河水不断循环，那就是太阳的能量。但宇宙作为一个整体不可能像河水一样循环。由于缺乏来自宇宙之外的必要动力，无论这动力指的是什么，宇宙的能量会不断失效。而一个能量无法再失效的宇宙必定是一个死亡的宇宙。能量变化只能朝一个方向发展，这将导致热死亡。宇宙和普通人一样，最终的命运是走向坟墓。如果把一切相关的因素都考虑进去，我们看一看河水流入海洋这一典型的循环运动的例子：当大大小小的瀑布汇合起来流向大海时，滚滚向下的河水产生了热量，这些热量最终以辐射形式扩散到太空之中。但使河水不断流动的能量来自于太阳的光照。如果太阳不产生辐射，河水将很快停止流动。维持河水的流动只能靠光能不断地转换成热能。一但冷却的太阳不再提供高效能的能量，水流必定停止。

同样的原理也可以用于宇宙天体。毫无疑问，这里的能量也是在向下运动。在炽热的恒星内部首先释放出的是超短波、超高能量子。当这种辐射能向恒星表面运动时，它通过不断地吸收和再放射来调整自身，使它的温度与它穿过恒星时所处位置的温度相一致。因为较长的波对应的温度较低，所以辐射波长在不断地加大。少量的高能量子不断地转变为大量的低能量子。一旦这些量子飞离恒星进入太空，在没有碰上宇宙尘埃、零星原子、自由电子或其他形式的太空物质前，它们将不断向前运动。只有在极特殊的情况下，这些物质的温度才会高于恒星表面的温度。绝大多数情况下，碰撞将会进一步增加辐射波长。最终，无数次碰撞的结果是它们变成以更长的波辐射。量子数目大量增加，而增加的代价是单个量子能量的减

少。很可能原始高能量子的能量存在于质子和电子的湮灭之中。因此宇宙演变的主要进程就是储存在质子和电子中的超高效能量不断转为低效热能的过程。许多想入非非的人以为这种低效能热能在某种过程中会重新形成质子和电子。由于现存宇宙正在分解为辐射，他们的这种想法使人们看到了从旧尘埃中生出的新天地。但科学无法支持这种假设。宇宙的发展可能也不会支持这种假设。我们很难看出同一种形式的循环有什么意义。即使循环变化的形式无穷无尽又有什么意义？

当所有能湮灭的原子都湮灭后，当原子能量转变为热能永远散布在太空中时，当一切形式可以转变辐射的势能都已转变成辐射时，宇宙就进入了它的最终状态。

我们曾提到哈勃的估计：物质以平均每立方厘米 1．5 ×10■克的密度分布于宇宙之中。 1 克物质湮灭后释放出 9×10■尔格能量，所以 1．5×10■克物质释放出 1.35×10■尔格能量。宇宙中所有物质湮灭后只能使每立方厘米得到 1．35 ×10■尔格能量。这点能量只能使太空的温度从绝对零度升到远低于液态空气的温度。它只能使地球表面的温度升高 1 摄氏度的六千分之一。整个宇宙湮灭后的效率这么低的原因当然是因为宇宙间的物质非常少。将宇宙间的所有物质湮灭来加热宇宙，就如同在屋中这儿烧一粒灰尘、那儿烧一粒灰尘，以此来加热屋子一样。与所有扩散到宇宙中的辐射能相比，太空吸收辐射能的能力就像一个无底洞。根据目前科学所能观察到的情况来看，很可能宇宙扩散的成千上万已死亡的物质正在太空中漫游，而没有引起我们的注意。这就是当今科学能预见的遥远的未来物质世界的最终结局，除非这期间宇宙进程发生了变化。现在让我们回头看看物质的起源。

宇宙的起源

当我们顺着时间前进时，物质在不断地转变为辐射能。反之，当顺着时间倒退时，宇宙间物质的总质量必然在不断地增加。我们看到恒星目前的质量与它们已经存在了 10 万亿到 5 万亿年这一事实多么不相符合。这些恒星目前的组成与运动表明它们的确是需要大约这么漫长的时间才能发展为现阶段的样子。我们看到超巨型星云的分解必然导致恒星的产生。关于银河系恒星起源的一贯解释就是对10万亿至5万亿年前一个巨大星云分解而产生了银河系这一假设。

现在我们来将这一假设与另一假设作一个比较。另一个假设受到一些天文学家的支持。他们认为恒星是随时随地在产生着。根据他们的假设，恒星好像是在无穷无尽平稳流动的河中由产生到消亡，正如人类从摇篮到坟墓，生生不息。新的一代总是不断产生并填补老一代的空缺。根据这个观点，普拉斯凯特星——其重量约为太阳的 100 倍——一定是刚刚诞生的恒星，而库尔格 60——其质量比太阳小得多——一定非常非常老了，它可能比普拉斯凯特星老 100 万亿年。

根据目前观测到的结果，我们对这两种相反的假设还不能断定谁是谁非，但对恒星会不断产生、不断消亡这一观点持怀疑态度。在稳定发展的人群中、特定情况下的人口数量与通过这一特定情况时所用的时间成正比。例如，人类长童牙和成牙的时间比约为 1：4。如果对人口牙齿的检查表明长成牙的人为长童牙的人的 4 倍，那么我们现在面对的可能就是稳定发展的人群；反之，如果长成牙的人是长童牙的人的 100 倍，那么我们所面对的将不是稳定发展的人群。如果其他证据表明人口的寿命大约是一样长的，我们就认定这不是一个稳定发展的人群，那 1%比例的童齿是由于发育受到抑制而造成的。

我们判定恒星的岁数不是根据牙齿，而是根据它们的质量和光度。而恒星的光度与稳定发展的恒星系不相符。统计显示，中年期恒星远远多于幼年期和老年期的恒星。这一结果否定了新的恒星在持续不断出现这一观点。有明显的证据表明在我们的太阳诞生的同时产生了许多恒星。这自然又令我们想起了前一个观点：银河系产生于一个螺旋星云。这个星云产生恒星活动的时间是在 10 万亿至 5 万亿年前。

形成恒星以前的状态

总的看来，我们似乎应当认定银河系的大多数或是全部恒星的岁数为 5 万亿年到 10 万亿年。目前我们用各种方法也只能探测到那时的银河系。现在构成太阳和恒星的原子无疑与它们当时构成星云时的状态不一样。我们只能知道原子在那种状态下持续了多长时间。螺旋星云中心的温度可能极高。原子中的电子都被剥夺走了，这样就使原子不湮灭。事实上我们可以说星云在气体状态下时像一个巨大的“白矮星”。这符合星云自重大、产生的能量少、发光弱这一事实。

我们可以比较精确地测出两个超级河外星云的质量。巨大的仙女座星云 M31 有 35 亿颗太阳那么重，它的光度等于 6.6 亿颗太阳。 N.G.C.4594 星云有 20 亿颗太阳那么重，光度等于 2.6 亿颗太阳。通过简单的计算得知仙女座星云的寿命为 80 万亿年，而 N. G. C. 4594 星云的寿命为 115 亿年。通过这两个例子，我们可以猜测在原子开始湮灭以前，它们所在这些星云的寿命约为 100 万亿年。我们不能说这个计算令人十分满意或十分精确，但目前它提供了物质在星云状态下的一个大概的寿命。我们说恒星在现状态下已有 5 万亿到 10 万亿年，而它们的原子在星云状态下存在的时间至少要比这长得多。

然而除了具体的数字以外，显然我们不能无限制地逆着时间向后倒退。逆着时间每倒退一步，宇宙的总质量就会增加一些。正如说到某个恒星一样，我们不可能倒退到它的物质总质量为无限大时。根据我们以前所提到的那些考虑，我们完全可以确定一条界线。现在宇宙中所有物质湮灭后将会使地球表面温度升高 1/ 6 000 度。湮灭的物质如果是现在的 100 万倍的话，温度将会达到 160 度。我们不能认为太空中会有如此多的辐射

能。地球的温度取决于它接收太阳辐射能量的总量。地球向外辐射的能量相等于它接收的能量，以此来调整自身的温度。考虑到地球自身的电波活动，它向外的辐射量会有所调整，但这对我们不会产生影响。能对我们产生影响并能够破坏整个能量平衡的是那些上百万个已死亡星系发出的辐射。如果这些辐射能不停地射向地球，在这种情况下，当地球能够使它接收的辐射和发出的辐射达到平衡以前，地球表面的温度会升高到使水沸腾的温度。总之，上百万个死亡星系的辐射会使海洋的水、河流的水、人类身上的水都沸腾。物质的产生

所有这一切使我们清楚地看到宇宙中现存的物质不会永远存在下去。我们的确可以给出物质寿命的上限，比如说大约为 200 万亿年。不论我们将物质寿命的上限定在哪里，下一步我们必然要考虑的就是那个在并非无限遥远的过去产生了物质的事件（或是一系列事件，或是一个持续的过程）。

如果我们想对物质的产生有一个自然主义的解释，我们可以假设波长低于 1.3×10■厘米的辐射能不断地进入空旷的太空，这种能量的“ 湮灭 ”高于目前宇宙中已知的任何能量。当这种能耗完后将会产生与我们银河系类似的星云，从第二章“ 高穿透力辐射 ”一节的表中可以看出上述波长的辐射可以凝聚为电子和质子，并最终形成原子。如果我们想有一幅物质产生的具体画面，我们可以想像上帝的手指在搅动以太。

我们可以将空间、时间和物质当作一个整体、一个不可分的单一系统来考虑，以此避免产生上述那种不成熟的设想。这样一来，如果讲到物质产生以前只存在时间和空间就没有意义了。这种观点不但与古代形而上学的理论相符合，也与现代的相对论相符合。宇宙现在变成了一幅具体的图画。它的长和宽就是一定大小的空间和一定长短的时间。质子和电子是颜色、条纹，它们使画面显现于时空背景之上。当我们逆着时间尽量走向过去，我们不但找到了图画起笔的地方，同时也到达了画面的边缘。图画起笔的地方就是画家站在画布外面的位置。根据这个观点，从时间和空间上讨论宇宙的起源就如同试图走到画面边缘来找画家、看他画画一样。用这种观点来讨论物质的起源是毫无意义的，因为它将我们引向某些哲学体系，而这些哲学体系把宇宙看成是造物主头脑中想出来的东西。

这两种观点目前都还无法反驳。而普通人的观点也同样无法反驳。他们认为人类是无法探知宇宙所有的秘密的，探索物质起源也应到此为止。从纯哲学观点的角度来看，这最后一种观点可能最有道理。自从物理学（主要是在波因凯尔的领导下）停止试图解释各种现象而仅满足于用尽可能简单的方法来描述这些现象以来，已经过去了整整 25 年。举个最简单的例子：维多利亚时期的科学家认为应将光“ 解释 ”为物理以太中的波动，他们总想用果冻和陀螺仪来制造以太。现代科学家由于思路正确，已经放弃了那种企图。如果他们能找出一个数学公式，用它来预测在特定条件下光

的运动，他们就感到很满足了。这个公式是否与物理解释相符，或这种解释是否与能想到的最终事实相符，这并不十分重要。评价现代科学的公式主要是根据它们能否简单、准确、完整地描述自然界中的现象。例如，以太已不为科学界所接受，这并不是因为所有的科学家都认定这种物质不存在，而是因为他们发现不借助以太也能完美地解释所有自然现象。以太只能是一种拖累，所以他们弃之不用。如果在未来他们发现他们需要以太时，他们会重新引入以太概念。

这样做并不意味着对科学标准或理想的降低，它仅意味着一种为越来越多的人所接受的想法，那就是当前科学还远不能揭开宇宙最终的真实面貌。人类的大脑可能永远做不到这一点，可能从一开始就只有画家才能理解他画的画的全部意义，而画布上的几个色块的意义谁也不能理解。由于这类原因，就如第二章所讨论的那样，当我们探索原子的最终结构时，我们不得不借用明喻、暗喻。我们甚至用不着为显而易见的矛盾之处过分担心。更高一级的最终事实毫无疑问定会解决所有矛盾，尽管现在我们还不知道我们能否理解更高一级的事实。目前，一个矛盾和一个无法解释的事实一样使我们着急。但仅此而已，在科学的发展中，它可能会消失，也可能不会消失。

如果这样的思路（这是从事这方面工作的人常有的思路）能用来探索宇宙最微观的方面，那么把宇宙作为一个整体来研究，这样的思路一定更为适合。我们所见到的现象隐藏于时空框架之中，它们是以我们所不能理解的密码形式出现的，其最后的含义要等到我们找到解开时空密码的方法时才能清楚。对于物质最微观结构的信息，无论我们最终的解码能力如何，这些信息自然对我们了解宇宙的整体结构，特别是了解宇宙的始末将有所帮助。信息本身常常可以帮助我们发现密码，信息是通过这些密码传递给我们的。现在我们所讨论的问题是：密码是什么时候、由什么人、为什么目的而编制的。密码信息是不会对此作出解释的。天文学家对这个问题的研究应到此为止。总的来讲天文学上的信息显然引起哲学、宗教和人性各方面的关注，但解开这些信息不属于天文学家的事。负责观测的天文学家观测记录下星星点点的信息。负责理论的天文学家把它们翻译过来，根据他们能否将观测到的结果翻译成可读懂的句子来判定他们工作的好坏，但理解和解释他们写的这些句子的最终含义则是其他人的事。生命与宇宙

放弃将宇宙作为一个整体来研究的努力后，让我们看看生命与我们所知的宇宙的关系。以前人们以为空中的每点星光都代表着可能存在生命的地方。这观点与现代天文学相矛盾。恒星本身的表面温度高达 1650℃到 30 000℃，甚至更高。当然其内部温度要远高于此。宇宙中绝大部分的物质的温度高达 100 万度，所以分子被分解为原子，原子（至少是部分原子）被分解为原子的组成部分。生命的最基本概念在于时间的延续。当原子的成分每秒钟变换数百万次时，在没有任何一对原子能够结合到一起的情况

下，生命是不会存在的。生命的概念也在于空间上的移动。由于这两点，就将生命限定在一个很小的物理条件范围内。只有在这个范围内，液态物质才能存在。我们对宇宙的探索告诉我们，与整个宇宙相比，这个范围是相当小的。我们知道天体中除了像我们这样绕着太阳运动的行星外，没有其他类型的天体适合生命存在。目前行星的数量非常少。行星是两颗恒星相互靠近的结果，而太空中恒星是如此地分散，一颗恒星向另一颗恒星运动的情况极少见。然而精确的数学分析显示，只有当两颗恒星相会，并且它们之间的距离是它们直径的 3 倍时行星才会产生。我们知道恒星在太空中散布的密度，因此我们可以比较准确地计算出两颗恒星有多少机会能运行到这样近的距离。计算显示，即使恒星能够存在数万亿年，它成为一颗有行星的恒星的机会也只有十万分之一。即便如此，也只有当行星既不太热也不太冷的情况下生命才会出现。例如在太阳系中，水星或海王星上不会有生命存在。在水星上液体都沸腾了，而海王星上液体都冻得很硬。这种行星上不适宜生命存在，因为它们离太阳不是太远就是太近。我们可以想像由于其他行星上的物质本身产生很大的能量而使它们不适于生命的存在。构成地球的不活泼原子看来是原子一系列变化的最终产物，是宇宙最终烧尽以后所产生的灰烬。我们看到这些质量最轻的原子很可能浮到恒星的表面。但这并不是说所有的行星是由这种不活泼的原子构成的、都将冷却下去直至产生生命。我们的地球是这么发展的，但我们不知道有多少行星或行星系由于没有出现地球这样的发展过程而不适于生命的存在。所有这一切表明在宇宙中只有极小的一个角落才能适合生命存在。原始物质不断地变成辐射，经过上万亿年时间，产生了极少量的不活泼灰烬，生命只能在这上面存在。然后由于某个几乎难以置信的偶然事件，这种灰烬（而不是其他物质）从恒星上被剥离出来，凝结为一颗行星。即使这样，这些灰烬的残余物既不能太热，也不能太冷，否则生命无法出现。

最后，当所有条件都满足了以后会不会出现生命呢？我们必须抛弃那个曾为人们广泛接受的观点：生命无论以何种方式在宇宙中产生后，它将迅速由一颗行星传播到另一颗行星、由一个行星系传播到另一个行星系，直到整个宇宙充满生命。太空目前看来太冷了，行星系间的距离太遥远了。地球上的生命很可能只产生于地球本身。我们想弄清楚的是：生命是由一个更偶然的意外事件或一系列事件的巧合造成的还是由于当物理条件合适时无生命物质必然会产生的呢？我们向生物学家寻求问题的答案，但目前他们还不能回答这个问题。

天文学家如果在火星或其他行星上找到生命存在的证据，他们就能部分地回答这个问题，因为到那时我们至少知道生命在宇宙的历史上不止出现过一次。但目前还没有找到令人信服的证据。当用高倍望远镜观看并拍照时，火星上所谓的运河消失了。火星上与地球上一样有季节变化。一些现象随着季节的变化而变化。许多天文学家把这归结于植物的生长，尽管

这些现象仅类似于雨水落在沙漠上。火星上没有生命的确切证据，当然也是没有高级生命的证据。可能在宇宙中任何地方（除地球）不会有生命存在。

氧气很容易与其他物质产生化合，而地球大气中的氧含量这么高，真令人有些吃惊。我们知道植物在不停地向大气中放出氧气。人们常常认为地球大气中的氧主要或全部来自于植物。如果是这样的话，其他行星的大气中没有氧气将表明那里没有与我们地球上类似的植物。

火星大气中当然含有氧气，但含量很少。亚当斯和圣·约翰估计每立方英里火星大气的氧含量不足地球的 15%。另一方面，金星大气中完全没有氧气，或者其含量是微不足道的。圣·约翰估计金星上即使有氧气，其表面大气中的氧含量也不足地球的 0.1%。这一证据的价值在于它表明金星——这颗太阳系中除了地球和火星以外唯一可能有生命存在的星球——表面上没有植物，没有可供高级生命呼吸的氧气。

我们只了解地球上生命存在的形式，除此以外我们还不知道任何形式的生命。生命顶多存在于宇宙中的一个极小部分。太空中上万亿颗的恒星不适于生命存在，以前不适于，永远也不会适于生命的存在。太空中为数不多的行星系中，许多行星根本没有生命存在。在一些行星系中即使有生命存在，也仅限于其中的几颗行星。布鲁诺为坚信有多个世界而献身。从那以来，过去的 3 个世纪令人难以置信地改变了我们对宇宙的看法，但并没有使我们更好地了解生命与宇宙的关系。我们还只能猜测生命的意义。生命是多姿多彩的。与之相比，生命的意义却很难找到。是否天地万物都将汇聚到全剧的高潮中去，而为这个高潮的到来，物质在没有生命的恒星和星云中转变了上万亿年，白白将大量的辐射能射入空旷的太空，而这一切仅是为这个高潮作的奢侈的准备？或者说生命是否仅是自然进程中的一个偶然的、微不足道的副产品，而自然进程中还有其他一些更惊人的结局？或者出于更谨慎的考虑，我们是否应该把生命看成是自然界中的某种疾病，而当物质在后期失去高温和高频辐射时才会受到它的影响，当物质处于初期高温、高频辐射的状态下，它能在刹那间将生命摧毁？或者干脆不用遮遮掩掩，我们是否能大胆地假设，生命就是惟一的事实，是它而不是其他的东西创造了恒星和星云那巨大的物质及难以置信的天文时代的广阔前景？

天文学家不需要对这些猜测作出选择。当天文学家把天文信息告诉我们以后，他们就完成了任务。对天文学家来讲，将这些信息所引起的问题系统地提出来，这已经超出了他们的职责。地球与未来

让我们离开这些抽象的思维领域回到地球上来。我们脚下是坚实的土地，头上是灿烂的阳光，然而我们并不知道为什么会有生命出现，它是怎样出现的。我们自身就是生命的一部分，我们自然要问它未来的前景将会怎样。

左右整个形势的关键是我们需要太阳的光和热，而这些东西不会一成不变。从目前我们所了解的情况来看，从地球形成以来，太阳几乎没有发生变化。地球 20 亿年的寿命仅是太阳寿命的极小一部分，所以我们可以认定太阳在地球毁灭以前会依然如故。鉴于目前的天文因素，这一事实说明生命今后在地球上存在的时间要远远长于地球现有寿命。

产生生命的地球已由一团炽热的气体逐渐冷却下来。现在它的冷却过程已接近尾声。除了接收来自太阳的热以外，它自身几乎已经没有热量了。地球辐射入太空的热量与它接收的热量基本持平，因此如果外界条件不变的话，它将永远保持现有温度。而任何外界的改变都会引起地球的变化。

外界的变化可能会是多种多样的。太阳质量的减少使地球每 100 年远离太阳约 1 码（编者注：1 码等于 0．9144 米）。因此在 1 万亿年以后地球离开光与生命之源的距离要比现在增加 10%。即使到那时太阳发出的光和热不变，地球接收到的辐射也会减少 20%。这就是说地球的温度比现在要低 15℃左右。另外，1 万亿年以后太阳发出的光和热是不会和现在一样的。辐射使它的质量减少 6%左右。根据其他恒星来计算，质量减少这么多，会使太阳辐射能量的能力降低约 20%。这会使地球的温度降低 15℃。因此 1 万亿年后这些不可避免的事件会使地球的温度降低约 30℃。想要预测温度降低这么多对地球生命特别是对人类的影响如何是一种轻率的行为。如果给予充分的时间，生命适应环境的能力是极大的。即使温度比现在低 30℃，1 万亿年后地球上可能还会有生命存在。尽管如此，我还是对自己没有生活在那遥远的将来而欣慰。山脉和海洋，这些给我们生活带来极大乐趣的东西，只能作为从遥远过去流传下来的名词而存在。1 万亿年的岁月将使山脉变为平地，海洋河流都将冻成坚冰。我们可以预见那时人类的知识要远胜于现在，但他们再也不能体会到开拓新知识领域的前辈所感受到的喜悦心情。疾病，甚至死亡都将被征服，生活毫无疑问会比现在更安全，安排得更好。他们难以相信前人曾有过生命危险，前人曾穿越未知的土地，攀登没有人曾经登上的高峰，以与野兽搏斗为乐；甚至为此付出生命。那时的生活比现在更循规蹈距、平淡无奇。当人类知道在不远的将来将会面临毁灭，他们的一切希望、努力和取得的成果最终要毁灭时，生命将变得更加没有意义。

虽然说用不着为假设的 1 万亿年以后的生活太在意，但我们可以认定大约在这一时期以后，太阳质量不可避免的损失会导致地球上生命的消亡。金星的平均温度约比地球高 60℃，目前还太热，不适宜生命的存在，但是 1 万亿年后，金星的温度将降低 40℃。大约在一二万亿年后金星的温度将与地球现在的温度相似。我们不知道到那时金星上是否有生命出现，对此作猜测毫无意义。但这至少是个机会，地球消亡后，金星可以替代成为新家。可能到一定时候，水星会替代金星，但目前水星上还没有大气层，在这种情况下很难想像它可以成为现在地球上生物的家园。到目前为止，

我们仅仅考虑到了事物发展的一般进程。各种各样的意外事件都可使地球上的人类远没有延续到 1 万亿年时就灭亡了。举几个可能出现的天文现象：太阳会与另一颗恒星相撞；任何一颗小行星都可能与其他的行星相撞，碰撞的结果是它会极大地偏离轨道而撞上地球；太空中的任何一颗恒星都有可能进入太阳系，它会导致所有的行星偏离轨道，因而使地球变得不适合生命存在。很难估计类似事件发生的几率是多少，但所有这一切总的看来都不大可能发生。我们先不考虑这些。但有一个危险是不能轻易排除的。首先让我们用科技术语来把它描述一下。首先太阳是一颗主序星，更重要的一点是它已非常接近赫—罗图（图 131）中主序列的左边缘。在赫—罗图上，左边缘以外的地方恒星无法存在。这个区域内恒星无法存在的原因是它所代表的恒星构型是不稳定的。恒星会迅速通过这一区域直至进入另一个稳定的构型区域，并在一个可以永久停留的区域内直至死亡。恒星下一个稳定的构型是白矮星。恒星总的退化方向是由主序星向白矮星过渡，因为这类恒星的体积比主序星小。白矮星以前一定是主序星。主序星越过了表的左边缘稳定构型区，通过不稳定构型区，再在白矮星构型区内重新获得稳定。太阳实际面临的危险在于它已经非常接近主序带的左边缘。根据赖德曼的测定，与太阳光谱类型（G0）相同的恒星，其主序带稳定构型的范围约为 4．88 绝对星等到 3．54 绝对星等之间。这可能是目前所获得的最可靠的测定数据。4．88 就是危险的左边缘。目前太阳的绝对星等为 4．85。这就是说，如果太阳的星等再减弱 0． 03 的话，也就是说它的光度再减少 3%的话，它就到了主序的边缘，并会迅速收缩而进入白矮星状态。一旦发生这种情况，它的光和热就会减少而使地球上的生命无法存在。我们已知的类似的白矮星是天狼星的伴星，它发出的光和热只有太阳的 1/400。上述的话如果用非科技术语来讲，那就是太阳已经处于或接近于一种不稳定状态。在这种不稳定状态下恒星将会收缩，收缩后恒星的辐射量仅相当于目前太阳辐射量的很小一部分。太阳收缩到这种状态后海洋将会结冰，大气变为液态，地球上的生命看来是无法存活了。巨大的太空博物馆中一定有许多这样收缩了的太阳，在它们周围也会有许多类似地球的行星在围绕着它们旋转。我们很难猜出在这些行星上是否还有遗留的、被冻僵的生命。而这些生命以前就像我们地球上现存的生命一样活跃。这种描述可以说为我们展示了地球那令人吃惊的前景，但我们有许多理由来勇敢地面对它。首先，在 1500 亿年内太阳的发光度很难减少 3%。这事实本身就不坏，而当想到包括太阳在内的恒星的进化几乎是沿着主序边缘平行发展时，我们的前景就变得更有希望了。太阳并没有走向深渊，它只是沿着边缘前进。我们不知道它是否能接近边缘并最终落入深渊，但无论如何在今后的 1 万亿年内它不会到达边缘。

最后一点，太阳与主序边缘的距离不能用上述计算中所用的精确数字来估计。0．03 这个数字表示的是两个比它大得多的数字之间的差异。尽

管这两个数字可以比较精确地计算出来,但其精确度不足以让我们用 0.03 这个准确的数字来表示它们之间的微小差异。我们最多能说太阳已相当接近危险的边缘，但是能够察觉出它向这个边缘移动则需数万亿年的时间。总之，一方面我们应当承认这一事实会发生；另一方面，根据目前掌握的天文学知识，根据人类未来在地球上的生活，我们认为这一事件发生还需 1 万亿年的时间。

这个数值约为目前地球寿命的 500 倍,是人类在地球上生存时间的 300 多万倍。让我们用一个简单的例子来说明这些倍数之间的关系。拿一张邮票，把它粘到一个便士上，爬上克娄巴特拉方尖碑，将这个便士平放在方尖碑顶上，邮票朝上。这整个高度代表自从地球诞生以来所经过的时间，邮票和便士的厚度加起来代表人类在地球上已生存的时间，邮票的厚度代表人类文明的时间，便士的厚度代表人类处于不文明的时间。现在在第一张邮票上再粘上一张来代表未来 5 000 年的文明，这样不断地将邮票粘上去，直到整个高度有勃朗峰那么高。即使这么高一摞邮票，根据天文学的观测，也不能准确地代表展现在文明人类前面的未来。或者换一种说法，如果第一张邮票代表人类已取得的成就，那么如果人类取得的成就能与他在地球上生活时间成正比的话，比勃朗峰还高的这一摞邮票就代表人类未来将要取得的成就。从空间来看，天文信息至多让人觉得宏伟、广漠的太空有一种阴郁和压迫的感觉。从时间来看，它给我们带来无穷无尽的可能与希望。作为宇宙的居民，所幸我们并没有生活在宇宙形成的初期。因为在我们人类出现以前，整个宇宙很可能处于辐射状态。但作为地球上的居民，我们却生活在地球历史的最初期。我们诞生于最辉煌的黎明时刻，难以想像的漫长一天展现在我们面前，我们有无数的机会来取得各种各样的成就。亿万年后，当我们的后代站在时间的那一头回首时，他们将把我们目前这个时代看成是世界历史朦胧的早晨。今天我们这个时代的人在他们眼里将是些模糊不清的英雄形象；我们在无知、恐怖、迷信的密林中开拓道路、寻找真理、掌握驾御自然的能力，以便使世界适合人类居住。我们现在被清晨的浓雾所包围，根本不能想像这个世界在白天阳光普照时呈现在我们后辈人眼前的会是什么样的景象。但在现有光线下，我们看到了天文学收到的主要信息为我们指出了种族的希望和个人的责任——这是每个人都应负起的责任，因为我们现在正在为难以想见的更遥远的未来制订蓝图、打下基础。译后记

《浩瀚的宇宙》（The Universe Around Us）和《穿越时空》（Through Space＆ Time）是由英国著名的天文学家、天文科普作家詹姆士·金斯所作，分别于 1930 年、1934 年由剑桥大学出版社首次出版。两书在西方一版再版，对普及天文知识曾发挥过重大作用。尽管出版至今已有半个多世纪，但书中闪耀着的科学探索精神却一直激励着一代又一代的科学爱好者。60 多年来，特别是在卫星上天、大量宇宙探测器对太空深入探测的今

天，人类对宇宙的知识与金斯时代简直不可同日而语。因此书中的很多假设有的已被证实，有的已被推翻。另外，书中很多过时的计量单位或用语我们都按原书原貌译出，只有个别地方加注以帮助读者理解。由于时间仓促，加上译者的知识不足，错误与不当之处在所难免，欢迎批评指教。

译者

剑桥，科学精神的家园

——序《剑桥文丛》

萧乾

40 年代，除去短期去度假，我同剑桥先后有过两段因缘。1939 至 1940 年，我是作为伦敦大学东方学院的讲师被疏散到剑桥去的，身份也可以说是个“难民”。那一年，我只是剑大英文系的旁听生，因为战乱的机缘，我得以寄身在这一所牛顿曾执教 30 年、有着深厚的科学传统和学术氛围的大学。

剑桥有个好传统，有如民国初年的北大，对来旁听的学生总是敞开大门，对那时由伦敦疏散来的兄弟大学成员更是竭诚欢迎。

1942 年夏天，我辞去了东方学院的教职，成为剑大英文系的研究生，住进了这所 15 世纪兴建的皇家学院。书房门楣上，已事先漆上了我的名字。书房里，家具一应俱全，宽敞舒适；壁炉两边是书架，沿着三面墙是可以坐上十来位客人的沙发和软椅。最使人兴奋的是，窗户外面隔着草坪，正与英国古建筑中赫赫有名的皇家学院教堂遥遥相对。整整两年，我都望着大草坪上被晨曦拖长了的教堂身影，黄昏时分聆听在大风琴伴奏下唱诗班那清脆嘹亮的歌声。

1944 年，我怀着依依不舍的心情向剑桥、向皇家学院告别。当时，我已动手写论文了，还差一年就可考取学位。然而，盟军已在诺曼底登陆，新闻记者的本能驱使我舍弃剑桥那恬静幽雅的书院生活，奔赴现实的前哨。于是，我就脱掉僧侣式的黑袍，走进了报社林立的伦敦舰队街，从一个埋首书斋的读书人，成为戎装上阵的战地记者。剑桥有一种魅力，使曾经在那里生活过的人们一有机会就想回去看看它。我认识一个学习古希腊罗马文学的青年，开战后应征入伍，不久就成为熟练的轰炸机驾驶员。他一直保留着在剑桥的住房。每周两度去执行任务，不值勤的日子，就仍回到剑桥来。他屡次对我说，去轰炸德国鲁尔的工业设施，他不心疼。他最怕的是被派去轰炸意大利。他说，两次欧战都是欧洲人的自杀。他含着一腔热泪对我说：人类的希望在东方，但愿你们将来搞机械化的时候，千万别把固有的文明都丢掉。可惜下一次执行任务后他再也没回来。

剑桥叫我难忘，主要在于她对真理、对科学精神，对天文、生物、物理、原子的那种刻苦追求精神。卡文迪许试验室的灯光时常通宵达旦地亮着，剑桥天文台的望远镜和医学研究所的显微镜，经常勾起我对未知世界的神秘联想。

一次，在哲学家罗素的小型茶会上，我遇到一位怪人——正在十分认真地研究鬼学的心理系教授。席间他大谈人鬼之间传递信息的可能性。当时我纳闷他怎么没被大学评议会除名，也没遭到同僚们的孤立、歧视或鄙夷。后来另一位剑桥朋友听我提起此事，说他本人并不信鬼，偌大个剑桥，除了此公，谁也不信鬼。也不是没人背后非议他，然而让这位鬼学家安然无恙地存在着，既无伤大雅，又足以保持住剑桥在学术方面自由探讨的空气。大家都想在真理方面有所突破，而不是墨守成规。牛顿的万有引力定律和达尔文的进化论就正是在这种气氛中探索出来的。

剑桥不仅为世界培养了许多一流的经营管理人才和杰出的科学家。这套《剑桥文丛》的作者大多都是本世纪世界级的科学家，大多曾在剑桥任教，是英国皇家学会的会员。像《穿越时空》的作者詹姆斯·金斯，最早提出物质不断创生理论，在天文理论方面也有不少创新，但闻名于世的还是由于他的天文科普著作。《残缺的记忆》的作者奥托·弗里希，他参与了现代物理学的一些重大事件，参加了研制第一个原子弹的工作，“感情原子核的裂变”这个词还是他发明的。他以这本精彩而幽默的个性回忆录，为本世纪许多最重大科学发现背后的人物和事件增加了迷人的色彩。《预测未来》的作者斯蒂芬·霍金 1974 年当选为皇家学会最年轻的会员，1979 年，任剑大卢卡斯讲座教授，这是牛顿曾经担任的职位。他有关大爆炸、黑洞的发现有助于把相对论和量子力学联系起来。他写的《时间简史》畅销全世界。

这种由世界级科学大家亲自撰写的科普读物，是目前国内科普读物中最缺乏的。本套作品我看不仅适合青少年，同时也适合成人阅读。出版者的直接意图并不在教给人们多少知识，而在于培养一种科学思考生命、思考世界的方法和科学精神。对那些勤于思考的人来说，思考本身即是科学的荣耀。物质和头脑两方面的完善，对一个现代化人更为重要，那更有助于他清楚地了解和思考自身在空间中的存在。

编后记

英国著名天文学家、科普作家詹姆士·金斯所著《浩瀚的宇宙》和《穿越时空》分别于 1930 年、1934 年出版。由于两书主题同一，今天我们将其合成一本中文译本出版，以“穿越时空”为本书的书名。虽然《穿越时空》后出，但写得通俗一些、普及性强一些，而《浩瀚的宇宙》写得专门化一些、深奥一些，因此在编排上将《穿越时空》放在前面。这也有利于读者循序渐进地学习。正如《浩瀚的宇宙》序言中所说，“科学的进步就是靠提供一系列近似真理的真理，每个都比前一个更精确，但永无止境”。两书出版至今的 60 多年间天文科学有了巨大的发展，获得了更多、更精确的“近似真理”，这样我们回头看时，就知道哪些假说已被推翻、哪些假说已被证实，同时也就知道哪些研究方法、研究手段是可行的。作者在写作这两本书之前，天文学已取得许多里程碑式的成就。他不仅总结了天文

科学认识史，而且展示了当时的最新成果，即当时的最精确的“近似真理”，我们从书中仍能获得广泛的知识，仍能从前人研究问题的方法上获得许多有益的启示，并仍能为前人的科学探索精神所激励。天文科学的丰碑是要以其他科学的发展作基础的，我们从中可以知道天文科学如何借鉴了数学、物理、化学、地质、生物等科学的成就。因此，对某些学科有兴趣的读者在本书中也可以找到拓展知识、增强兴趣的新天地。天文科学本是很深奥的，要把它通俗地写出，非大手笔不能。詹姆士·金斯正是大手笔。他本人是天文学家，肯下大工夫为普通读者写科普（注意不是科幻）作品，这是了不起的事。他的作品在西方一版再版，赢得了许多读者，产生了广泛的社会效益。对青年朋友来说，这两本书今天仍然是指引他们的入门书。本书附有大量图片。它们是与文字密不可分的形象性内容。但译者们只能提供 60 多年前英文原版的复印件，这些复印件均称不上清晰，因此本书的编辑不得不将少量实在不可用的图片舍弃，因而又不得不将少量相关的文字删除或修改，但不伤宏旨。又由于复印机存在故障，致使其提供的复印件上出现白条纹。每页至少三条。请读者不要误以为那是宇宙中原有的光带。多数图片由编辑修理或裁切，并请排版单位作技术处理。原版书中以罗马数字标示图版的序号，又以阿拉伯数字标示图版中的各图及文中插图的序号。叙述时两套序号并用，而译稿中常常混淆。今编辑不分图的类型，从头至尾用阿拉伯数字依次重标。两本原著版心尺寸不一，但均大于我们这一本书的版心，而大多数图版又大于原版版心，因而这些图版用于我们这本书里时不得不加以裁切，或在制版时作缩小处理，以符合规矩。考虑到图、文相近的原则，个别图片未依原次序，而是提前安排了。

本书译者有的在图片下据原文注明拍摄者，有的未注拍摄者。今编者以译稿为据，不便代庖。