



青年自学丛书

# 天文知识

上海人民出版社



青年自学丛书

# 天文知识

南京大学天文系《天文知识》编写组

1976年9月

上海人民出版社

# 目 录

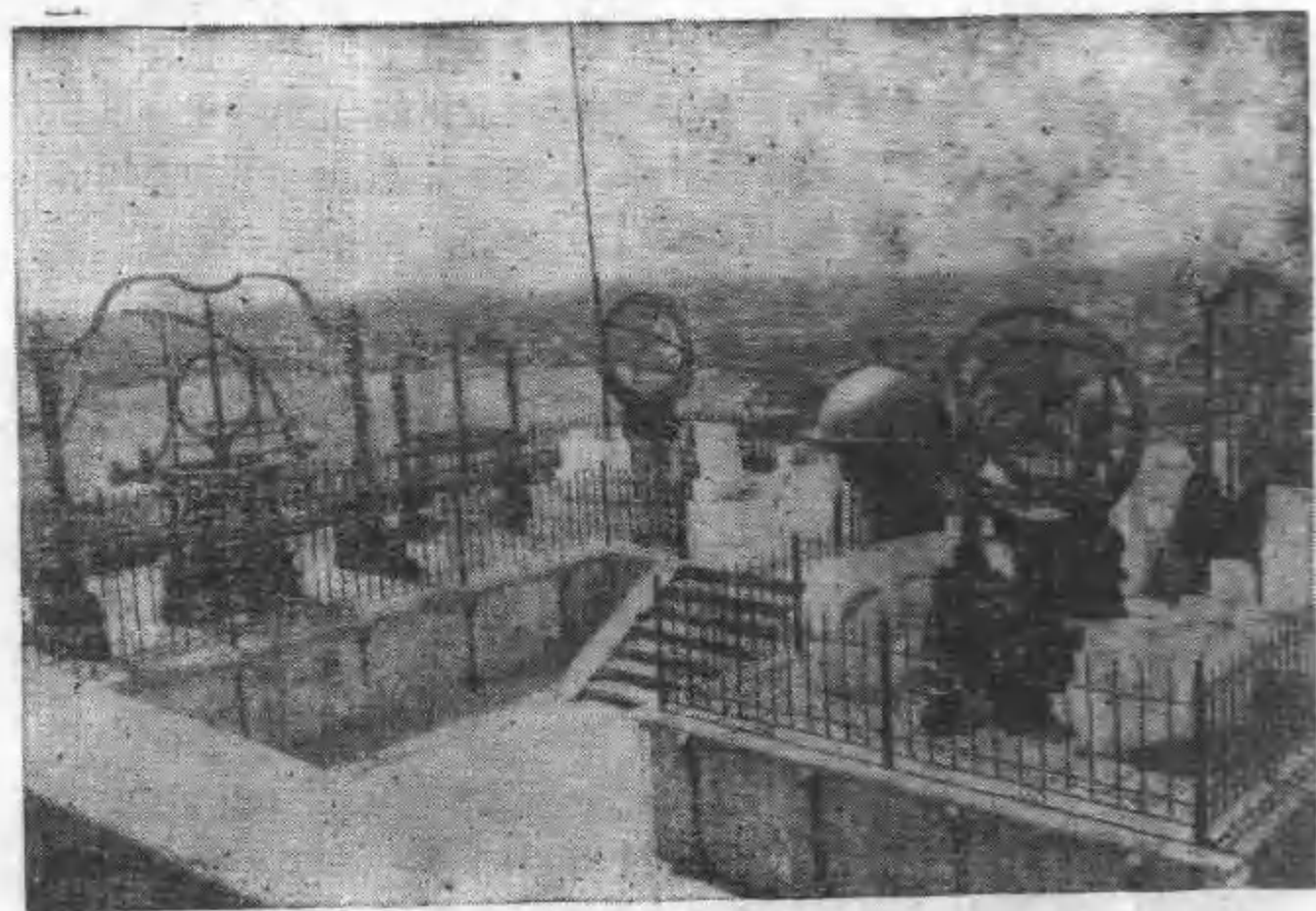
第一章 天文学与社会实践.....	1
一、人类对宇宙的认识归功于生产 .....	2
二、天文学卷入了阶级斗争的旋涡 .....	5
第二章 星空与望远镜.....	19
一、天上的街市 .....	20
二、今日“千里眼” .....	32
三、远方的使者 .....	43
第三章 地球.....	57
一、斗转星移 .....	59
二、围绕太阳万古奔波 .....	67
三、漫话岁时 .....	81
四、天上的时钟和罗盘 .....	98
第四章 月亮 .....	107
一、遥望天边月 .....	108
二、万籁静寂 不毛之地 .....	116
三、日食和月食 .....	124
四、涛之起也 随月盛衰 .....	132
五、人造小月亮 .....	136
第五章 太阳 .....	149
一、雄伟姿态 .....	150
二、日面景色 .....	154
三、光谱带来的消息 .....	161
四、能量源泉 .....	172
五、人和太阳 .....	176
第六章 太阳的家族 .....	183
一、在太阳的主宰下 .....	184

二、两大体系的斗争 .....	194
三、寻找第十个成员 .....	209
四、探索火星的生命 .....	211
五、自己发光的行星 .....	224
六、能够看到的虚空 .....	229
<b>第七章 恒星世界 .....</b>	<b>243</b>
一、打开星辰世界的大门 .....	244
二、揭示恒星身世的密码 .....	253
三、从天狼伴星谈起 .....	259
四、超新星爆发之后 .....	268
五、黑洞 .....	281
<b>第八章 银河系 .....</b>	<b>289</b>
一、银汉迢迢 .....	296
二、恒星集团 .....	293
三、在星际空间 .....	298
四、旋转的银河 .....	307
五、庞大的星城 .....	313
<b>第九章 宇宙岛 .....</b>	<b>321</b>
一、巡天遥看一千河 .....	322
二、银河系的近邻 .....	330
三、宇宙中的群岛 .....	335
四、活跃的星系核 .....	340
五、类星体之谜 .....	345
六、无限的宇宙 .....	349
<b>第十章 天体的起源与演化 .....</b>	<b>357</b>
一、康德星云说 .....	358
二、太阳系起源 .....	368
三、恒星的一生 .....	380
四、星系的来历 .....	396

附：星图



# 第一章 天文学与社会实践



## 一、人类对宇宙的认识归功于生产

鲁迅先生曾经说过这样一段话：“我想，人类是在未有文字之前，就有了创作的，可惜没有人记下，也没有法子记下。我们的祖先的原始人，原是连话也不会说的，为了共同劳作，必需发表意见，才渐渐的练出复杂的声音来，假如那时大家抬木头，都觉得喫力了，却想不到发表，其中有一个叫道‘杭育杭育’，那么，这就是创作；大家也要佩服，应用的，这就等于出版了；倘若用什么记号留存了下来，这就是文学；他当然就是作家，也是文学家，是‘杭育杭育派’”。鲁迅先生用极其浅近而又形象的例子说出了马克思主义的一个基本观点：人类的生产活动是最基本的实践活动，是决定其他一切活动的东西。天文学，即人类对宇宙认识的科学，也同样是适应人们生产斗争的需要而逐渐产生的。

恩格斯在《自然辩证法》一书中写道：“必须研究自然科学各个部门的顺序的发展。首先是天文学——游牧民族和农业民族为了定季节，就已经绝对需要它。”对原始的农牧民族来说，日出而作，日没而息，昼夜的交替成了天然的时间计量单位。放牧、耕种、收获，这些农牧业生产活动，因寒来暑往、四季循环而随着变化，这是另一个天然的时间计量单位——年。天上的一些星星，成为他们确定方向的标志。经过长时间的经验积累，人们看到在不同的农牧季节、不同的地方，出现不同的天象，就逐渐开始利用这些不同的天象来定季节、定方向、定位置。如埃及的农田，要靠尼罗河水的泛滥来灌溉，古时候的埃及人注意到每年当天上最亮的恒星——天狼星——和太阳

本章题头图：北京古观象台。

一起升起以后不久，尼罗河水就开始泛滥。正如马克思指出的，由于“计算出尼罗河水位变动的必要，产生出了埃及的天文学”。古希腊的航海者发现，每年在日影最短的一天（就是夏至）之后五十天，是航海最合适的时候。到了昴星团（俗称七姐妹）在早晨掉进海里以后，暴风季节就要开始，航海便很危险。古希腊的天文学就是这样发展起来的。在我国，很早知道，每年开始耕种时，“大火”（即心宿二）在傍晚出现于东方。远在三千年前，国家就设置了“火正”这样的职位，专门观测“大火”，来定季节时令。民间观象授时，“七月流火，农夫之辞也。三星在户，妇人之语也”。足见古时候是人人关心天象。其原因很简单，为了定季节时令，安排生产劳动、家庭副业，平民百姓都需要仰观天象，观测星宿的出没。为了更好地安排农业生产，需要定出节气，而定节气正是从太阳在天上的位置来定的。二千多年前，我们的祖先用一种叫作土圭的简单仪器来观测太阳。土圭是一根直立的杆子，太阳光照射杆子上，根据正午时候杆影的长短，可以算出太阳到赤道南北的距离。杆影最短，即太阳位置最高，走到最北，时谓夏至；杆影最长，即太阳位置最低，走到最南，时谓冬至。从杆影长短的变化周期，我国最早定出了一年有 365.25 天。春秋、秦汉时，又定出了春分、秋分及其他二十个节气。现在尚存的河南登封县告成镇的测景台，就是公元前十三世纪建立的观测日影的观象台。这也是世界上最早的，并且是唯一保存下来的最古老的天文台遗迹。

还可以举出更多的例子来说明这一个简单的事实：科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。譬如，象地球绕太阳运动的观念，早在古代就已经提出了，为什么那时候没有一个日心体系呢？我们知道，日心体系这个观点尽管正确地



反映了太阳和地球的总的联系，可是那时它们毕竟是一种自然哲学的直觉，作出这个结论的唯一的依据不过是太阳比地球大得多这样一个正确的推测。在当时的生产水平下，这种联系的各个细节无法得到证明，只能用理想的、幻想的联系来代替尚未知道的现实的联系，用臆想来补充缺少的事实，用纯粹的想象来填补现实的空白。因此，人类在社会早期的这种先进的思想，就不得不停留在“直觉”的阶段。由于这些缺陷，它在以后就必须屈服于另一种观点。这是不可能不这样的。只有在资本主义的手工工场出现，环球航海的成功，使欧洲的城市资产阶级成了反对封建宗教统治的革命因素之后，日心体系的建立才具备了社会的基础和科学的依据。

现代，人们经常夸说生产的发展归功于科学的一些事例，这是不错的。但是，如果我们因此而忘了，科学应归功于生产的事却要多得无限，那就从根本上错了。譬如，望远镜的出现，照相术和分光技术的应用，带来了天文学的一次巨大飞跃，使人类进入了一个更加广阔、更加深刻的领域——研究天体的物理特性、化学组成和内部结构；雷达技术的发展，射电望远镜性能的提高，以及利用火箭、人造卫星进行大气外观测的成功，又一次使天文学发生巨大的飞跃，发现了一些新的天体和天象，如类星体、脉冲星、3K微波辐射等等，从而把一系列更新的宇宙之谜提到了人们的面前，并又一次警告人们，不要陷入形而上学！宇宙中的物质具有无限多样的形态，无限发展的可能！这些新天体的发现无疑使这个哲学上的论断有了更丰富的自然科学实验的证据。而这些新工具、新技术的出现和采用，没有现代工业所提供的条件，是不可能的。

## 二、天文学卷入了阶级斗争的旋涡

科学，如同政治、法律、宗教、文学一样，它们是以经济发展为基础的，但并不是消极的、被动的东西。在马克思主义看来，科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量，而且它们愈是确切地反映社会物质生产发展的需要，它们的意义就愈大。

象哥白尼的日心体系的产生，既是由于陈腐不堪的地心体系已经无法适应环球航海的要求，更是因为以地心体系为精神支柱的宗教神权的残酷统治，阻碍了整个自然科学的发展，束缚了资产阶级的手脚。因此，当哥白尼把“宇宙的中心”从地球搬到太阳上时，整个社会都感到了它的震动。它的“震中”无疑就在那上帝庇荫下的教会僧侣们的宝座下！这个学说，改变了地球在宇宙中的特殊地位，上帝这个不可触犯的偶像，也跟着地球降为一个普通的行星而倒台了。在人类认识自然的历史上，这是一次重大的革命。它直接打击了封建教会统治的基础，支持了当时资产阶级反封建的革命运动，被宗教迷信窒息的自然科学获得了新生。从此以后，人类对自然的认识便开始从神学中解放出来，天文学摆脱了地心说的束缚，化学也开始怀疑炼金术士的预言了。在天文学的推动下，其他科学如力学、数学和光学蓬勃地发展起来，取得了较大的成就。

在本书的最后一章里，我们还可以从康德的星云假说的提出，看到一个先进的思想或理论，是如何作为一种历史的杠杆，推动社会前进的。在太阳系起源的“星云假说”中，康德用物质的吸引和排斥的相互作用来解释天体的发生和发展，强

调了天体的运动是事物内部物质运动的必然结果。它敲响了旧形而上学的丧钟，从而批判了自哥白尼以来逐渐形成的形而上学的宇宙不变论，在这个僵化的自然观上打开了第一个缺口，成为人类认识自然的历史上的又一次革命。康德所发动的自然观的革命，也是由他开始的资产阶级哲学革命的一个重要部分。并且，正象在十八世纪的法国一样，这场哲学革命也作了十九世纪德国的政治变革的前导。

在人类认识史上，自然观的两次重大革命，唯物论同唯心论、辩证法同形而上学的两次重大的斗争，都是从天文学开始的。这种情况不难从当时的社会的经济条件以及由这些条件决定的社会关系来说明，也不难从中看出每个社会所组成的各个阶级在上面打下的不同的印章。

科学既是一种革命的力量，它一旦触犯了反动阶级的利益也就会遭到强烈的反对，它也就必然是在斗争中产生，在斗争中发展的。斗争的表现形式，由于所处的环境和条件的不同，由于各种比较局部的和暂时的原因，可能发生变化。这就形成了两种宇宙观的斗争在各个不同时代，不同的地区，具有各自的特点。在社会大变动的时期，这种特点表现得尤其突出，更加鲜明。

中国历史上，一个阶级专政代替另一个阶级专政这种完整意义的社会变革，除了无产阶级领导的革命以外，实际上就只有封建制度代替奴隶制度那一次。历史上的法家，最初正是作为新兴地主阶级的思想政治代表，作为已经完全腐朽没落的奴隶主贵族的对立面登上历史舞台的。当时，正如韩非说的：“智法之士与当涂之人，不可两存之仇也。”新兴的地主阶级与奴隶主贵族这两个阶级的代表人物之间的斗争，是一场势不两立的生死搏斗。从地主阶级第一次尝试变法，在鲁



国实行“初税亩”算起，到西汉王朝建立，牢固地确立了地主阶级的统治，前后经过了四百多年。在这几百年中间，奴隶制贵族为了维持他们的生存，夺回失去的天堂，进行了拚死的反抗。新兴的地主阶级的政权，也多次得而复失，失而复得。即使在西汉王朝稳固统治的二百多年期间，这种复辟和反复辟的斗争，也始终没有间断地渗透在各个领域，其中有政治的，也有经济的，有军事的，也有文化的。

凡是要推翻一个政权，总要先造成舆论，总要先做意识形态方面的工作。革命的阶级是这样，反革命的阶级也是这样。在中国封建王朝建立的过程中，新兴的地主阶级为了从奴隶主贵族手中夺取政权、巩固政权，也同样在意识形态领域内经历了一个长期激烈的斗争。在这反复的较量中，法家人物愈来愈尖锐地意识到：“仲尼之对，亡国之言也。”不对儒家那些“使天下混然不知是非治乱之所存”的“奸言”进行不调和的斗争，地主阶级专政就无法建立和巩固起来。对儒家反动的天命论的批判，正是这场严重斗争的一个重要的侧面。

以孔丘为代表的儒家，作为奴隶主贵族的代言人，利用了当时人们对自然力的崇拜，制造了一套“天命论”的反动说教。他们把世界上的一切都说成是天意的表现。“天何言哉！四时行焉，百物生焉，天何言哉！”世上万物的生长，四季的变化，都是按“上天”的意志进行着的。至于奴隶主贵族，那是“受命于天，代天牧民”的天人，他们自己则是“替天行道”的“圣人”。你要是不听从他们的训教，以下犯上，势必“获罪于天，无所祷也。”就连上天也会出一些怪异的天象，象彗星、陨星、日月食来谴告的。“天垂象，见吉凶”啊！因此，孔丘他呼天唤地，大声疾呼：“如诸侯俱在而日食，则从天子救日”，一定要维护住奴

隶主贵族的统治。

这种“欺世罔俗”、“使天下混然”的“奸言”，受到了法家的先驱人物荀况的有力的批判和揭露。荀况说：“日月食而救之，天旱而雩，卜筮然后决大事，非以为得救也，以文之也”。救日，求雨，并非真以为可以得救，不过是利用这些活动来掩盖他们的罪恶罢了。象日月食、陨星、彗星这些天象是各个时代常有的，“上明而政平，则世虽并世起，无伤也；上闇而政险，则是无一至者，无益也。”政局稳定，这种现象再多也不会遭殃；统治者昏庸腐败，政局动荡，就是不出现这种天象，也照样完蛋。总之，“天行有常”，自然界有它自己的运动规律，同你是昏君、暴君还是圣君毫不相关。最后，针对孔丘“畏天命”的妄说，荀况第一次明确地提出了“制天命而用之”的战斗口号。这种人定胜天的光辉思想，是对孔孟之流所宣扬的“死生有命，富贵在天”的反动天命论的有力批判，也是新兴地主阶级生气勃勃的革命气息的流露。很明显，“制天命”同“畏天命”这思想上两条路线的斗争，是在政治上地主阶级要夺取政权，而奴隶主贵族要维护自己的统治，这样两条路线斗争的反映。荀况的唯物主义的宇宙观，正是在这场斗争中形成的。它是封建社会萌芽的产物，又为封建社会的建立开辟了道路。

在刘邦建立西汉王朝以后，新兴地主阶级确立了比较稳固的统治，农业生产迅速发展，人们对宇宙的认识也进到了更高一级的程度。西汉中期，发明了我国古代经典的天文观测仪器——浑仪，实测了日月五星的运行，在这个基础上，编制了我国历史上第一部比较完整的历法——太初历，并且第一次提出了预报日月食的方法。这一系列重大的成就，是汉武帝推行法家路线，重视农耕的必然结果。

然而，地主阶级毕竟是一个剥削阶级，随着奴隶主贵族复

辟的危险逐渐消失，它同农民的矛盾也就逐渐上升为主要的矛盾。这时候，他们一方面还需要法家学说中关于中央集权的地主阶级专政的主张，另一方面又产生害怕革命，厌恶变革的思想。从刘邦“不好儒”，到汉武帝“内多欲而外施仁义”，又接受董仲舒“罢黜百家，独尊儒术”的建议，这样的转化正是由封建统治者的这种阶级利益决定的，也是一个剥削阶级无法逃脱的历史命运。从此以后，经过改造的儒家学说，逐渐成为地主阶级的正统思想。这个学说的中心，是“天人感应”说。两汉之际泛滥成灾的“谶纬”迷信，利用天象来附会人事，就是从董仲舒的“天人感应”说发展起来的。其实，也无非还是孔丘的“天命论”那一套。

所谓“天人感应”，就是说“天”是有意志的，地上该发生什么，不该发生什么，上天都会“谴告”。譬如：“国家将有失道之败，而天乃先出灾害以谴告之，不知自省，又出怪异以警惧之，尚不知变，而伤败乃至”，又如“臣下上僭，不能禁止，日为之蚀”，“月行南河，兵旱并起”，等等。甚至“人之形体”也是“化天数而成”，“小节三百六十六，副日数也；大节十二，副月数也；……外有四肢，副四时数也；乍视乍瞑，副昼夜也；乍刚乍柔，副冬夏也”。总之一句话，一切都由上天安排，一切都由上天规定，“天不变，道亦不变”。

但是，迷信的预言和天命思想，又怎能瓦解广大农民斗争的意志。深受封建压迫和剥削的农民，他们扛起了义旗，用刀枪否定了封建统治秩序的永恒性和合理性。

在中国封建社会里，只有这种农民的阶级斗争、农民的起义和农民的战争，才是历史发展的真正动力。在农民革命起义的前后，往往会出现一些著名的法家人物，他们敢于在独尊儒术的逆流中“伐孔”、“刺孟”，敢于驳斥天人感应的奇谈怪



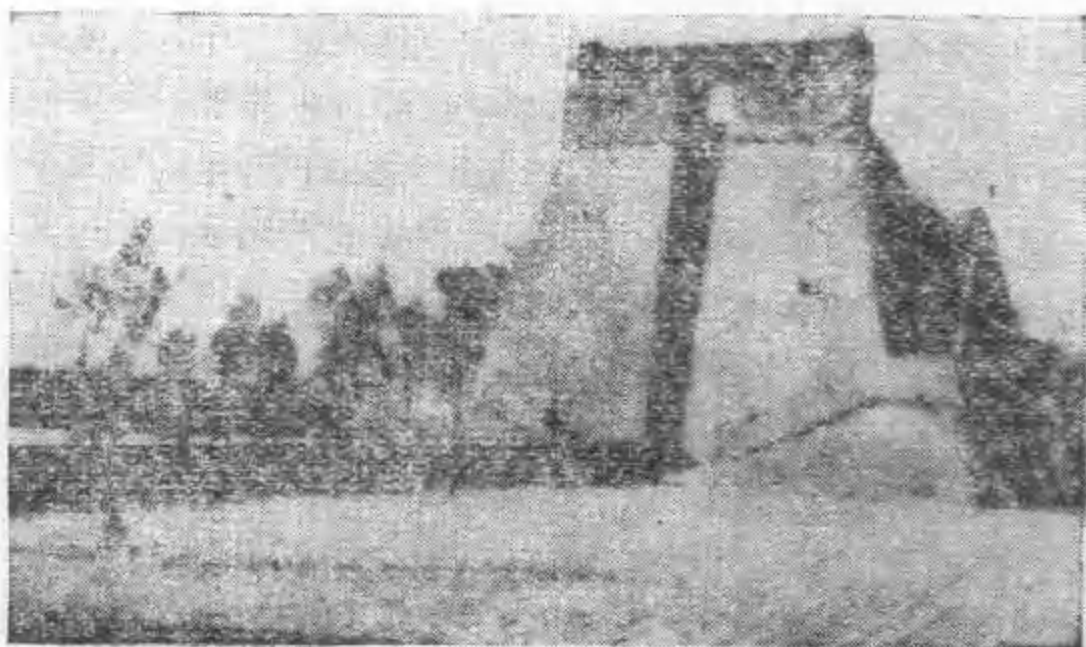


图 1-1 登封测景台遗址

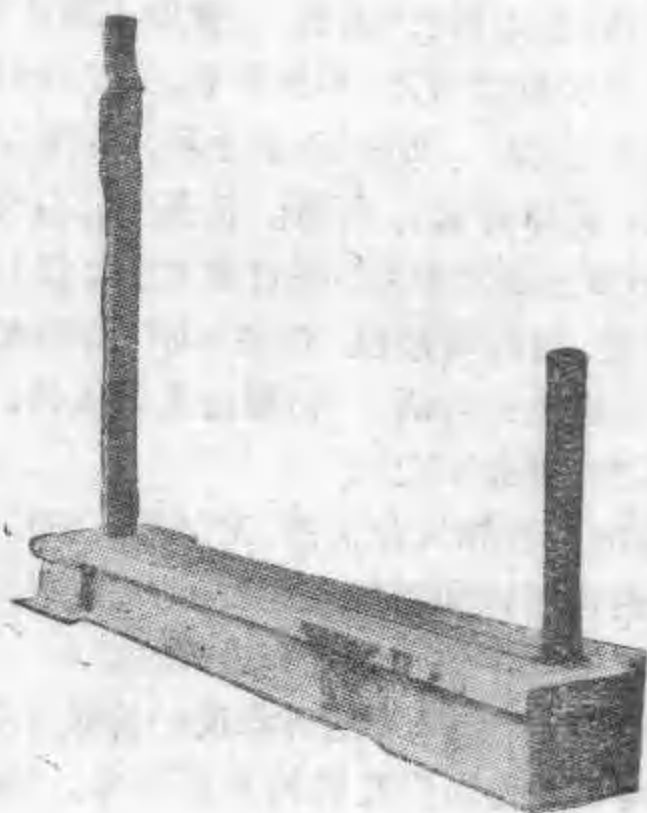


图 1-2 我国古代天文仪器：圭表

论，不能不说是受到了农民革命斗争的深刻影响。象西汉末年的杨雄，东汉初期的桓谭、王充就是这样。王充根据当时自然科学的成果，分析了四季、雷电等自然现象的成因，以及日月蚀的某些规律，得出了一个结论：“食有常数，不在政治”，“人不能以行感天，天亦不随行而应人”，“天道，自然也”。世界上一切事物都是自然地发生和发展的，根本不存在一个有意志的主宰。既然如此，又哪来上天的“谴告”呢？王充还深刻地认识到，“谴告之言，衰乱之语也”。就是说，“谴告”这种说法的出现，反映了统治阶级政治危机的加深。在这里，我们不仅看到了王充战斗的唯物主义者的鲜明气质，也可以听到农民起义大军讨孔的愤怒吼声。

还值得一提的是，王充在反儒斗争中所表现的朴素的辩证思想。他从道家的学说中吸取了辩证法的因素，加以积极改造，得出了自己唯物主义的辩证的宇宙观。他说：“夫天者，体也，与地同”，“天地不生，故不死，阴阳不生，故不死”，“夫有始者，必有终，有终者必有始。唯无终始者，乃长生不死。”王充唯物的、辩证的宇宙观，给后人留下了宝贵的财富。唐代的法家柳宗元，就继承了王充的思想，在《天说》、《天对》中提出了宇宙是物质的，是无中无旁、无始无终、运动不息的看法。北宋的王安石则与儒家“天不变，道亦不变”的形而上学观点根本对立，明确地提出“尚变者，天道也”，天地万物变化发展、“新故相除”是一种必然的规律。这些法家代表人物都坚持从自然界本身去说明自然，对儒家反动的天命论和唯心主义的宇宙观作了有力的批判和斗争，在许多重要问题上得出了辩证的、唯物的结论。我国历史上不少进步的天文学家，象东汉的张衡，南北朝的祖冲之，元代的郭守敬等人，常常自觉地或不自觉地从法家那里寻找自己的精神武器，顶住了风靡一时

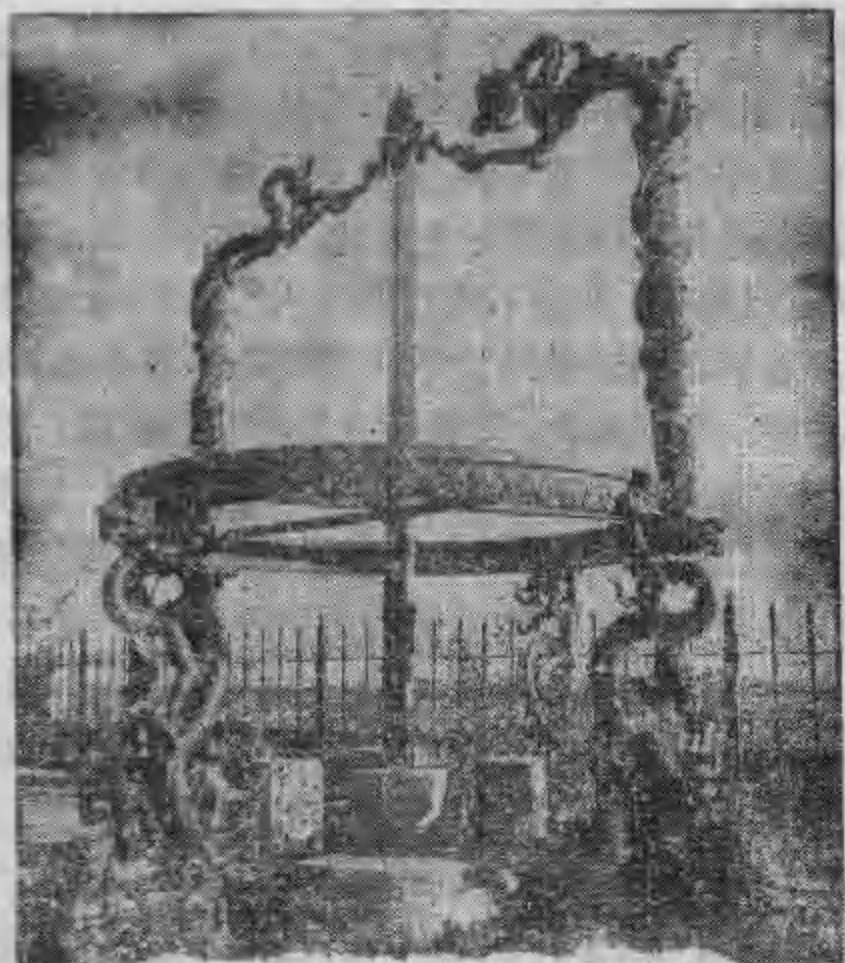


图 1-3 我国古代天文仪器：地平经仪

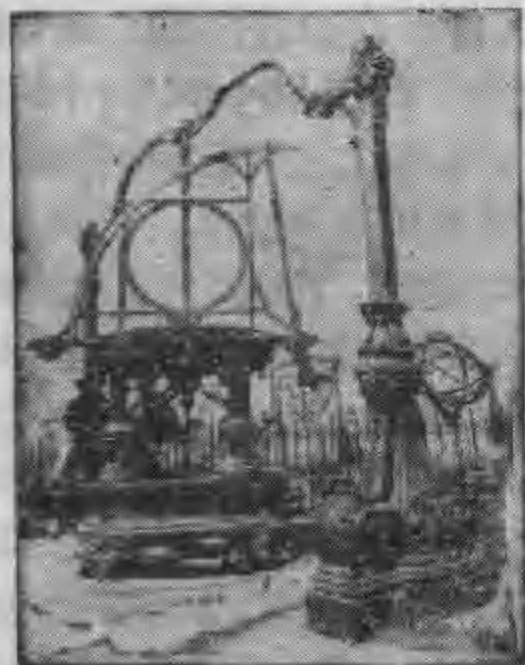


图 1-4 我国古代天文仪器：  
地平经纬仪



图 1-5 我国古代天文仪器：  
赤道经纬仪



的谶纬迷信和复古倒退的儒家思想，在天文学上作出了杰出的贡献，使我国的古天文无论在仪器制造上，还是在天象的观测，或者历法的改革方面，都走在世界的前列。

当前阶级斗争继续存在，这种斗争就会继续反映到自然科学领域中来。历史上往往有这样的情况，早已在哲学上被摒弃了的命题，常常在研究理论的某些自然科学家那里作为全新的智慧出现，而且在一个时候甚至成为时髦的东西。一百多年前，德国物理学家克劳胥斯在研究热与功转化的规律时，得出了“宇宙的熵趋于极大值”的荒谬结论。这种理论认为，世界愈来愈冷却，宇宙中的温度愈来愈平均化，当熵达到它的最大值时，宇宙就不可能再发生任何大的变动，整个宇宙将处于某种惰性的死寂状态中。克劳胥斯的“热寂说”是在资本主义由上升走向反动时期出现的一种资产阶级反动理论，也是资本主义政治、经济和思想危机在意识形态上的一种反映。因此，虽然它一出笼，就在哲学上以及自然科学上受到了无情的批驳，但是作为一个日趋没落的阶级的意识表现，它是不会轻易退出历史舞台的。事情也果然如此。一九四六年，一个美国人提出了一个“全新的”但又似曾相识的理论，叫做“大爆炸宇宙论”。按照这个理论，整个宇宙是从一个“原始火球”在“呸”、“嘭”一声大爆炸中开始的。这个火球从高温高密状态分崩离析，一边向外膨胀，一边冷却。由于在六十年代中期，发现了星际空间和星系际空间有相当于温度为 3K 的微波辐射，“大爆炸宇宙论”也就好象找到了证据，你看，原始火球从一百亿年前爆炸以来，到今天只剩下这么一点点残骸了，离开绝对零度已经不远了。当然，不断的膨胀，终将使宇宙不断地冷却下去，从 3K 继续降低到 2K、1K。最后，只剩下一片冷冰冰、空荡荡的绝对虚空，天体作为大爆炸的劫后余灰，点点滴滴、



图 1-6 我国古代天文仪器：  
黄道经纬仪



图 1-7 我国古代天文仪器：  
象限仪



图 1-8 我国古代天文仪器：  
纪限仪

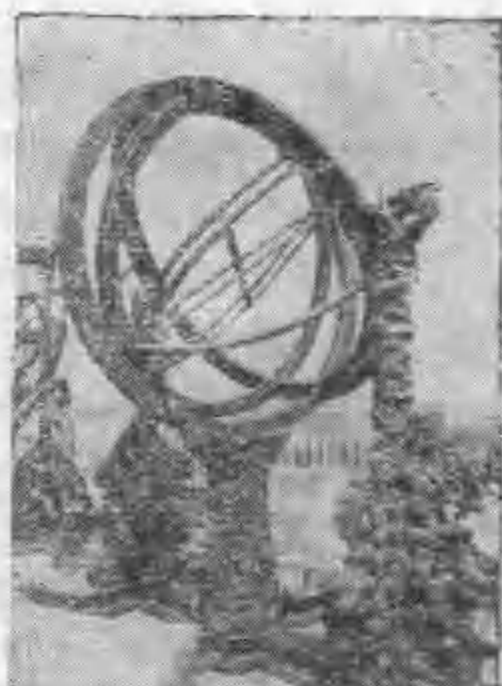


图 1-9 我国古代天文仪器：  
玑衡抚辰仪

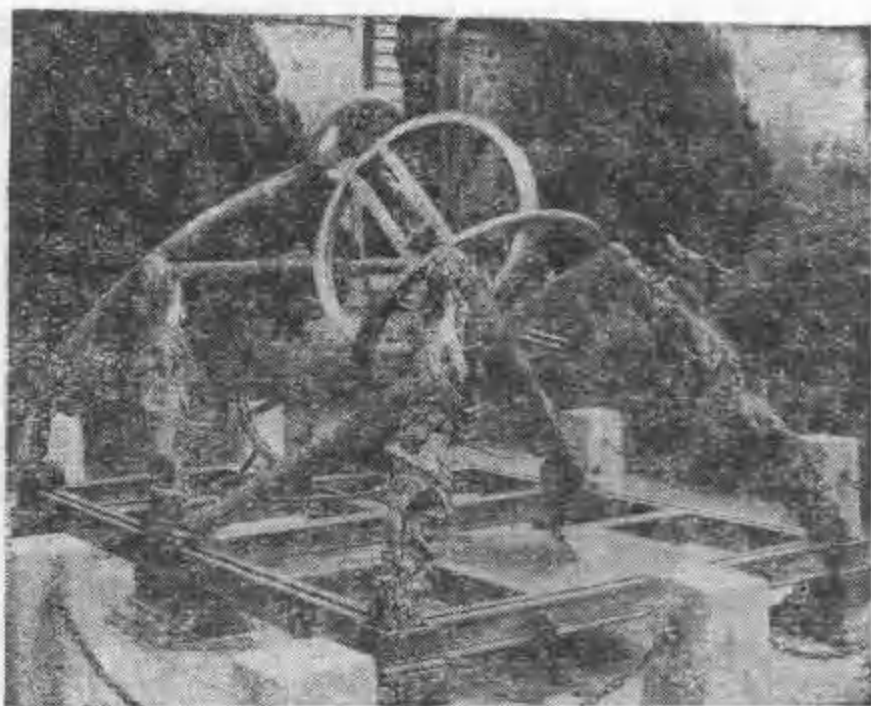


图 1-10 我国古代天文仪器：简仪

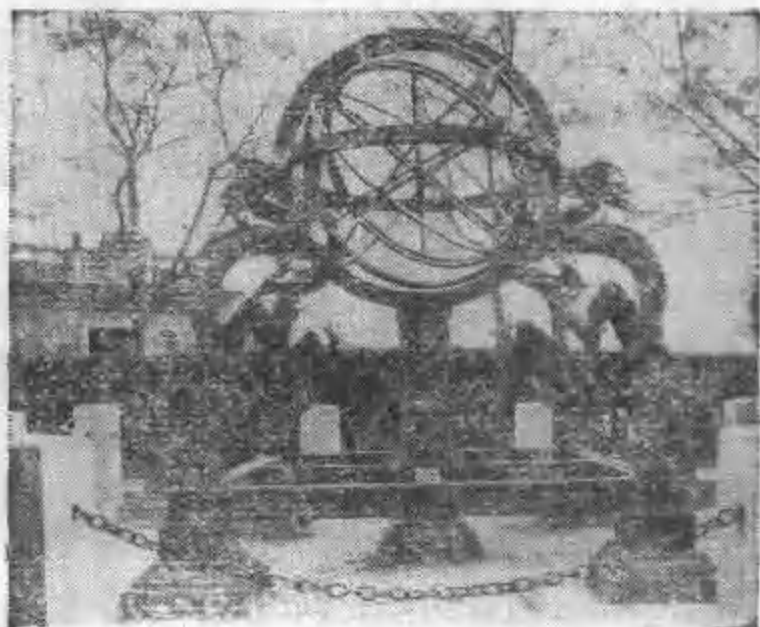


图 1-11 我国古代天文仪器：浑仪

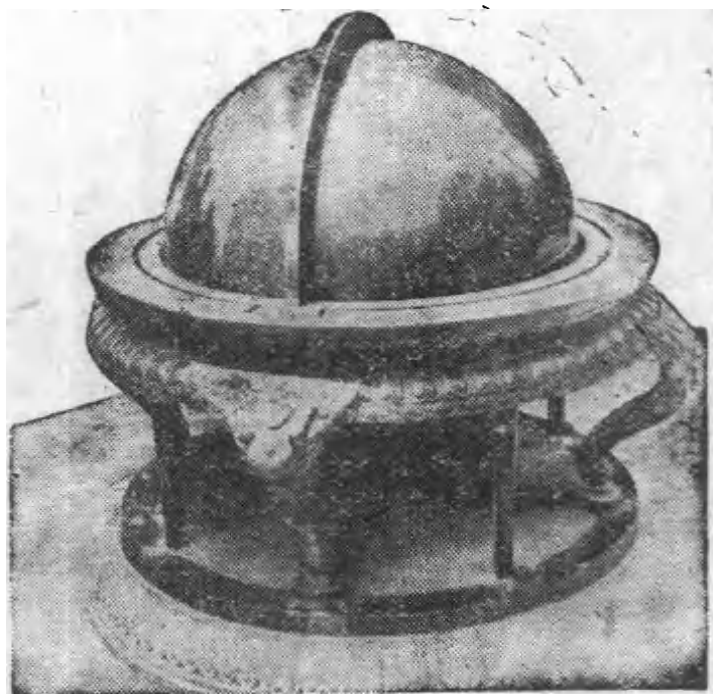


图 1-12 我国古代天文仪器：天球仪

稀稀拉拉地分布在这个没有一丝温暖的冰窟中，没有光，也没有热，成了飘浮在太虚幻境中的游魂。

这个理论说新也不新，除了用“呲”、“嘭”的几声爆炸，给整个冷却过程描绘了几笔神奇的色彩之外，实在同克劳胥斯的“热寂说”没有什么本质的区别。它们同样都在说：能消灭了。同时，既然它们同样只承认宇宙处在单向的冷却过程中，那么，正如恩格斯在批判“热寂说”时指出的：“作为冷却的起点的最初的炽热状态自然就绝对无法解释，甚至无法理解，因此，就必须设想有上帝存在了。”事实上，创造这个理论的那位美国人自己也说得很干脆：“某些人谈论上帝创造天地以前的情况，对那些胆敢追问这样高深道理的人，上帝为他准备好了地狱。”

就是这样一个用“科学”论证了“上帝创世”和“世界末日”的理论，现在竟然在苏修和西方世界成了最时髦的东西。这

正是资本主义社会的政治危机、经济危机和社会危机在意识形态上的一种反映。灭亡中的阶级总是要把他们自己的灭亡说成是“世界末日”的，真是“忽喇喇似大厦倾，昏惨惨似灯将尽”，“热寂说”也罢，“大爆炸宇宙论”也好，不过是在这么一种阴暗心理下制造出来的反革命舆论罢了。我们革命人民必须时刻注意自然科学领域里最新革命所提出的种种问题，用马克思主义为武器在自然科学领域里进行战斗，自觉地抵制和批判资产阶级的自然观，做一个战斗的辩证唯物主义者。





## 第二章 星空与望远镜



## 一、天上的街市

自古以来，星空给人们的印象极其深刻。在万籁俱寂、地面景物因黑夜的降临而暗淡的时候，星空无疑是自然界最显赫的景色了，那交相辉映的繁星构成了天上宛如华灯初上的街市。在这宽广的街市里，常展现出各种奇妙的景象。这些景象不仅使人趣味横生，而且使人们见景生情，将人类的视线引向无限的宇宙。

我们的祖先对星空非常重视。我国的史书中有丰富的天象记载。我国发掘出的古代墓葬中，星空的图象是屡见不鲜的，足见古人对星空的向往了。

星空也会给人们以眼花缭乱、杂乱无章的形象。其实，肉眼见到的星是数得清的，全天大约有六千颗。愈亮的星，数目愈少。引人注目的亮星只有几十颗，经过一段时间的观察，认识它们并不是一件难事。

天上的星，除了几颗东游西荡的“行星”之外，看起来似乎全是固定不动的，古人遂在星字之前冠以“恒”字。恒星相互间的位置固定，人们识辨它们就较方便。为了便于研究，古人把星空分成若干个小区域。在我国有三垣四象二十八宿之分，《史记·天官书》中记载最详，而它们的起源远在周、秦以前。三垣是北天极<sup>①</sup>周围的三个区域，即紫微垣、太微垣、天市垣。四象分布于黄道和白道近旁，环天一周。每象各分七段，称为“宿”，共计二十八宿。它们是：

东方苍龙之象，含角、亢、氏、房、心、尾、箕七宿；

---

本章题头图：中国科学院紫金山天文台一角。

① 天极以及下文的黄道、白道和天赤道等名词，在有关章节中都有解释。

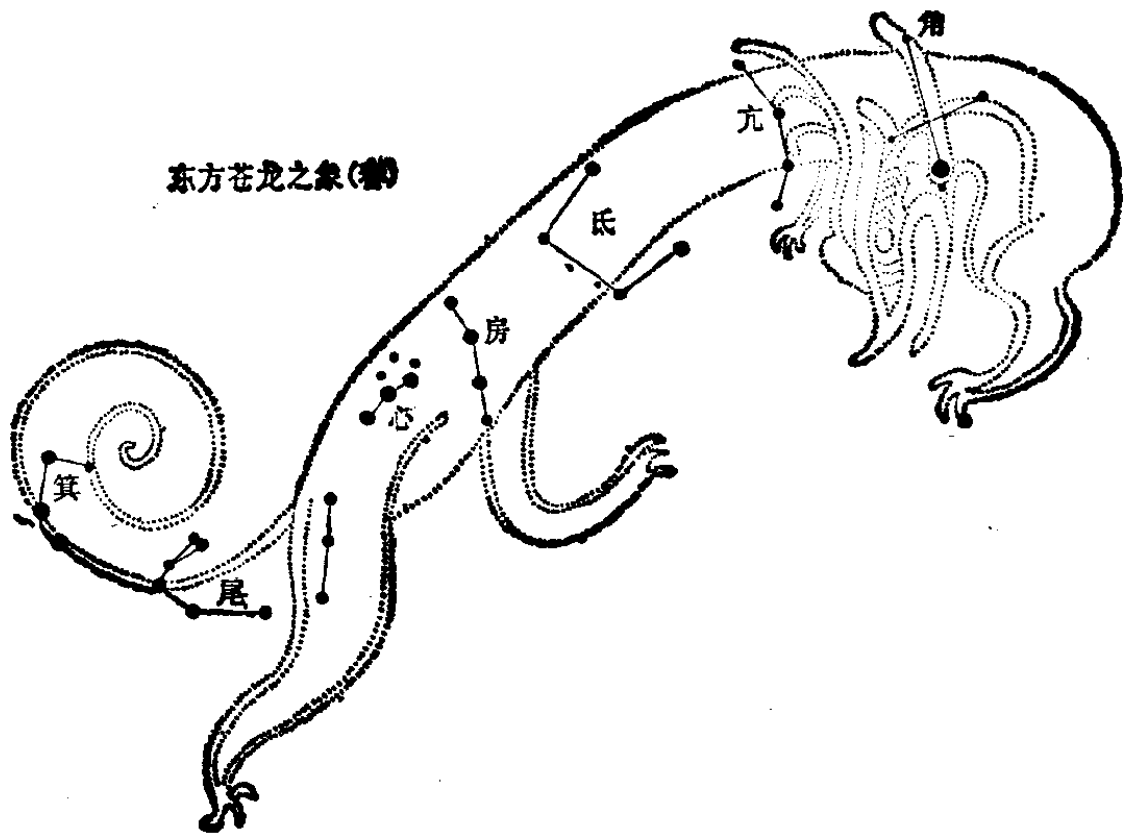


图 2-1 东方苍龙之象



图 2-2 南方朱雀之象

西方白虎之象(秋)

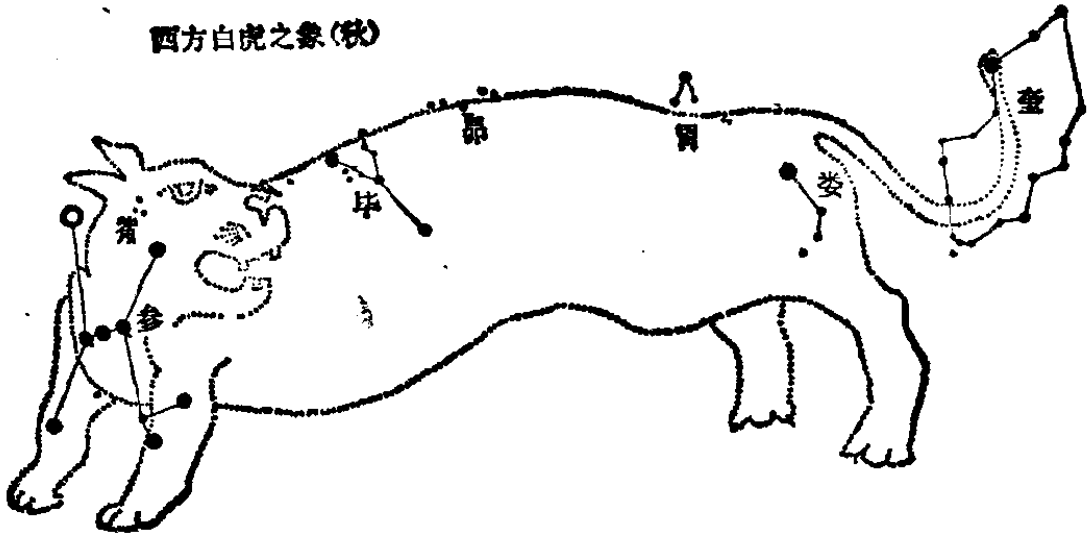
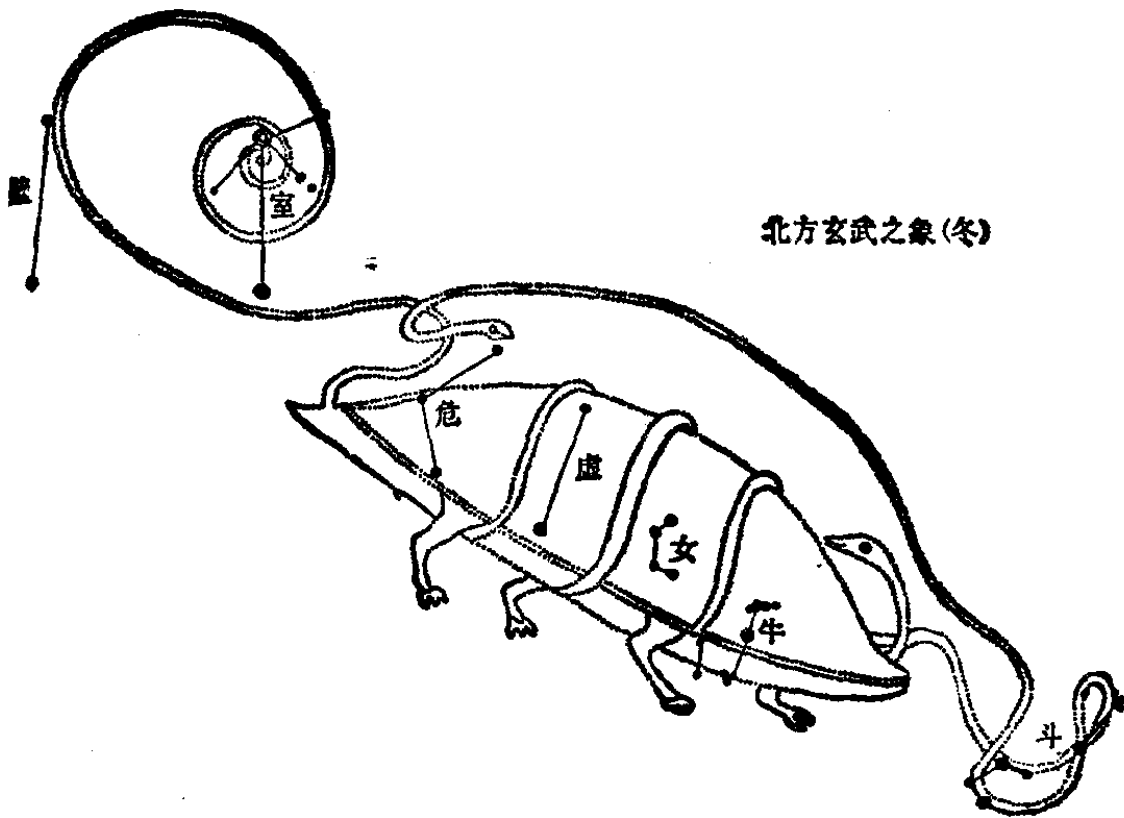


图 2-3 西方白虎之象



北方玄武之象(冬)

图 2-4 北方玄武之象

南方朱雀之象, 含井、鬼、柳、星、张、翼、轸七宿;

西方白虎之象, 含奎、娄、胃、昂、毕、觜、参七宿;

北方玄武之象, 含斗、牛、女、虚、危、室、壁七宿。

“宿”有宿舍的意思, 故二十八宿又有称为二十八舍的。



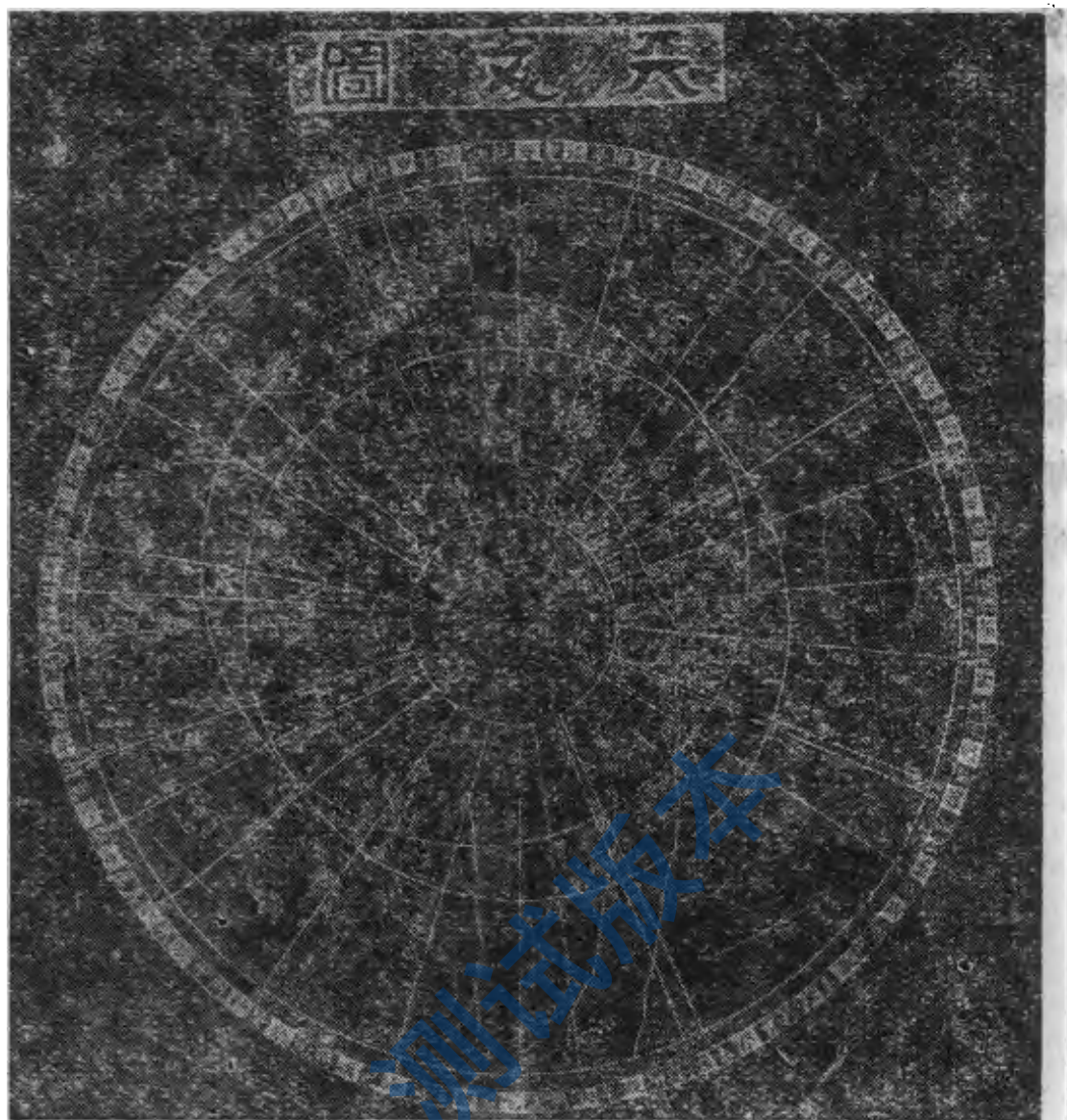


图 2-5 石刻《天文图》

月亮沿白道向东移动,大致每天停留在一个“宿”里。

研究星空有必要将星星记录下来,办法不外两种:编制星表和绘制星图。这两项工作我国均有悠久历史。战国时代的甘德和石申分别著《星占》八卷和《天文》八卷,后人把这两部著作合起来,称为《甘石星经》。该星经载有一百二十颗恒星的位置,系世界上最古的星表,比希腊天文学家编著的最早的星表早了几十年。石刻星图也属我国最早。图 2-5 是我国古老的石刻《天文图》之一,系公元 1247 年(南宋时期)所刻,现

存江苏省苏州市。最近，考古工作者在河北省宣化市一座距今八百年的辽代墓葬中，发现了一幅彩色星图。

在西方，大约公元前三千年左右，迦尔底人按照一些较亮的星联成的图形把星空划分成一个个的“星座”，以星座的形态或结合神话故事的内容给星座命名。演变到公元二世纪，北天星座的雏形经希腊天文学家的描述大体上已确定下来，至于南天极附近的星座，那只是等到环球航行成功，经航海者观察了南天之后，于十七世纪和十八世纪才逐渐定出的。国际上公定全天分为 88 个星座。它们的名字列在下面。

### 北 天 星 座

小熊	天龙	仙王	仙后	鹿豹	大熊	猎犬	牧夫
北冕	武仙	天琴	天鹅	蝎虎	仙女	英仙	御夫
天猫	小狮	后发	巨蛇	蛇夫	盾牌	天鹰	天箭
狐狸	海豚	小马	飞马	三角			

### 黄 道 星 座

白羊	金牛	双子	巨蟹	狮子	室女	天秤	天蝎
人马	摩羯	宝瓶	双鱼				

### 南 天 星 座

鲸鱼	波江	猎户	麒麟	小犬	长蛇	六分仪	巨爵
乌鸦	豺狼	南冕	显微镜	天坛	望远镜	印第安	
天鹤	凤凰	时钟	绘架	船帆	南十字	圆规	南三
角	孔雀	南鱼	玉夫	天炉	雕具	天鸽	天兔
大犬	船尾	罗盘	唧筒	半人马	矩尺	杜鹃	网罟
剑鱼	飞鱼	船底	苍蝇	天燕	南极	水蛇	山案
蝘蜓							

只有几个星座还有点儿名副其实(图 2-7)，大多数星座其形状很难想象能同它们的名字相配。黄道十二星座是太阳

和行星运行的“跑道”，太阳每月位于其中的一个星座，它们的地位特殊，因而单独列出。

地球上一百多个国家，领土有大有小，差别很大。88个星座在星空中占的范围也是如此。最大的几个星座当推长蛇、室女、大熊、鲸鱼、武仙。长蛇座摆开了一字长蛇阵，当蛇头已升到正南方时，蛇尾还未全部出东方地平线哩！最小的星座应数南十字、小马、天箭、圆规。本书末附有北天极和天赤道附近的星图，供读者认星之用。

天上的星，如果用望远镜看，数以万计、亿计。如此多的星，如何称呼它们呢？对一些较亮的星，古人已起了专名，如天狼、老人、五车二、北落师门、大陵五、天津一等等。每个星座里较亮的一些星又有一个以希腊字母标记的名字，那是按照星座内星的亮度顺序，配上相应的希腊字母（见下表），并加上星座的名字，来作为星的名字的。例如，天狼星就是大犬座 $\alpha$ ，大陵五是英仙座 $\beta$ ，天津一是天鹅座 $\gamma$ 。在一个星座内，一般来说 $\alpha$ 星比 $\beta$ 星亮， $\beta$ 星比 $\gamma$ 星亮，依次类推。但倒过来的情况也有，譬如猎户座 $\beta$ （参宿七）就比猎户座 $\alpha$ （参宿四）亮些。大约这套用希腊字母命名的办法于十七世纪初提出，那时唯有靠肉眼估计星的亮度，不如后来用仪器测定准确，把亮度的顺序搞颠倒了。大熊座中的北斗七星命名的次序颇特殊，从斗身到斗柄依次按 $\alpha, \beta, \gamma$ ……排下来，七颗星中最亮的不是 $\alpha$ 星，而是 $\epsilon$ 星。希腊字母只有24个，这样的命名法当然很不完备。天文工作者既无必要，也不可能挖空心思为每一颗星起一专名，这样做就好比靠少数一些人给全世界每一个人起名字那样烦难。既简便又取之不竭的命名法是编号码，以某星表中星星编排的号码作为星的名字，星表不只一种，当然在号码前面必须写上星表的简称才行。

## 希腊字母

字 母	读 音	字 母	读 音
$\alpha$	阿 尔 法	$\nu$	纽
$\beta$	贝 塔	$\xi$	克 西
$\gamma$	伽 马	$\omicron$	奥 密 克 戎
$\delta$	德 耳 塔	$\pi$	派
$\epsilon$ ( $\epsilon$ )	艾 普 西 隆	$\rho$	若
$\zeta$	截 塔	$\sigma$	西 格 玛
$\eta$	伊 塔	$\tau$	套
$\theta$ ( $\theta$ )	伊 西 塔	$\upsilon$	宇 普 西 隆
$\iota$	伊 约 塔	$\varphi$ ( $\phi$ )	斐
$\kappa$ ( $\kappa$ )	卡 帕	$\chi$	喜
$\lambda$	兰 姆 达	$\psi$	普 赛
$\mu$	缪	$\omega$	奥 米 伽

星座因地球自转，人们看去每时每刻都在自东向西地移动，每天转一圈。由于地球绕太阳公转，太阳在黄道星座中自西向东运行，每年环天一周。在太阳周围的星座白昼经过我们的上空，隐没在耀眼的阳光中，只有远离太阳的星座才在夜空中露面。因而星空随每天夜晚的不同时刻，随一年中不同的月份变换着自己的模样。除去那些隐没在南方地平线下面的南天极附近的星座外，各个星座轮流出现。为了告诉你如何认星，这儿我们和你约定：我们讲的是晚上八、九点钟的星空。

你看过电影《闪闪的红星》，总记得冬子和椿伢子仰望北斗七星的镜头吧。你也从找北斗七星开始吧。它们是大熊座中最亮的几颗星，很象一个盛水的勺子。这七颗星都有中文的专名，顺着希腊字母的次序，它们是：天枢、天璇、天玑、天权、玉衡、开阳、摇光。你面朝北方很容易认出这个星座。春末夏初它的位置最高，在高纬度地区，北斗七星不会落到地平

线以下去, 整年可见。从大熊座  $\beta$  向  $\alpha$  联一根直线, 并延长 5 倍的距离, 便遇到一颗稍暗一点的星, 它是小熊座  $\alpha$ , 中名勾陈一。该星离北天极不到  $1^\circ$ , 获得了北极星的盛誉, 因而大熊座  $\alpha$  和  $\beta$  这两颗星又称“指极星”。北极星虽不太亮, 众星却都拱着它打转。如果你在晚上迷失了方向, 只要找到北极星, 它准确地指示着北方。从大熊座  $\delta$  向北极星引一条直线, 再把这条线延长一倍, 就到了仙后座, 主要的五颗星排成了字母“W”, 很易辨认。仙后座和大熊座总是在北极星的两边, 遥遥相对。当大熊座很靠近地平线时, 仙后座的位置很高, 这时从仙后座  $\alpha$  (王良四) 向一颗暗星仙后座  $\kappa$  连线引伸出去也能找到北极星(图 2-6)。

春季最显著的星座是狮子座(图 2-7)。从大熊座  $\delta$  向  $\gamma$  引直线延伸出去, 就会遇上镰刀形的一串星, 或者说象一个

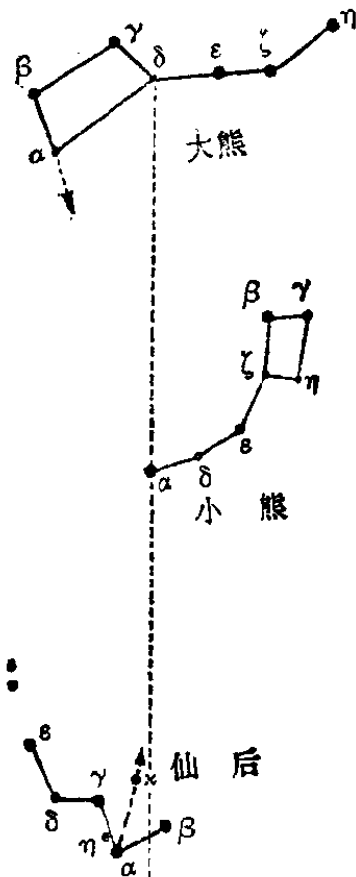


图 2-6 大熊、小熊和仙后座



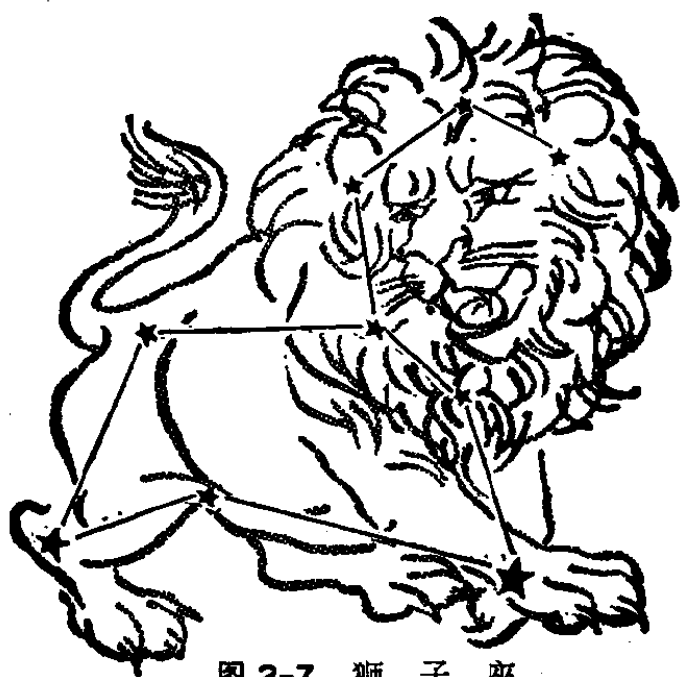


图2-7 狮子座

反写的问号“?”。这把“镰刀”是狮子座里西边的一部分星构成的，成了这个星座明显的标志。镰刀柄末端的那颗亮星是狮子座 $\alpha$ ，中名轩辕十四，它是航海九星之一；其余的八颗是：金牛座 $\alpha$ ，双子座 $\beta$ ，南鱼座 $\alpha$ ，白羊座 $\alpha$ ，室女座 $\alpha$ ，天蝎座 $\alpha$ ，天鹰座 $\alpha$ ，飞马座 $\alpha$ 。

夏季，你面朝南方，看到一颗火红的亮星，它叫心宿二(天蝎座 $\alpha$ )，又叫大火。在它的左右各有一星，对称地侍立，前者叫心宿三(天蝎座 $\tau$ )，后者叫心宿一(天蝎座 $\sigma$ )。这三颗星构成了二十八宿中的心宿。天蝎座(图2-8)是黄道星座中最显眼的一个星座，它确实象一只蝎子，心宿左下方的一长串星形成蜷曲着的蝎子尾巴，它们组成了尾宿。心宿右上方的几颗星组成了房宿。你面朝北方，视线顺着联接北斗七星中斗柄上三颗星的弧线伸展出去，便遇上另一颗显赫的红星，它是牧夫座(图2-9) $\alpha$ ，中名大角。牧夫座颇象降落伞，不难辨认。大名鼎鼎的织女星位于牧夫座的东北方，它明亮晶莹，是小小的天琴座的首领，全天也很少有几颗星能与它匹

敌。紧挨织女星的东南方有四颗暗星组成一个平行四边形，使你不会认错(图 2-10)。从天琴座往南偏东，遇到一颗亮星，它是天鹰座  $\alpha$ ，中名河鼓二，即牛郎星。它的两边各有一颗暗一些的星，三颗星近于在一直线上，这是天鹰座(图 2-10)最显著的标志。天琴座的东面，有一个十字形的星座，名叫天鹅座(图 2-10)，也有北十字之称，和南天的南十字座相对应。十字顶端的亮星是天鹅座  $\alpha$ ，中名天津四。织女、牛郎和天津四形成一个很大的直角三角形。“天津”是天上渡口的意思，天鹅座是银河流经的星座，在第八章还要谈到。

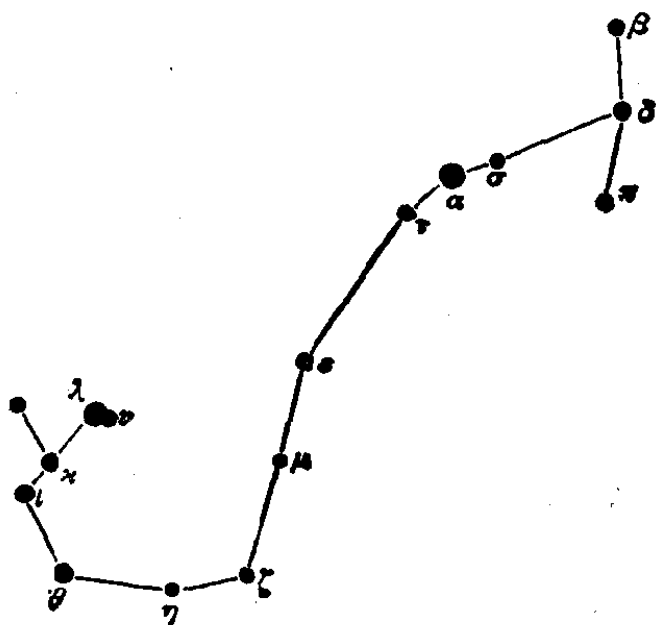


图 2-8 天 蝎 座

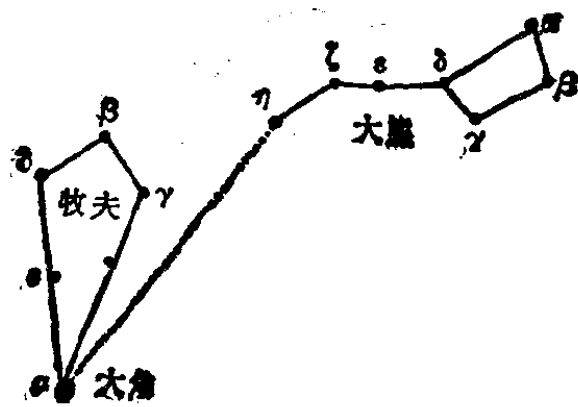


图 2-9 牧 夫 座

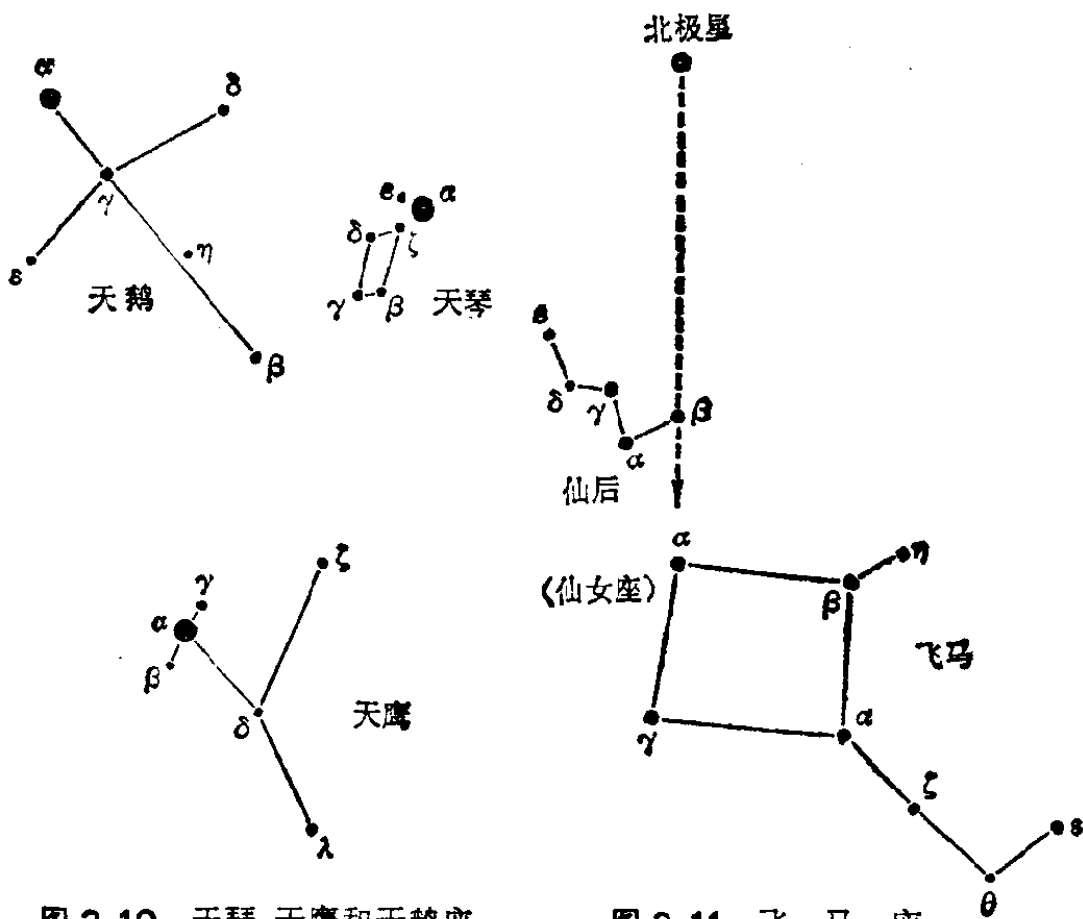


图 2-10 天琴、天鹰和天鵝座

图 2-11 飞马座

飞马座(图 2-11)是秋季星空中一个显著的星座,该星座的重要标志是大正方形。从北极星向仙后座 $\beta$ 引一根直线延伸出去就可找到它。从正方形东北角伸出的二串星属于仙女座,我们在第九章中谈。秋夜南方的星空一片寂寞凄楚,唯有南鱼座中的亮星北落师门孤傲地挺立,它几乎在飞马座正方形西边的延线上,周围广大的区域里没有什么亮星,一目了然。

到了冬季,星空呈现一派热闹的景象。天狼(大犬座 $\alpha$ )、参宿四(猎户座 $\alpha$ )、参宿七(猎户座 $\beta$ )、五车二(御夫座 $\alpha$ )、南河三(小犬座 $\alpha$ )、毕宿五(金牛座 $\alpha$ )、北河三(双子座 $\beta$ )这些头等明星争相辉映,好象在开星辰世界的群英会。雄伟壮丽的猎户星座(图 2-12)在南方闪闪发光,它拥有七颗相当明亮的星。四颗排列成不规则的四边形,红星参宿四占据着四边

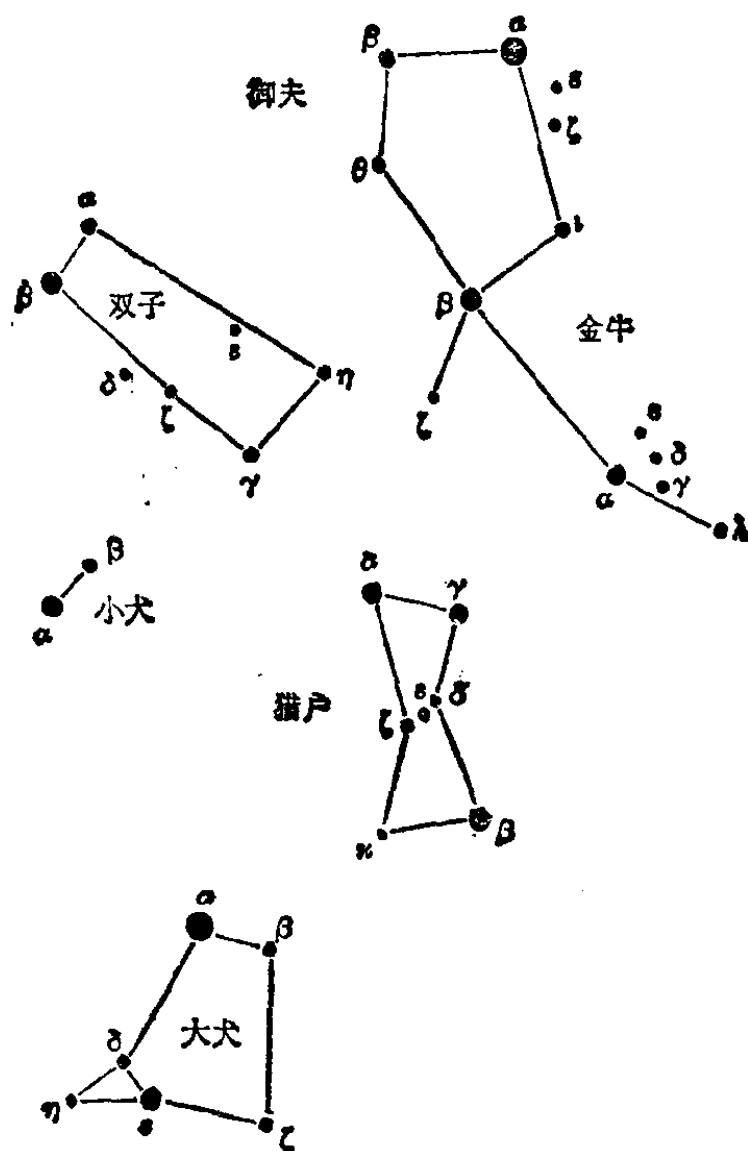


图 2-12 猎户、金牛、御夫、双子、大犬和小犬座

形的东北角, 蓝星参宿七占西南角。猎户座  $\delta$ 、 $\epsilon$ 、 $\zeta$  这三颗亮星横斜在四边形的中央, 成一直线, 它们是著名的参宿三星。“三星”, 在我国还指上面提到过的心宿三星和天鹰座中的三星。和天狼、参宿四形成一个等边三角形的亮星是南河三。沿参宿三星, 向东南便遇上全天最亮的天狼星; 向西北来到了金牛座(图 2-12), 你不会不注意到毕宿五这颗红星。位于金牛座东北方的御夫座和双子座(图 2-12), 也容易辨认。

你要知道梨子的滋味，你就得变革梨子，亲口吃一吃。你想熟悉星空，不能停留在纸上。我们简单地介绍了十几个著名的星座，你可以通过这些星座去找到其他的星座。只要经常留意，经过一段时间，譬如说一年吧，你对星空就会从完全陌生变为比较熟悉了。如果你干劲大，愿意通宵观天，一夜之间你可以浏览大部分的星座；隐没在东方曙光之中暂时看不到的星座，你可以隔几个月之后观察。认星不仅会使你获得天文知识，而且还能学到辨方向和估计时间的本领<sup>①</sup>。

## 二、今日“千里眼”

从人们开始注意天上的各种现象以来，一个很长的时期内，都是用肉眼观测的，最多也只是用了一些简单的工具。我们中国人有句成语，叫做“管中窥天”，说的就是用一种最简单的观测工具来看天，一根细长的管子，两头开了个洞，从管中看出去，只能看到天空很小的一个区域。我国古代的观测仪器，如浑仪、简仪，上面都有这样的管子。

用肉眼观测，就要受到眼睛本身的限制。人的眼睛不比鹰眼，飞在高空的老鹰，可以看见地上的一只小鸡，甚至一草一木也能分得清清楚楚。人的眼力就不够。神话小说里面写的，什么“慧眼一睁”就把千里以外的事情看得一清二楚，那毕竟是古代的幻想而已。实际上，人把眼睛睁得再大，时间看得更长，也不会看得更加清楚，反倒会把眼睛弄疲倦了，东西愈发地模糊起来。就拿月亮来说吧，尽管是“慧眼一睁”，看出来的，也还是同我们“凡眼”一般，影影绰绰，象是一棵参天的大树，又象一个袅然升天的“仙女”。于是在民间留下了“吴刚伐

<sup>①</sup> 见第三章。



树”、“嫦娥奔月”之类的美丽的神话。直到望远镜发明之后，才真正看清了月面上的风光。千百年来，引得多少诗人吟叹的“天上宫阙”，却原来是一片寂寞世界，坑坑洼洼，满目凄凉。幻想中的“慧眼”，或者“千里眼”，尽管成了现实，可是这副景色，常常使那些满心想以一睹“月貌”为快的人们感到“失望”！

至于说到望远镜这只“慧眼”，倒也真是同眼睛差不了多少。一样地有一个限制光束大小的“瞳孔”，一样地有一个成象的系统，一样地有一个“感觉系统”。图 2-13 是一种一般的照相望远镜。这个望远镜有两个筒子，每个都是一个照相机。筒的一端装着一组透镜，它同人眼的水晶体一样，起着成象的作用，天文上叫做“物镜”。装物镜的框同人眼的瞳孔一样，限制了投射到成象系统上的光束的多少。筒的另一端放底片，物镜把天体的象成在底片上。底片相当于人眼中的感觉细胞。如果把底片拿走，在后面放上一组小的透镜，就可以用眼睛来看（图 2-14），这组小透镜叫作目镜。换上不同的目镜，月亮、木星、土星等天体也就被放大不同的倍数，100 倍，200 倍，等等。肉眼观测尽管挺方便，但是这种观测常常因人而异，主观性太强，又不能把观测资料客观地保留下来，所以一般都用照相。

图 2-15 是我国自己制造的一架专门用来观测人造卫星的望远镜。它采用的是一种比较复杂的系统，叫做折反射望远镜。其中一块很薄的透镜，一面做成一种很复杂的曲面。成象的是一块反光镜，它的直径有 60 厘米。在天文上叫做物镜的口径为 60 厘米。人造卫星的成象位置放置照相底片。图 2-16 是另外一架我国自己制造的专门用来观测恒星的望远镜，成象的物镜是一块反光镜，口径 60 厘米。它的象可以直接成在物镜的前面（图 2-16 b）；也可以在物镜前面放一块

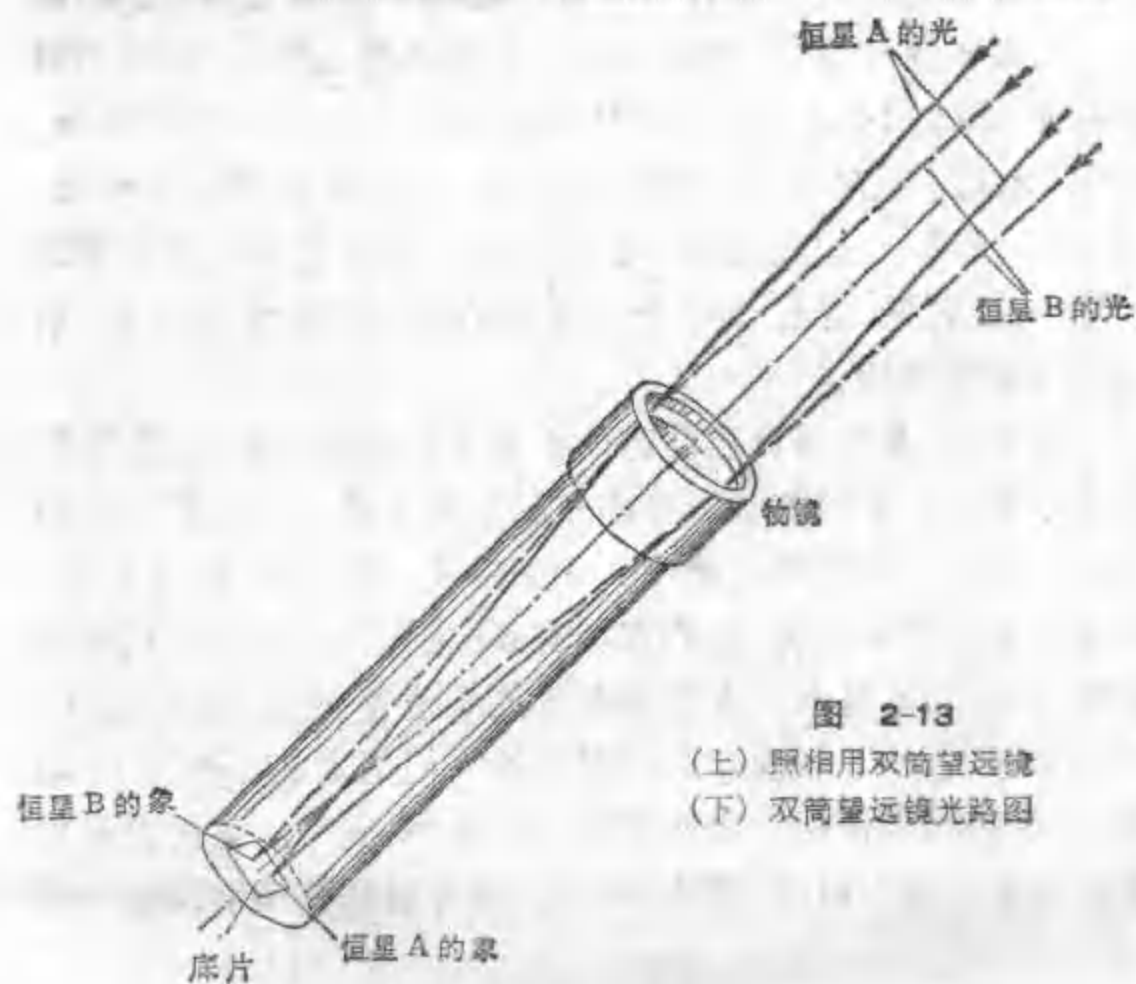
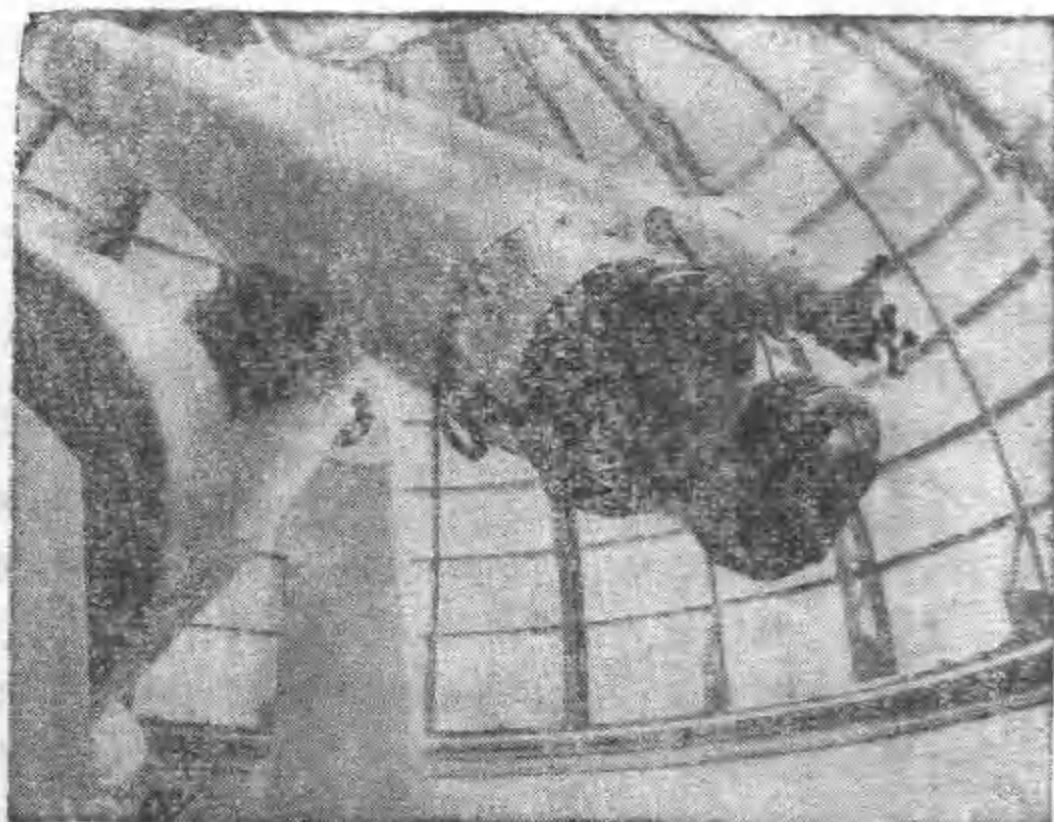


图 2-13

(上) 照相用双筒望远镜

(下) 双筒望远镜光路图

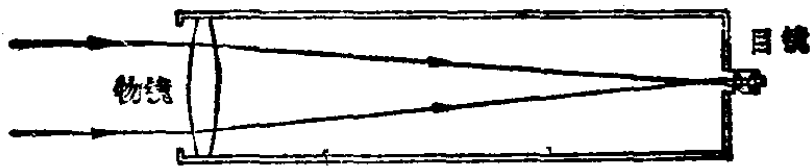


图 2-14 目视望远镜光路图

小的反光镜，把象成在物镜的后面(图 2-16 c)；或者用更多的小反光镜，把象成到另外一个房间去(图 2-16 d)。这架望远镜是一架试验性的，正准备在这基础上制造更大的、物镜口径达到 2 米以上的望远镜。

望远镜物镜的口径愈造愈大，带来的好处是很明显的。我们看到一颗星亮，一颗星暗，是什么意思呢？形象地来说，如果在我们眼睛瞳孔的范围内，一颗星 A 投射的光多，譬如有四根光线进来，另一颗星 B 只有二根光线进来，我们看起来，A 星就比 B 星亮。假设对我们的眼睛来说，只有进来四根光线，眼睛才能感觉到，那么 B 星虽然有光落进眼里，我们也只以为在 B 星方向“没有星”。把眼睛换成望远镜的物镜，说法是一样的。现在我们在图 (2-17 b) 情况下换上一块口径更大的物镜，使得它接收 B 星的光线也有四根。这样一来，用大望远镜看 B 星，同用小望远镜看 A 星就一样亮，或者说，能看到小望远镜看不到的 B 星。拿天文上的话来讲，叫做望远镜的口径愈大，接收的光线愈多，能看到的星星也愈多。譬如用肉眼看，天上的星只有 6000 颗左右。如果换一个口径 15 厘米的望远镜来看，就能够看到  $6.1 \times 10^6$  颗星。口径增大到 2 米，看到的星数增加到  $3.7 \times 10^8$  颗。口径再增大，星数还能增多。口径大到 5 米，看到的星数可以达到  $2.1 \times 10^9$  颗之多。这个数字还只是用肉眼看的。换成照相的方法，这个数字还能大上几倍。这是因为照相底片同眼睛不一样。眼睛看东西，第一秒钟看不见，再看上一个小时，也还是看不见。照相

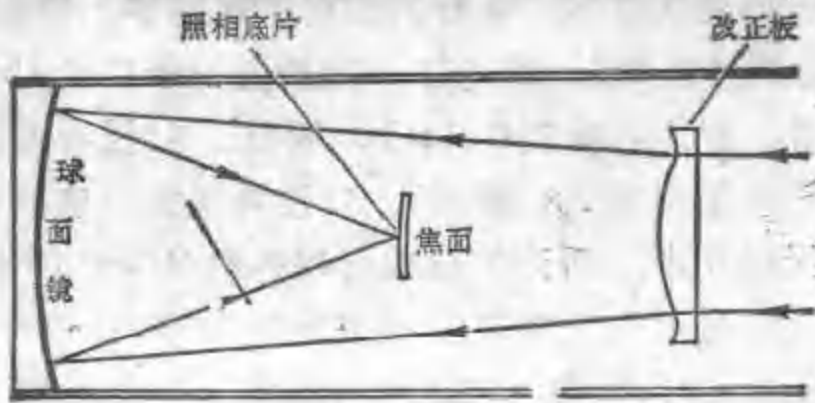
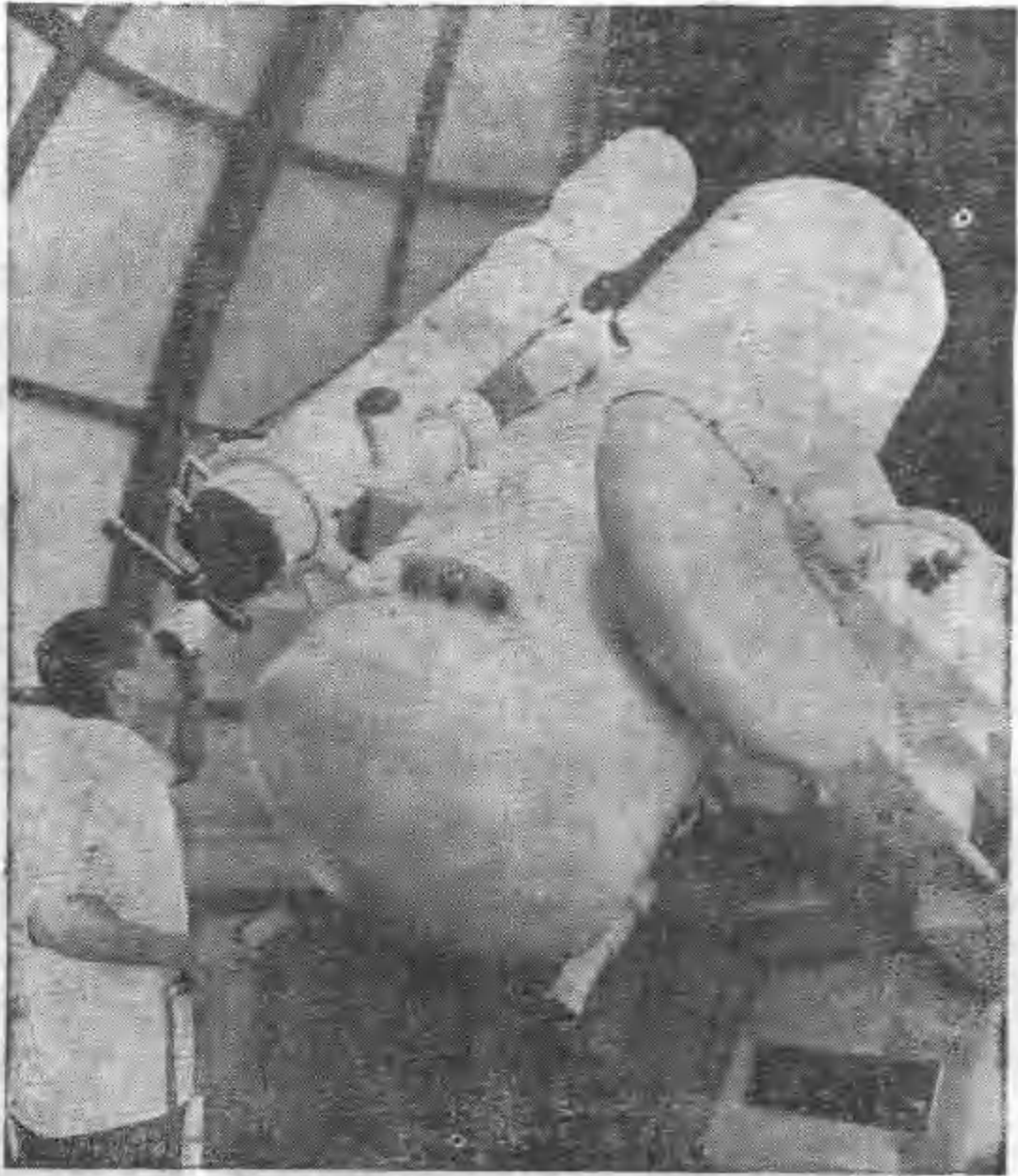


图 2-15  
 (上) 观测人造卫星用的折反射望远镜；(下) 折反射望远镜光路图

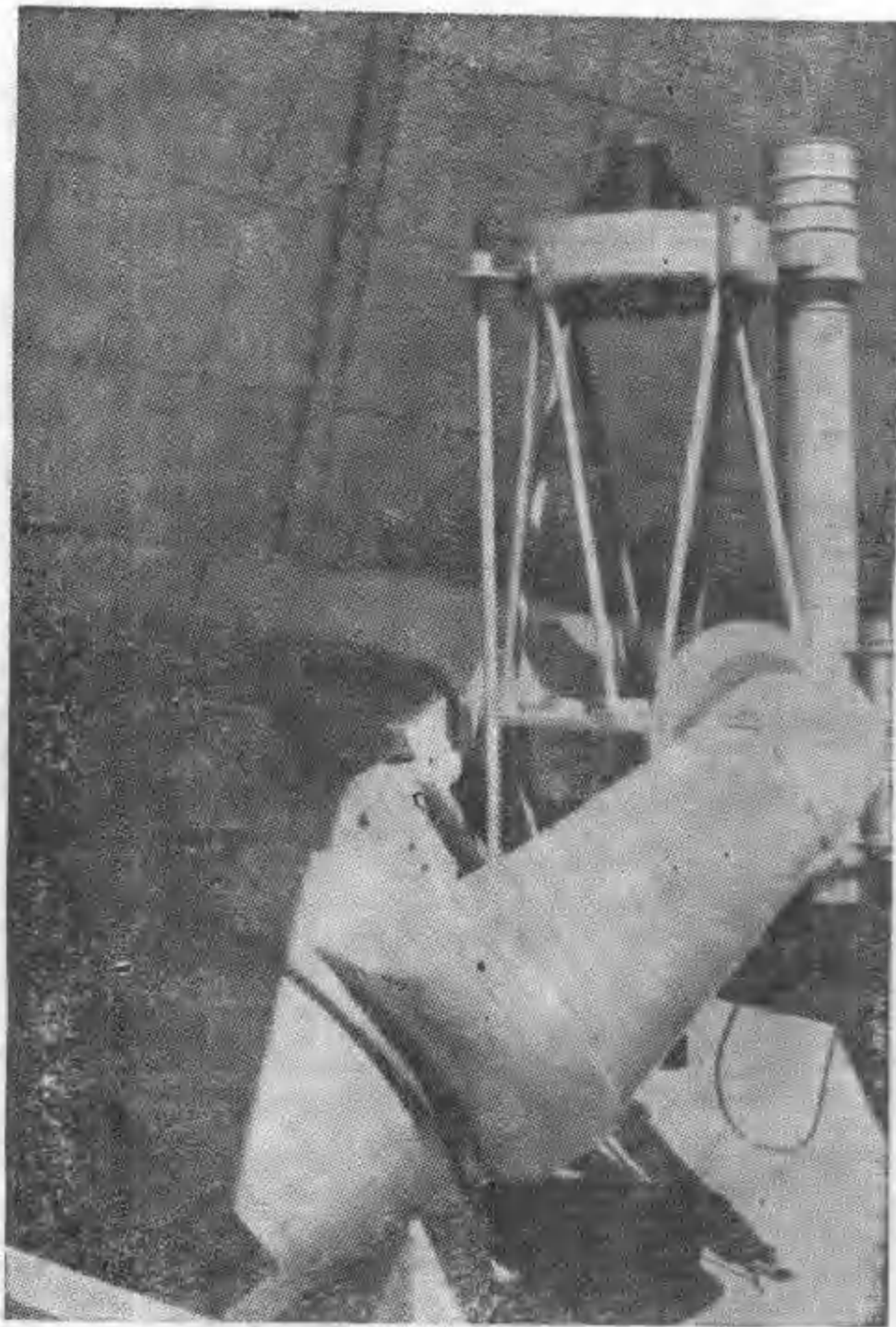


图 2-16 a 60 公分反光望远镜

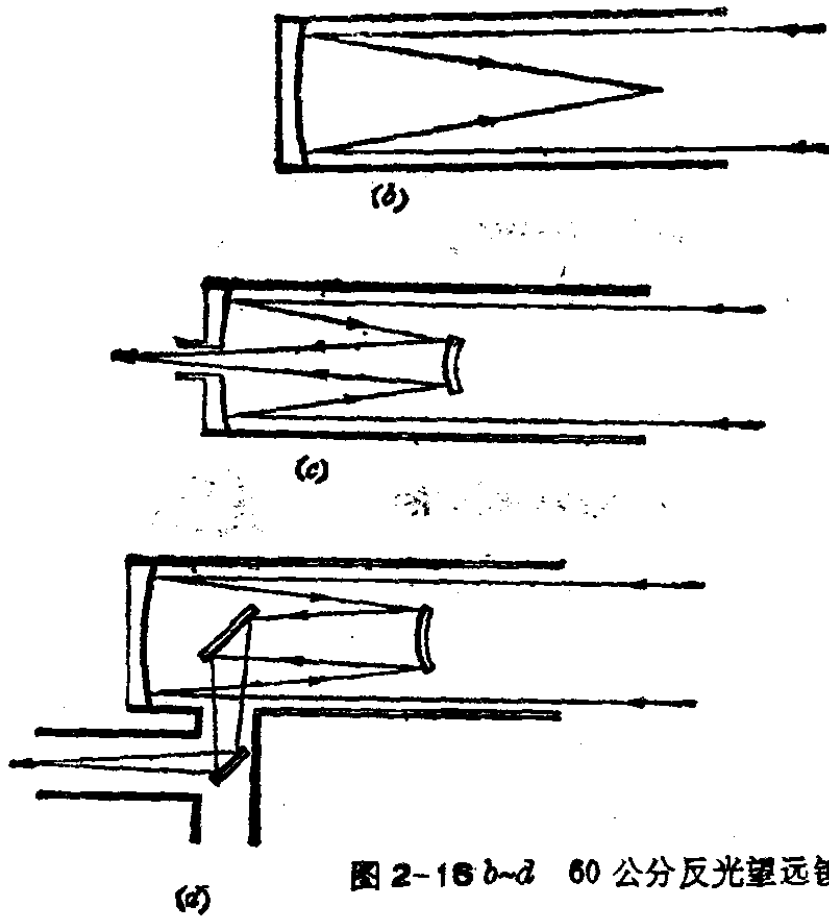


图 2-16 b-d 60 公分反光望远镜光路图

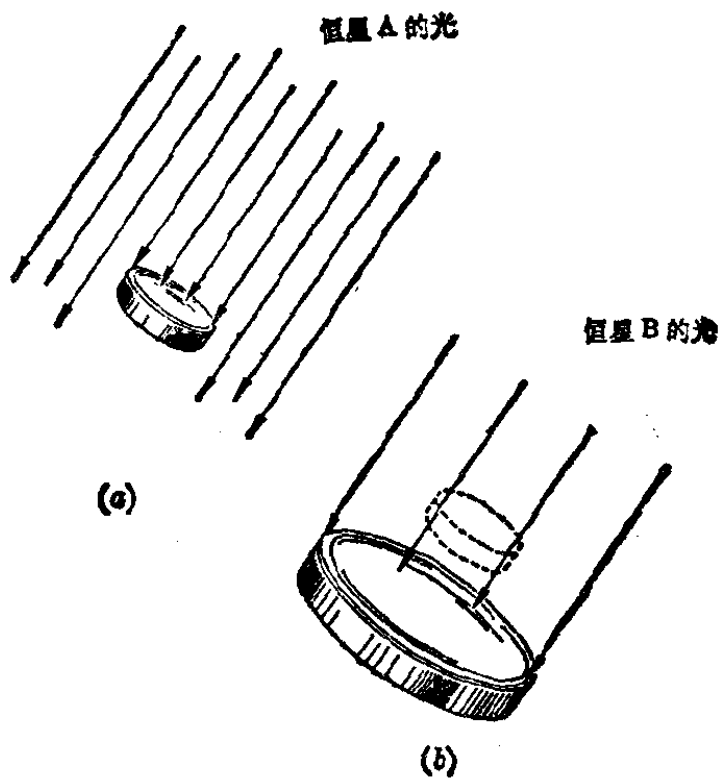


图 2-17 口径愈大接收光线愈多

底片却有一个累积的本领。它可以把一个小时里落在底片上的光累积起来。一秒钟或者一分钟拍不出来，把曝光时间增加到一个小时就有可能拍出来。有时候，需要观测的对象实在太暗了，几个小时的曝光还嫌不够，就拍上十几个小时，几十个小时，一个晚上不行，就连着拍几个晚上。在这段时间里，天文工作者还需要不断地监视着，让拍摄的对象始终落在底片的同一个位置上。这一切同普通的照相是一样的道理，只不过拍普通的风景照或人物照只要很短的一个瞬间，譬如1/100秒就行了，光线弱的，曝光的时间增加到1/50秒或者1/10秒，很少大到几秒的。

曝光时间一长，虽然拍到的星多了，可是，也带来了另外的不利因素。原来，在我们头上还有几百公里的大气。满天乌云，固然无法观测。就是万里无云，满天星斗，由于地球大气抖动，星星却是一闪一烁，同样不能观测。图2-18拍的是一颗恒星闪烁的照片。望远镜对准了这颗恒星后，固定不动。因为地球由西向东的自转，造成了恒星由东向西运动，在底片上得到的是一条线，而不是一个点象。图2-18上面一条是大气比较稳定的情况下拍的，拖出的是一条比较平滑的直线。抖动的大气，犹如一池吹皱的春水，星象的位置也随着忽上忽下，毫无规则，根本无法对准。不过动中有静，一个晚上，

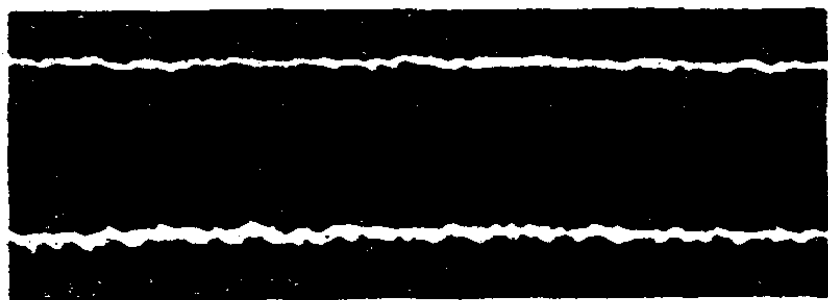


图2-18 大气抖动造成星象的闪烁，上面一条是在天气比较稳定时拍的，下面是在不稳定时拍的



大气总有那么一段时间是比较稳定的。所以天文工作者总希望拍摄的时间尽可能地缩短，以便抢在大气稳定的时候拍完一个对象，免得受到大气抖动的影响。在同样的条件下，望远镜的口径愈大，也就愈是有利。

我们常常碰到一些参观天文台的人，他们很想把月亮看得更加仔细一点，对放大 100 倍左右的月亮感到很不满足。当我们把一个放大 500 倍以上的月亮放到他们的眼前时，他们却茫然了。这是怎么回事啊？月亮在“燃烧”呢！当然，月亮并没有燃烧，也不是嫦娥在那里打扫弄得月球上的尘埃飞飞扬扬起来。搞鬼的还是那个抖动的大气。你要把月亮放得更大，可以。但是，大气的抖动也被同样地放得更大，以至原来还算清晰的边缘，终于被放大的抖动搞得上下翻滚，“燃烧”起来了。所以，不在很好的天气条件下——大气很稳定的条件下，天文工作者一般很少把观测的对象放大到 500 倍以上的。

放大 100 倍也好，放大 500 倍也罢，天上的恒星看出来却总是一个点。那你就不能把它放大成一个圆面，让人家瞧瞧它上面的景色吗？譬如，太阳上有一种现象，叫做黑子（详见第五章），小黑子有几千公里直径，略微大一点的上万公里。在地球上，用一架普通的小望远镜，口径 15 厘米左右的，很容易观测到这种现象。可是要看到恒星上这样大小的黑子就难了。恒星，同我们太阳一样，也是自己燃烧、发光的。大部分恒星同我们太阳也差不多大小，不过它们离开我们太远了。最近的一颗，到我们地球的距离大约有 40 万亿公里。在这颗恒星上如果有一个 10000 公里直径的黑子，在我们地球上看到这个黑子，相当于看距我们面前 20 厘米的地方一个 0.00000005 毫米的小圆点。把 1 毫米等分 1 万万份，这个小

圆点才占5个等分，要看出它的大小，只有借助于电子显微镜。同样，要看出40万亿公里外的恒星上一个1万公里的黑子，也只有借助于望远镜。这个望远镜物镜至少得有2700多米的口径，需要比430个运动场地还要大的镜子（这当然是最理想的情况，不考虑别的影响因素，譬如大气抖动的影响）！这么大的镜子是做不出来的。

虽然看不出恒星圆面，不过把望远镜的口径做大，还是很有好处的。让我们来看看图2-19吧！这张图里一共有九张照片，每张照片用一个望远镜拍。九张照片，九个望远镜，九种不同的物镜口径。把九张照片放在一起，从左到右，口径愈来愈大。如果不用望远镜，肉眼看起来是一颗星。用小望远镜一拍，发现是模糊的两颗星靠在一起。这就是图2-19左面第一张照片的情形。望远镜的口径慢慢增大，星象则慢慢变小，上面的一颗星慢慢变扁。口径继续增大，星象变得更小，上面那颗扁扁的恒星也终于露出了真象，原来也是两颗星。我们观测的实际上是一个三颗星组成的恒星系统。望远镜的口径不够大，就会误认为是两颗星组成的双星系统。而在肉眼看来，只是一颗星。可见，把望远镜的口径做得尽可能的大，是有利的。不过，大也有大的难处。口径愈大，制造上的困难，以及望远镜机械上的要求都会成倍增加；到了一定的大小，再继续增大口径，带来的实际收效已经不值得我们再去花那么大的功夫做更大的望远镜了。

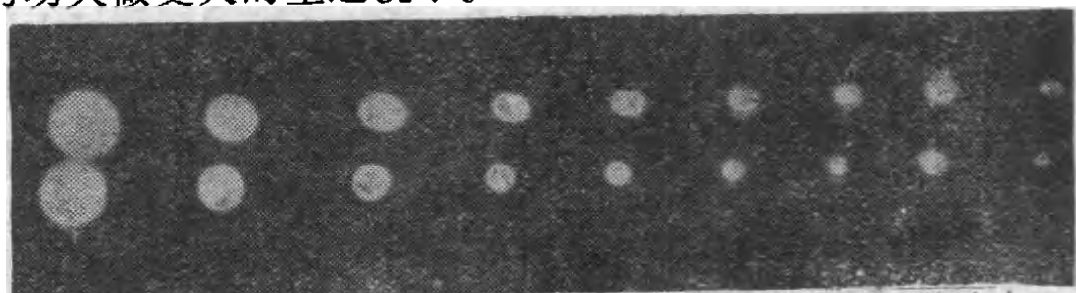


图 2-19 用不同口径的望远镜拍摄同一天体的象，口径愈大星象愈小

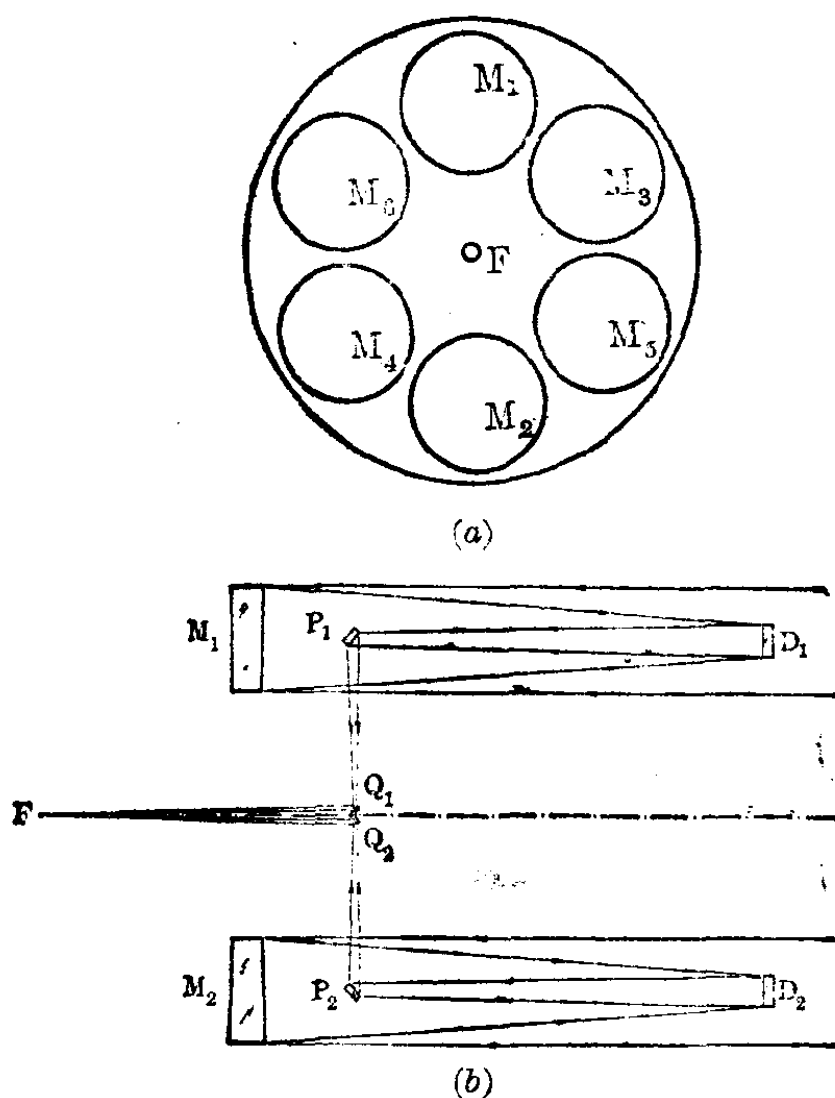


图 2-20 多反射面望远镜

大望远镜有它的难处，我们就叫小望远镜办大事。办法有两种。一种办法是用几个小的望远镜适当地配置起来，起到大望远镜的作用。图 2-20 是一种多反射面的望远镜。譬如，用六个小望远镜，每一个的物镜口径 1.8 米，六个望远镜适当配置，如图 2-20a 中六个望远镜  $M_1, M_2, \dots, M_6$ 。把六面物镜收集的光全部集中到一个地方（图 2-20a 中点  $F$ ）。图 2-20b 画出了其中两个，物镜  $M_1, M_2$  收集的光，经过反射镜  $D_1, D_2, P_1, P_2, Q_1, Q_2$ ，集中到点  $F$ 。这样的效果相当于一个 4.5 米口径的大望远镜。

另外一种办法是在物镜成象的地方，放上一种特殊的装置。这种装置能够把一些很暗很暗，望远镜模模糊糊看到的暗星的亮度增强十几倍到几十倍之多。也就是说，一个小望远镜用了这种装置，同一个比它大3~4倍甚至更大的望远镜相当。用来观测比较亮的对象，观测的时间可以缩短到几秒甚至更短。这种“像增强装置”的种类不少，电视方法也是其中的一种。

同望远镜制造几百年的历史相比，这方面的工作还只是一个开端。可是，由于这些新技术的应用而取得的成果，已经使我们看到了一个新时期的曙光。历史上，照相术的发明，曾经使天文学的研究进入了一个前所未有的时期。可以毫不夸张地说，把电视等光电方法应用在天文上，将要发生的作用会超过照相术的发明。事情总是这样，科学的状况总在更大的程度上依赖于技术的状况。

### 三、远方的使者

十九世纪中叶，有一个实证主义者，名叫孔德，他断言“恒星的化学组成是人类绝不能得到的知识”。这句话才说了不久，就有两个德国的科学工作者从光的实验事实中总结了几条规律。将这几条规律应用到太阳和恒星上去，很快就分析出了它们的化学成分。孔德的这句话也因此成了天文学发展史上常常提到的“名言”，成了被人嘲讽的话柄。

孔德的悲剧，是蔑视辩证法的结果。蔑视辩证法是不能不受到惩罚的。诚然，即使在今天，人们也不可能用手去触摸遥远的太阳或者恒星，更不可能把它们置于实验室内来研究。但是，它们既然有光辐射到我们地球上来，就总会带来某种信

息。否则,为什么星星的颜色有白、有红、有黄、有蓝,各不一样呢!另外,早在孔德之前,就有人做过一个实验,让一束太阳光通过一个棱镜,从棱镜出来的,不再是一束白光,而是象雨后的彩虹一般,红、橙、黄、绿、青、蓝、紫,一条色彩缤纷的光带,颜色从红到紫逐渐变化。我们把这条彩带叫做“光谱”。星星的颜色不同,太阳光又能分解成从红到紫的光谱。这说明光是具有某种规律可循的,是同发光光源的性质有关的。

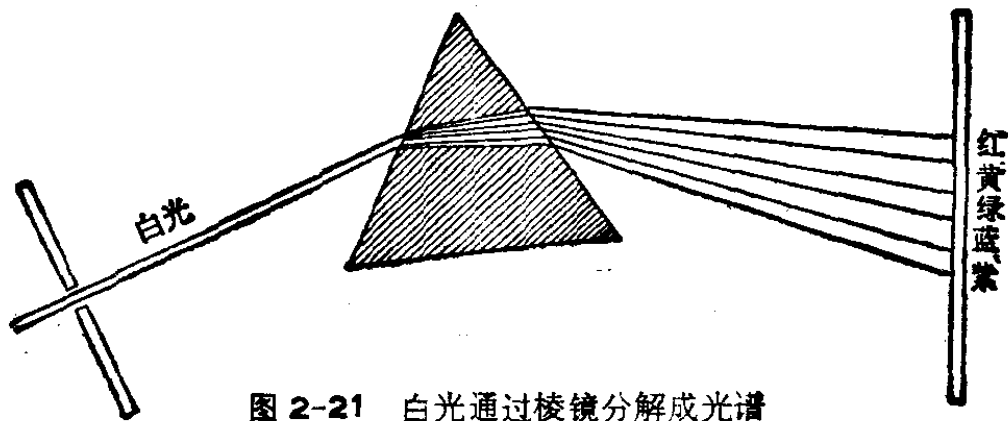


图 2-21 白光通过棱镜分解成光谱

在做了一系列的实验之后,两个德国人找到了三个重要的规律:

第一,在高压下的炽热的固体,或者液体,或者气体,发出连续光谱。就是说,产生从红到紫各种颜色都有的光(见彩色图版 1)。普通的钨丝灯是一个产生连续光谱的光源。

第二,在低压下的炽热气体,产生分立的亮线组成的光谱。气体不同,产生的亮线也不一样。在天文上,把这些亮线叫发射线。譬如,钠的蒸汽产生的亮线是一对紧靠在一起的黄线(见彩色图版 1)。所以,钠蒸汽看起来是黄色的。再譬如,低压下的氢气,产生的发射线是一系列分立的亮线(见图 2-22 上面一张)。图上用箭头标出的都是,最右端是红色的,依次向左,一直到紫色,间隔愈来愈密,排列很有规则。这组发射线是氢气特有的。

第三，当我们通过低压的气体来观测一个发出连续光谱的光源时，可以看到连续光谱上迭加了几条暗线，暗线的位置恰好是低压的炽热气体发出亮线的位置。在天文上把这条暗线叫做吸收线。譬如，通过钠蒸汽来看白炽灯，在连续光谱的黄色区域，就多了两条吸收线，它们的位置正是单独观测钠蒸汽时看到的发射线的位置（见彩色图版1）。再譬如，通过氢气来看一个发出连续光谱的光源，可以在连续光谱上看到一组吸收线，它们的位置、排列间隔，同低压氢气产生的亮线完全相同（图2-22下面一张）。

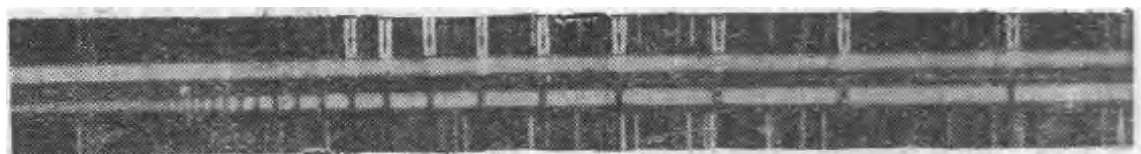


图2-22 两颗恒星的光谱。上面一张光谱中用箭头标出的氢线为发射线。下面一张光谱中氢为吸收线

不同的气体，有自己特有的发射线，或者吸收线。所以，这些发射线或者吸收线也就成了这些气体的“身份证”。你要知道它们是谁，那你就去查查它们的“身份证”，看看它们的发射线或者吸收线是什么样的，你也就知道它们是谁了。这种查“身份证”的办法，在天文上有一个专门的名词，叫做“光谱分析”。为了做这个工作，当然要在望远镜上加一个专门的设备，用来拍摄恒星或者太阳的光谱。这种设备叫做“摄谱仪”。图2-23是一种摄谱仪的示意图。望远镜的物镜把恒星的象成在狭缝上，经过狭缝的光线又通过透镜成为一束平行光，投射到棱镜上，然后用一个照相机拍摄从棱镜出来的光谱。图2-22就是用摄谱仪拍的两个恒星的光谱。这里，还需要补充两句，可不能以为分析恒星的化学成分真的象查户口，看“身份证”那么简单，一目了然的。事实上，太阳，或者恒星，

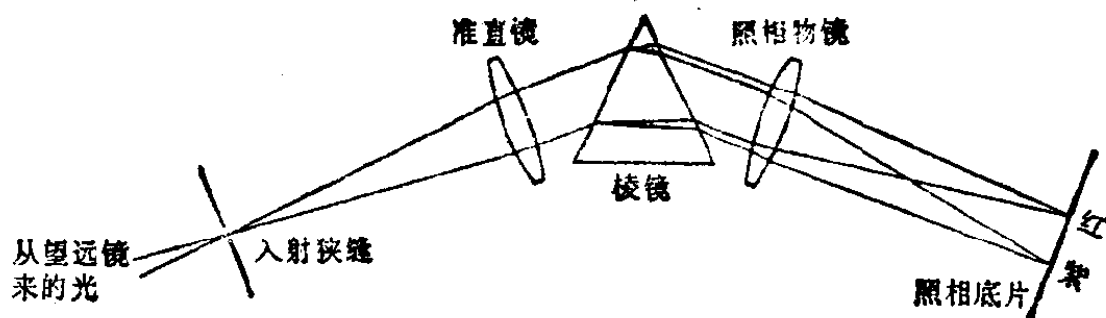


图 2-23 摄 谱 仪

并非一团氢气, 或者一团钠蒸汽, 也不是一二种二三种气体混合组成的。拿太阳来说, 到目前为止已经发现有六十多种元素。六十多种元素的气体, 各有自己的一组吸收线, 掺杂在一起。那就不象只有一对钠蒸汽的黄线那样, 一眼就可以看出来的。图 2-22 的两颗恒星光谱中, 也同样不是单纯的一组氢的发射线或者吸收线, 只不过它们在光谱中特别显眼, 特别强罢了。

同样的氢线, 在一颗恒星上是吸收线, 在另一颗恒星上却可能是发射线。在有的光谱中强一点, 在有的光谱中却弱一点。这当然是由两颗恒星的不同条件决定的。条件不同了, 表现的形式也变化了。所以, 只要我们搞清楚各种不同的元素是怎么产生发射线, 又是怎么产生吸收线的, 在各种温度、压力、密度下, 发射线(或吸收线)强度又是怎么变化, 等等, 也就不难从光谱中谱线的强弱去反推天体上的各种物理条件了。

我们现在知道, 构成各种元素原子的基本单位是质子、电子和中子。每个原子都有一个带正电的原子核, 核由质子和中子组成。核外是绕着核旋转的带负电的电子。元素不同, 质子和电子的数目也不一样。在正常状态下, 电子数总等于质子数, 正负电荷是平衡的。拿最简单的氢原子来说, 它的原子核是由一个带一个单位正电的质子构成的, 核外是带一个





以从一个轨道跳到任意的另一个轨道上，或者说从一个能级跳到任意的另一能级，这时就有能量的变化。如果它从高能级跳到低能级，能量减小了，减小的这部分能量会以光的形式辐射出来。光的频率同光的能量有关。能量愈大，频率愈高；能量愈小，频率愈低。同能级的改变相应的能量差如果记为  $\Delta E$ ，则发出的光的频率  $\nu$  为

$$\nu = \frac{\Delta E}{h}$$

$h$  为一个常数。从一个能级跳到另一个能级，能量差  $\Delta E$  一定，发出的光的频率也一定。这就产生了上面提到的亮线光谱。譬如，电子从第三个能级跳到第二个能级（如图 2-25a 中  $3 \rightarrow 2$ ），相应的能量差  $\Delta E_{3 \rightarrow 2}$ ，辐射的频率  $\nu_{3 \rightarrow 2}$  为  $4.57 \times 10^{14}$  /秒。这就是图 2-22 上面最右边一条发射线，红光的发射线。如果电子从第四个能级跳到第二个能级，辐射的频率  $\nu_{4 \rightarrow 2}$  为  $6.17 \times 10^{14}$  /秒，这是图 2-22 上面右边第二条发射线，蓝光的发射线。如果从很高很高的能级跳到第二个能级，辐射的频率  $\nu_{\infty \rightarrow 2}$  为  $8.228 \times 10^{14}$  /秒，这就是图 2-22 上面最左边的一条发射线，紫外光的发射线。

完全类似的，如果电子从低能级跳到高能级，能量增加了。增加的这部分能量只能从另外的一个能源去获得，就象由人把乒乓球拿上楼时人需要作功一样。既然从一个低能级跳到另一高能级的能量差  $\Delta E$  一定，所以它从能源取出的能量也是一定的，或者说  $\nu = \frac{\Delta E}{h}$  是一定的。这就产生了上面讲的吸收线光谱。譬如，从第二能级跳到第三能级（如图 2-25b 中  $2 \rightarrow 3$ ），它所需要的能量为  $\Delta E_{2 \rightarrow 3} = \Delta E_{3 \rightarrow 2}$ ，或者说，它所吸收的频率为  $\nu_{2 \rightarrow 3} = \frac{\Delta E_{2 \rightarrow 3}}{h} = \frac{\Delta E_{3 \rightarrow 2}}{h} = \nu_{3 \rightarrow 2}$ 。同电子从第三

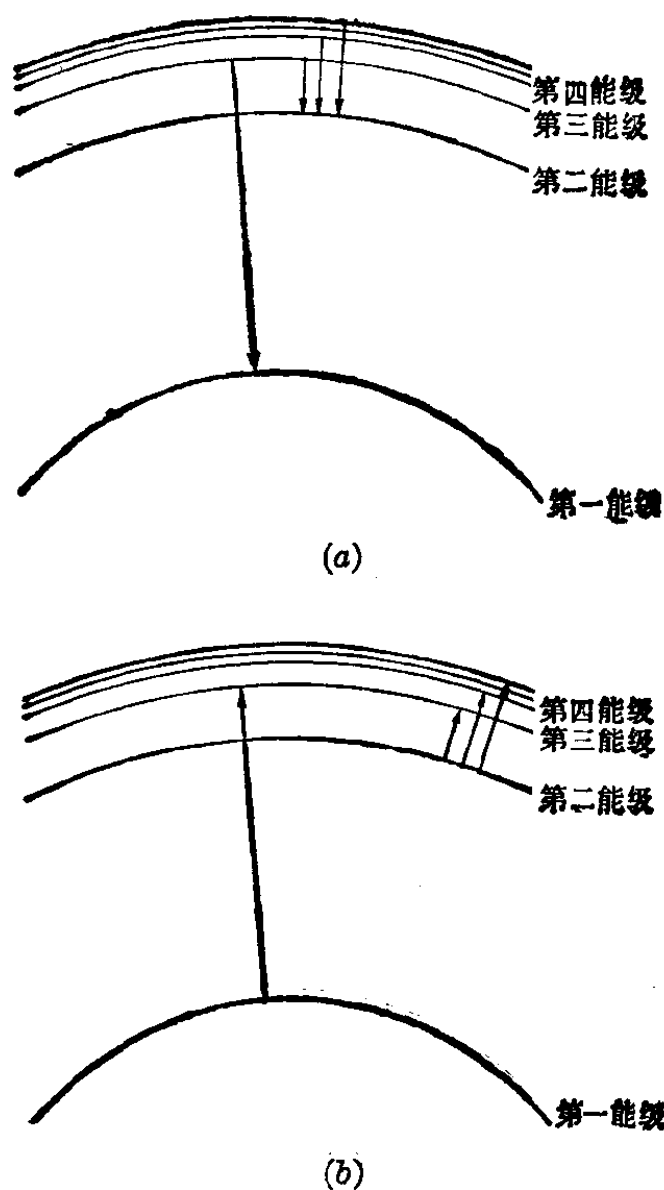


图 2-25 电子在能级间跃迁产生发射线(a)或吸收线(b)

能级跳到第二能级产生的发射线频率完全一样。其余的可以类推。图 2-22b 的吸收线光谱就是这样产生的。

如果电子吸收的能量足够大，就能摆脱原子核对它的束缚，成为一个自由的电子。不过，自由电子很容易被质子俘获，又回到绕质子旋转的束缚状态。这个时候的能量差值  $\Delta E$  是某一种任意值，所以辐射的光的频率也可以是某一种任意值，或者说产生连续光谱。

氢原子的情况是这样，其他的元素也是同样的道理，不过

它们的核外电子数不同于氢原子,也各不相同,能级的分布也是一种元素一个样。所以,电子在能级间跳跃时,产生的发射线(或吸收线),各种元素不同,形成了各自独特的一组谱线。象钠的特征线是一对黄线,频率分别是  $5.093 \times 10^{14}$ /秒和  $5.089 \times 10^{14}$ /秒。图 2-26 给出了几种元素的特征线。

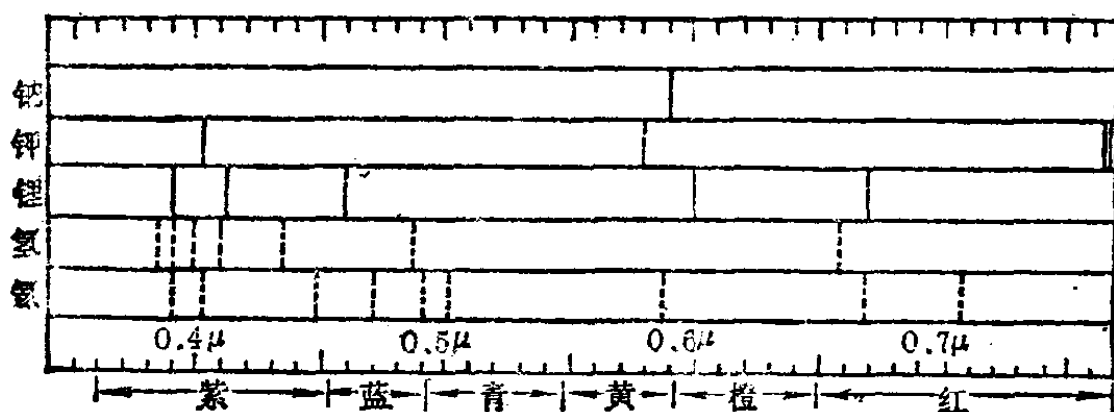
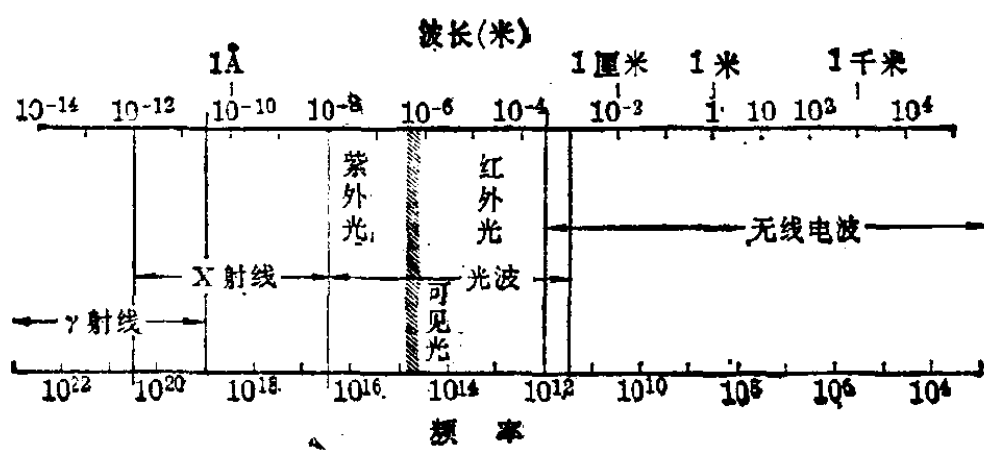


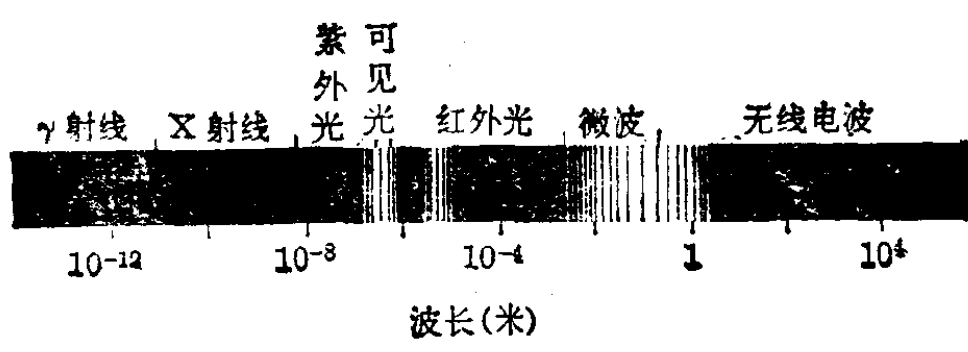
图 2-26 几种元素的特征谱线

天体发出的辐射,频率是多种多样的。上面给出的每秒  $4 \times 10^{14} \sim 8 \times 10^{14}$  的频率,是我们眼睛可以看见的范围,从红光到紫光。也有低到每秒  $10^6$  左右的,甚至比这还低的。也有高到每秒  $10^{18}$  左右,甚至比这还高的。 $10^6$ /秒是通常广播电台使用的频率, $10^{18}$ /秒是 X 光透视使用的频率。图 2-27 给出了天体辐射的频率范围,从  $10^3 \sim 10^{23}$ /秒。图上还使用了另外一种常用的表示方法,即波长。波长  $\lambda$  同频率  $\nu$  有一个简单的关系:  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 。 $c$  是光速。用波长来表示的话,人眼可见的光在  $4000 \sim 7000$  埃左右。一个埃( $\text{\AA}$ )等于  $10^{-8}$  厘米。X 光的波长大约是  $1 \sim 100 \text{\AA}$ 。通常的无线电电波的波长在  $10^2$  米左右,天体辐射的波长范围从  $10^5 \sim 10^{-14}$  米。

由此可见,不论是可见光,还是 X 光,或者无线电波,统



(a) 电磁波谱



(b) 大气窗户

图 2-27

统是一种辐射。拿一个专门的名词来说，叫做“电磁辐射”。只不过各种辐射的频率不同，波长长短不一，所以我们的观测工具也就有不同的种类。第二节介绍的望远镜都是用来观测可见光的，叫做光学望远镜。用来接收天体的无线电辐射的望远镜，叫做射电望远镜。它的物镜实际上是用金属板或金属网做成的接受天线。图 2-28 是我国北京天文台的一个由 16 面天线组成的射电望远镜。

天体的辐射尽管范围广宽，可是我们地球的大气却象一堵墙一样，上面开了三个小小的窗户，只容许三个范围很窄的辐射进入地球。一个在光波范围， $3000 \sim 10000 \text{ \AA}$  左右；一个在红外波段；一个在无线电波段。其他的辐射全部被拒之地球外面，不得入内。图 2-27b 上我们用亮带标出的就是从这



图 2-28 16 面天线组成的射电望远镜

三个窗户透进来的辐射。同整个波段比,实在可怜得很。地球的大气,挡住了对生物有害的辐射,使地球上生命的发展才有可能;不过它也阻止了宇宙信息的传入,挡住了人们探索宇宙视野。近几年来发展得很快的大气外观测,就是说把望远镜等观测仪器送到地球大气的外面去进行观测,正是人类在认识宇宙的过程中同地球大气斗争的结果。在下面相应的章节,我们将介绍一些这方面的成果。

上面,我们简单地介绍了遥远的恒星是怎样传递它的信息的。作为例子,我们给了两张恒星的光谱,即图 2-22。你是否注意,在两条光谱的旁边,还有几组短线,一直没有说明。这几组短线是用作标准的比较光谱,通常是铁的一组光谱,它们的波长已经在实验室里精确地测定过了。拿它们同恒星光谱的发射线或吸收线比较,可以定出恒星光谱线的波长。譬如,氢的一组吸收线的波长是  $6563\text{\AA}$ 、 $4861\text{\AA}$ 、 $4340\text{\AA}$ ,等等。但是,实际上从恒星光谱上测出来的一组氢吸收线的波长,都不正好是这个数值,或者都比它们大一点,或者都比

它们小一点。这是什么原因呢？

大家都知道这样的一个事实，一列火车，汽笛长鸣，加速地从我们身边呼啸而过。当火车朝我们开来时，汽笛声愈来愈尖，一旦擦身而过，又迅速地低沉下去。火车一停，汽笛声也随着稳定下来。这说明声源和观测者只要有相对的运动，声波的频率就会发生变化。在互相接近的情况下，频率变高；互相分离时，频率变低。这种现象叫多普勒效应。我们观测到恒星光谱的谱线同实验室的比较，都有一个位移，也是同样的道理。当恒星离开我们，光的频率变低，绿光向红光方向移动。反过来，恒星朝着我们运动，光的频率变高，红光向绿光方向移动。这么一说，也许你会因此而联想，如果汽车开得很快，朝十字路口开的时候，交通民警开的红灯，在司机看来，变成了绿灯，就要撞车了。

从理论上来说，红灯变绿灯是可能的，但在实际上是无法实现的。即使轿车以每小时 200 公里的速度朝着红灯开，红光的波长也只变化了  $0.001\text{\AA}$  左右。再扩大几千倍，轿车以每秒 300 公里的速度飞驰，也不过向绿光方向移动了几个埃，所见的还是红光。真的要使红灯变绿灯，红光移动的数量至少要达到 1500 埃，汽车的速度要大到每秒 60000 公里左右！这怎么能办到呢？！发射人造卫星的火箭，速度算得快了，还只有每秒 8 公里的速度。不过，在宇宙中，我们倒发现有这样一些天体，它们相对我们的速度有大到每秒几万公里，甚至每秒十几万公里的。但是，它们不是朝着我们来，而是离我们远去。所以，在它们看来，不是红灯变绿灯，而是绿灯变红灯。这些天体还在不停地朝外飞奔，没有一点“停车”的意思。

天体的运动，永无止息。但是，并非所有的运动都能在光谱上反映出来。如果象图 2-29a 表示的，天体运动方向同我



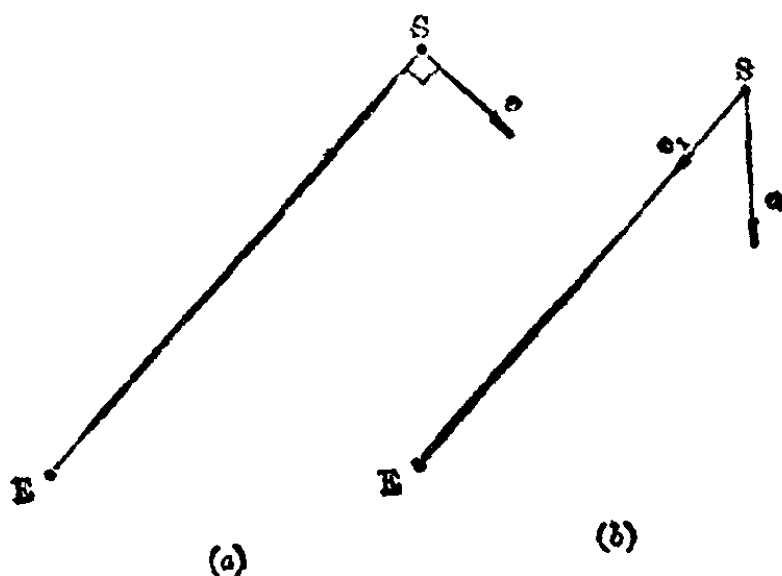


图 2-29 天体的视向速度

们观测的方向垂直,那么这个天体相对我们的运动速度是零。在光谱上就看不到谱线的位移。只有在图 2-29b 的情况下,天体才有一个相对的运动  $v_1$ ,谱线才会相应地产生位移。如果用  $\lambda_0$  表示实验室测定的某一谱线的波长,在天体的光谱中测得同一条谱线的波长为  $\lambda$ ,谱线波长的改变量  $(\lambda - \lambda_0)$  同天体的相对运动速度  $v_1$  成正比。

$$(\lambda - \lambda_0) = \frac{v_1}{c} \lambda_0$$

式中  $c$  为光速。所以从光谱上看到谱线位移,表示的只是天体在观测方向 ( $ES$  方向) 上的运动速度。天文上叫“视向速度”。

在恒星世界里,存在这样一种恒星系统,这个系统有两颗恒星,它们彼此挨得很近,别说用肉眼,就是用世界上最大的望远镜也看不出来。但是一拍它们的光谱,就发现一个比较特殊的地方。有些谱线一会儿分成两条,一会儿又变成一条,很有规则。图 2-30 就是其中的一个,大熊座  $\zeta$  星(中名开阳)在不同时期拍的九张光谱。图中箭头标出的谱线,有时候是单线,有时候是双线。双线分裂的距离也各不相同。这种不

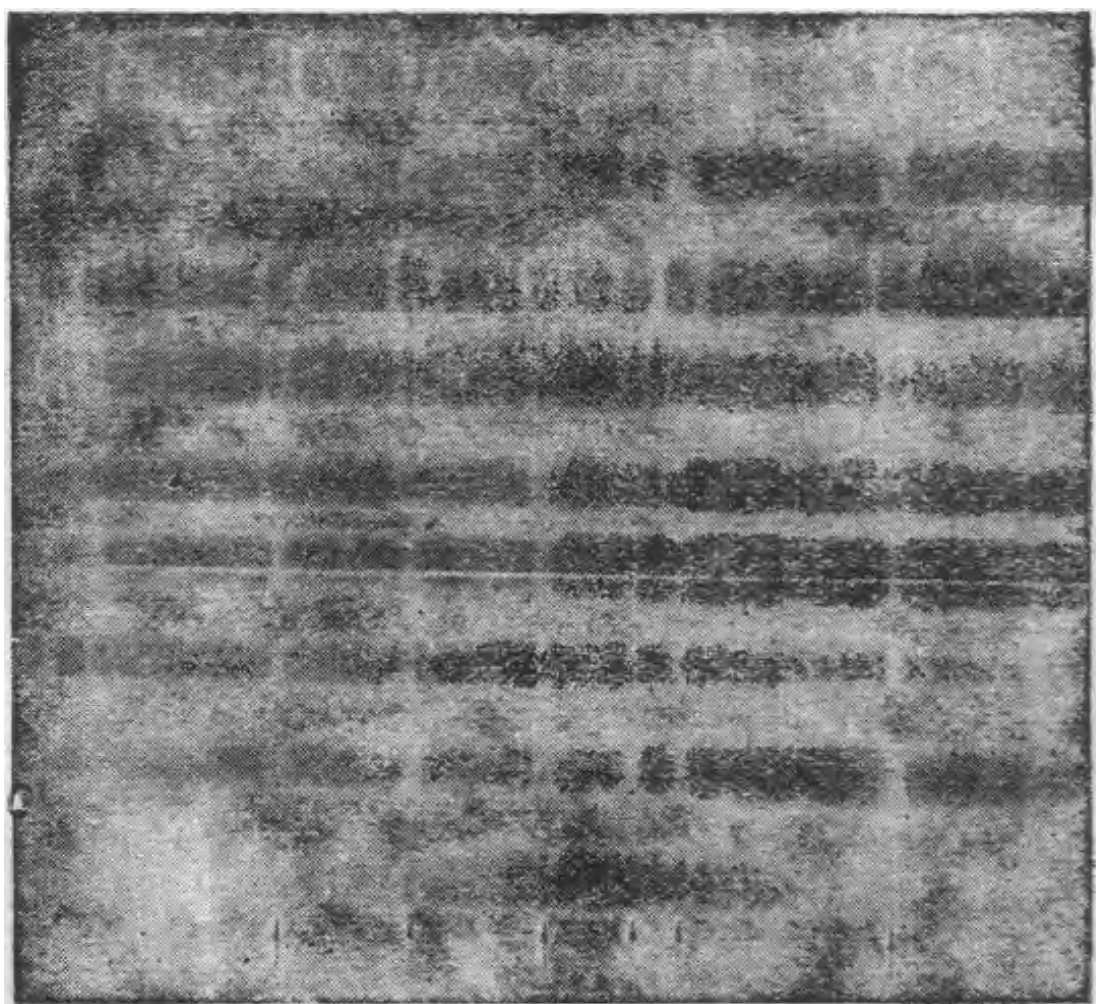


图 2-30 分光双星大熊座 $\epsilon$ 星(开阳)的光谱

同于一般光谱的现象,表明我们观测的不是一颗星,而是两颗星。如图 2-31a, 恒星  $S_1$  朝着观测者运动, 在光谱上我们应该看到谱线向紫的方向移动。恒星  $S_2$  正好相反, 远离观测者, 在光谱上应该看到谱线向红的方向移动。图 2-30 中第三条光谱, 大概就是这样的情况。当恒星  $S_1$ 、 $S_2$  在轨道上运动到如图 2-31b 时, 恒星  $S_1$ 、 $S_2$  正好在视线方向上, 它们的运动方向, 一个向右, 一个向左, 都同观测的方向垂直, 视向速度为零, 所以谱线没有红移。这是图 2-30 中第七条光谱的情形。在恒星  $S_1$  或  $S_2$  从  $a$  位置向  $b$  位置运动的过程中, 它们的视向速度逐渐减小, 谱线位移的量也逐渐减小。图 2-30 中从第

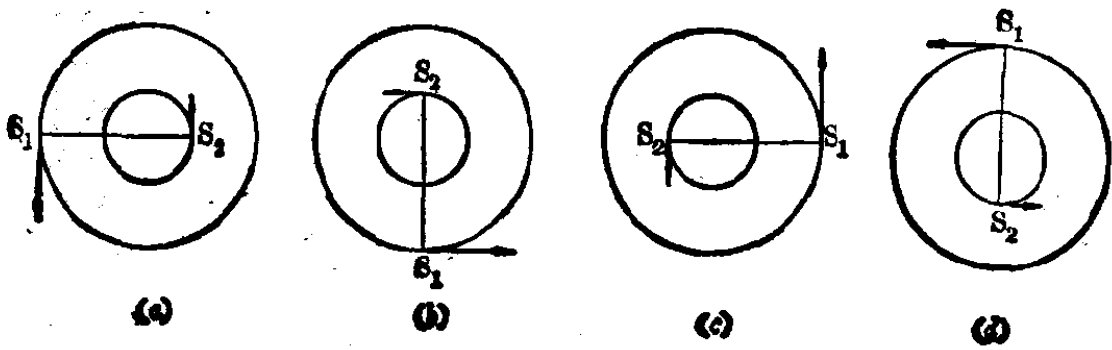


图 2-31 分光双星光谱解释

三条光谱到第七条光谱正是反映了这种位移量逐渐减小的情况。图 2-31c 和图 2-31d 的情况可以类似地分析。两颗恒星周而复始地互相绕转，谱线也就周期地重合、分裂。这样的双星系统，只有用光谱的方法才能发现，所以就把它叫做“分光双星”。

上面我们说了光谱分析可以了解天体的化学成分、物理条件、天体的视向速度以及发现双星系统。在下面几章里，我们还要介绍“远方的使者”——光——给我们送来更多的信息。可以看到，人们对宇宙的认识，比起孔德所在的时代，已经是无可比拟的深刻了。但是，那些等待我们去认识的，以及我们还远没有揭示的，比起已经认识的来说，更是无可比拟的广阔。一百多年前的孔德早就化为粪土，可是他的幽灵却至今还在一些人的头脑里作怪。斗争正未有穷期，科学的道路也总是不会平坦的。

中  
乙  
丙

# 第三章 地 球



翻开本章的第一页,映入读者眼帘的是一个圆形的星球,上空浓云密布,下面海陆隐现。它就是我们脚下的地球的写真,是人造卫星从太空拍摄的地球的照片。它载着我们同天上的其他行星一起,遨游在广漠无垠的太空。

地球以其巨大的尺度和人类相比,确乎是一个庞然大物!你想,地球的平均半径<sup>①</sup>有6371公里,赤道一周的长度也就有4万公里,不难算出它的体积达10830亿立方公里,质量为6亿亿亿公斤。人类生活在一个多么广阔的天地里呵!人们站在地上,眼力所及,仅是地表极为微小的一角。一个身高1.7米的中等个儿,站在平坦的原野上,极目远眺,他所见“遥远的”大地尽头,离他不过5公里。“欲穷千里目,更上一层楼”,即使站在高达210米的上海电视发射塔的顶端,也只不过望到50公多里之远的地方。而这样的距离同地球半径相比,还是微不足道。所以,地面的弯曲实在不能用肉眼所能察觉。这就是为什么我们总感到地是平的,而且向远处扩展。我们日常所用“地平面”、“地平线”的称呼即由此而来。根据这一理由,我们就用与地球表面某一点相切的平面,来表示该处的地平面。

地球在永不停息地运动着,所以不会掉到什么地方去。要是地球在它的运动进程中一旦“刹车”,强大的太阳引力将把它拉向太阳。恩格斯说过:“物质没有运动是不可想象的。”运动是地球存在的方式,要完全认识地球,必须深入了解它的运动。

---

本章题头图:天空中的地球。

① 地球不是滚圆的球,赤道部分略微突出,两极部分略为扁平,赤道半径为6378公里,两极半径为6357公里。

## 一、斗转星移

长期以来，人们不是靠飞出地球，来到天上，从旁观察地球的行踪，而是脚踏实“地”，深入细致地观测天体的运行，来了解地球的运动。我们仰望天空，可见日月星辰在天空巡游不止；它们的运行现象，给了我们以考察地球运动的依据。这好比我们坐在一艘起动、行进和停靠都十分平稳的船里，观望舱外各种景物相对于我们的行止进退，就可以了解这艘船的运行情况一样。

让我们对既广阔又绚烂的天空作一番巡视！

昂首望天，第一个印象就是“天似穹庐，笼盖四野”。好个穹庐，恰似半个硕大无朋的倒覆圆球，把陆海山川、城市乡村，统统笼罩在内！怪不得古人根据这样的直觉印象，以为真是“天圆如张盖”。

为什么我们会有这样的感觉呢？这是因为人类的眼睛对于遥远的日月星辰，无法辨别它们在距离上的差别。例如月亮离开地球约三十八万公里，而太阳与地球的距离是这一距离的四百倍。但是，我们看起来，只觉得太阳和月亮一样遥远，分不出距离还有远近。我们还知道，恒星到我们的距离，比日地距离更要遥远得无可比拟，彼此也相差悬殊。可是在我们的直接感觉上，月亮、太阳以及无数遥远的恒星，似乎都一样远近。这就是说，不同的天体和观测者之间的关系，就象球面上不同的点和球心的关系一样。于是，我们直接看来，一切天体连同它们所在的天空，都成为在同一个球面上了。此外，我们都有这个经验：在我们行进的时候，太阳或月亮老是“跟”在我们身边一同前进，恰如我们不论走到那里，总是处在球

心。这是因为我们的位移，比起到天体的距离来小得微不足道。对于恒星来说，即使我们跟着地球公转，从轨道的一端到另一端，这样大的位移也可忽略不计，因为连最近的恒星，离开我们比这个距离也要大上 13 万 7 千倍。

事实上天上并没有这样一个球面。不过，在天文学上利用我们对天空直观的视觉印象，保留这个假想的圆球面，作为确定天体在天空直观的分布和运行的辅助工具。这个圆球面在天文学上叫做天球，并认为观测者总是位于天球球心。天球不单单是我们头顶上的半个圆球，还包括隐没在地平线下的另外半个球面。在天球面上确定一些假想的点和线，就可以建立起一定的球面坐标系，利用它们来确定天体的位置。这就象地球表面的经纬线一样；有了经纬线，一个地方的地理位置就可以确定了。在天球上直接观测得到的天体位置叫做视位置，直接看到的天体运动叫做视运动。视，表示直观的意思，以别于天体在宇宙空间的真位置和真运动。

当你熟悉了星空以后，就不再对点点繁星感到扑朔迷离了。璀璨的群星组成一个个星座，保持着似乎“永恒不变”的图形。一会儿，你就会感到星座在我们眼前缓缓移动，“猎户”驱赶着“金牛”，那一对孪生兄弟（双子座）又尾随着“猎户”……，它们行进的步伐整齐而庄重！一些星座渐渐地向西方天际沉落；而在东方地平线上，又有新的星座渐次升起。环视整个天空，只有北极星端居天球之巅，纹丝不动。在北极星附近的一个区域内，恒星环绕北极星反时针方向转着圆圈，但永远不会下沉到地平线下去；这些恒星叫做拱极星。例如，在我国北方看来，北斗星有时在地平线上不高的地方，有时则升得很高，接近头顶；“斗柄”有时朝上，有时朝下。北斗星的位置随时变动，不过总是在北极星周围打转转（图 3-1）。如果我们用照相机一



直对着北极星和它邻近的星星拍照，只要把快门开上几个钟头，就可得到如图 3-2 那样的一张照片。照片上有许多光亮的圆弧，环绕着一个相同的圆心。在距离那圆心非常近的地方，有一个比较光亮的小圆弧，那是北极星的光照出来的；其余那些光亮的圆弧，是拱极星照出来的。

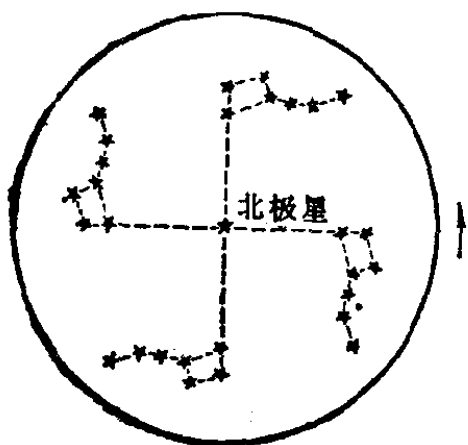


图 3-1 北斗星在北极星周围运转



图 3-2 拱极星的周日视运动轨迹(在曝光过程中正好有一颗流星飞入视场也被拍下)

实际上，不仅拱极星，整个布满恒星的天空，象一个整体似地在转动。看起来，好象有一根无形的轴线穿过天球的中心和北极星，整个天球就绕着这根轴线在旋转；点点恒星又似乎是镶嵌在天球壁上的晶莹宝石，随着天球一起旋转，在一天的时间里转过一周。所以，人们形象地用“斗转星移”来形容时光的流逝。恒星的这种运动现象叫做周日视运动。

天球绕着作周日旋转的这根轴线叫做天轴；天轴在天球上有两个端点，分别叫做北天极和南天极。两个天极在天球上并没有标志。不过，当前北极星很靠近北天极，与后者相距

不到 $1^\circ$ ，所以看起来恒星象是绕着北极星在旋转。在南极的上空，虽然没有一颗“南极星”可供人们观察，但南半球的居民也可以看到南极天空邻近的星星，都环绕天空的一个中心在旋转。

图 3-4 清楚表明，每一颗恒星周日视运动的轨迹是一个圆周。越近北天极的恒星，这个圆周越小；随着与北天极距离的增大，圆周越来越大。如果有一颗恒星从正东方升起，在正西方下落，它描划的圆周达最大。再往南去，恒星描划的圆周又逐渐变小。这个最大的圆周叫做天赤道。天赤道是天球上的一个大圆<sup>①</sup>，它把天球分成了相等的两半。

我们作了天象观察，如果不将我们所得的感觉材料加以改造制作，不把感性认识上升到理性认识，那么我们就得出这样的结论：我们的地球不动，所有的天体都环绕地球转动，恰如哥白尼以前人们所信奉的那样。这就不可避免地陷入唯心主义的泥坑。

实质上，天球的周日旋转是地球自转的反映。

随着地球自转，地面上的一切物体几乎都参与速度巨大的旋转运动。古人不能理解这一点，他们以为如果地球在我们脚下自西向东旋转，那么只要我们能够离开地面，在空中停留一会再落下，便将落到出发点以西的某一点上。这似乎提供了一个最轻便易行的旅行方法。托勒密曾依据类似的“理由”，“振振有词”地为他的地心说辩解。他认为：如果地球以很快的速度向东转动，就总是跑在抛向天空之物的前面，因而这一切东西看来都会被甩在地球后面而向西移。由此企图想使人觉得主张地动的人可笑。现在稍有常识的人都能答复这

<sup>①</sup> 任意一个球，过球心作一平面与球面相交，截得的圆叫做球面上的大圆。大圆把球面分成相等的两半。地平线延伸，在天球上也截得一个大圆。

个问题：由于惯性，地面上包括大气里的一切物体都参与地球的自转运动。

托勒密的陈腐“奇文”，早已进了历史博物馆。不过，他的“理论”究竟怎样地荒诞不经，也许不是人人都知道。

如果真是整个太空绕地球旋转，那么将会发生什么现象呢？

离地球最近的天体是月亮，月地距离是38万4千公里。所以在24小时内，月亮要走过长241万公里的圆周，亦即它的速度将是28公里/秒。这似乎是一个不必大惊小怪的速度。

那末来看太阳吧。日地距离约1亿5千万公里。在24小时内，太阳要围绕地球走过长9亿4千万公里的圆周，那么它的速度便是10900公里/秒！太阳，这个比地球大130万倍的天体，能以这么巨大的速度绕小小的地球飞行，真是不可思议！

再看行星。现在知道离我们最远的行星是冥王星，在地球不动的假定下，它在24小时内就应运行371亿公里的圆周，速度就是43万公里/秒！

还有恒星。距离我们最近的恒星是比邻星，相距我们40万亿公里。如果这颗星在24小时之内环绕地球一周，它便走过251万亿公里长的圆周，它的速度应是30亿公里/秒，竟是光速的一万倍！可是这还只是最近的恒星。更不谈无比遥远的河外星系了。

这个假说，要“强迫”宇宙间无数个相距十分遥远、互不相关的天体都不约而同地环绕微不足道的地球在24小时里转过一周，岂非太荒谬绝伦了吗！事实上，只要承认整个宇宙不作这样的旋转运动，而是地球绕着自己的轴在旋转，那就合情合理了。

地球自转时,绕着一根通过它本身的轴线,轴线北端总是指向北极星附近,方向是自西向东。这根轴线叫做地轴或自

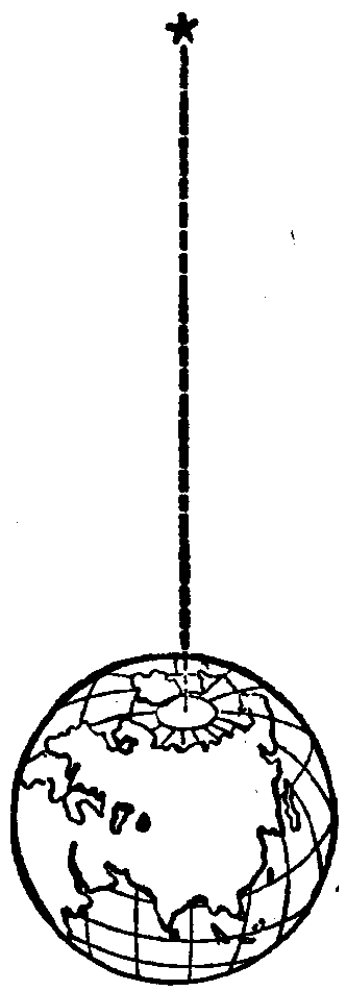


图3-3 地球北极几乎正对北极星

转轴;自转轴通过地球上的北极和南极;地球上与南、北两极等距离的线,就是赤道。因此,我们就很容易地理解到,天轴就是地轴的延长线,天球赤道正是地球赤道平面扩大到天球上截出的大圆。

如果我们组成一个极地探险队来到北极,将可以看到北极星正在我们的头顶上,北斗七星高挂在头顶上空。天空所有的恒星循着反时针方向画着水平的圆周作周日视运动。因此,这些星星既不升起,也不落下,永远保持在同一个高度(图3-4)。而且在北极只能看到天球北半部的星星;而天球南半部的星星永远隐匿在地平线下。在南极情况相反,天空所有的恒星循着水平的圆周,顺时针方向作周日视运动,在那里只能看到天球南半部的星星。

赤道地区的居民,看到的又是另外一番奇特的天空景象。在那里,北极星总是落在地平线上,实在难以辨认。如果能见到北斗星,也是贴在北边的地面附近。天空所有的恒星循着与地平面垂直的圆周,自东向西作周日视运动(图3-5),所以人们看来星星在直上直下地移动。同一天晚上,既可以看到天球北半部的星星,又可看到天球南半部的星星;一年里随着星空形象的改变,可以看到全天所有的恒星。

至于北极和赤道之间居民所见的星空形象,我们已经观

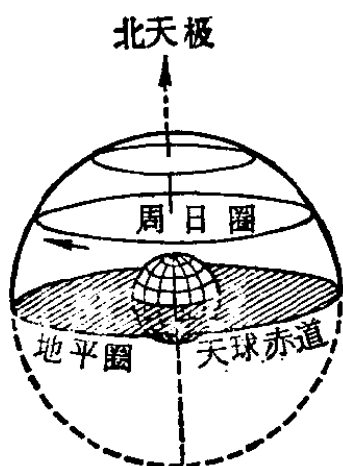


图 3-4 在地球北极所见的  
恒星周日视运动

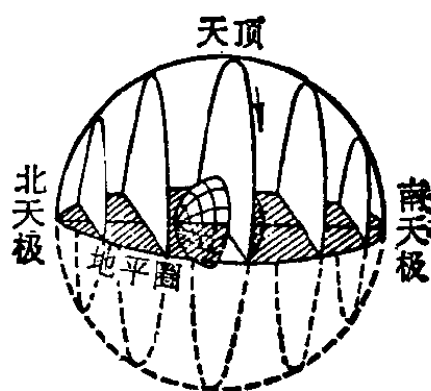


图 3-5 在地球赤道所见的  
恒星周日视运动

察过了。北极星在北边天空既不在头顶，也不在地平线上。在它的周围，有拱极星绕转，不会落到地平线下去。除此以外的恒星，循着与地平面倾斜的圆周，自东向西作周日视运动(图 3-6)。在那里，一年四季不能看到整个天球上的所有恒星，天

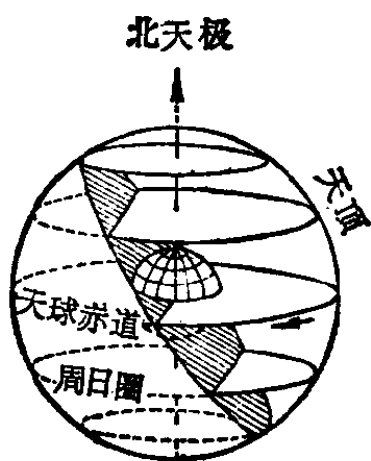


图 3-6 在地球北极和赤道间所见恒星周日视运动

球南半部的一部分星星永远不会从地平线上升起来。愈近北极，看不到的这部分星星就愈多；愈近赤道，看不到的这部分星星就愈少。一直住在北京的人，如果来到海南岛，他乍一看到这里的星空，将会感到十分新鲜，天上冒出了一些素不相识的恒星。例如光辉熠熠的老人星，在北京是看不到的，到了这里，冬季它将十分明亮地悬挂在南方的天空。至于在南半球，也有类似的情况，例如那里的居民会不认识著名的北斗七星。这里就不再多讲了。

明白了以上的情况，我们可以观测北极星，来测定我们所在地的近似的地理纬度。在地球北极，地理纬度是  $90^\circ$ ，北极星

在地球赤道，地理纬度是  $0^\circ$ ，北极星

是在头顶正上方，也就是它对于地平面的仰角正是  $90^\circ$ 。在地球赤道上，地理纬度是  $0^\circ$ ，北极星正在地平面上，它的仰角为零。那么在其他地方呢？我们只要测量一下北极星对于地平面的仰角，也就得到了当地的近似纬度值。如果你有兴趣，可以作一次这样的测量。在测量之前，要自己动手做一具简易的测量仪器。取一块半圆形的木板或厚纸板，用量角器在它的边缘画上角度的分划，从  $0^\circ$  到  $180^\circ$ 。再用一条长铁皮，一端弯成直角，在弯起的部分剪一个凹角，作为观测孔，离弯起部分不远开一条缝；铁皮的另一端钉在圆板中心。这样铁皮可以绕圆心在圆板上旋转，就制成了一具简单的测角仪器（图 3-7）。观测北极星的时候，使圆板平面保持南北方向， $180^\circ$  一点对向北方， $0^\circ$  到  $180^\circ$  线保持水平。眼睛从观测孔看去，使视线通过圆心的钉子尖端与北极星连成一条直线，好象射击时的瞄准一般。这时从铁皮的缝中读出的角度数，就是北极星对于地平面的仰角。最好你再从地图上查出你所在地的地理纬度，与你自己所测的值核对一下。这一具测角器也可用来测量天空其他天体或其他点之间的角度，以后还要用到。

地球自转造成了昼夜交替。地球是自西向东旋转的，因此，地球上一东一西的两个地方看到日出，不是在同一瞬间

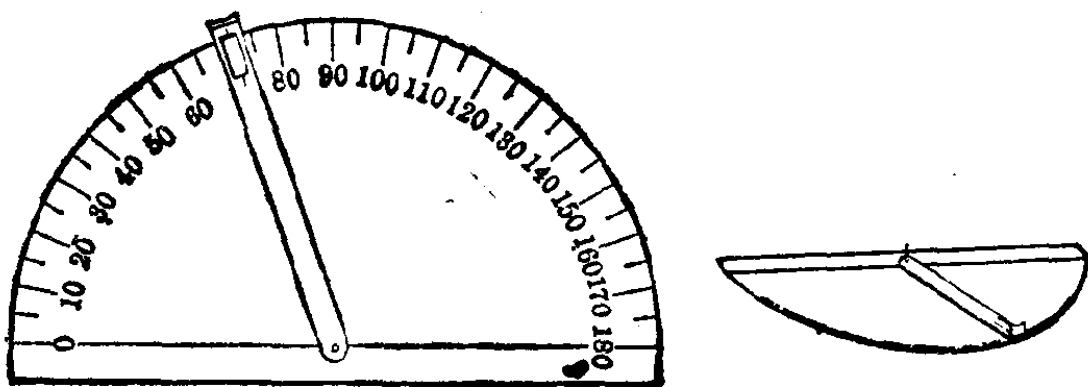


图 3-7 自制的测角仪器

间。我们伟大的祖国土地辽阔，从东部的乌苏里江畔到西部的帕米尔高原相距五千公里。当乌苏里江畔已初露晨曦，帕米尔高原还是深夜，要经过四小时，才能迎来黎明的曙光。我国和美国正好东西相对，北京和华盛顿日出的时间相差十一小时。当美国还是漆黑的夜晚时，我国已是光明的白天。

我们居住在地球上，每日随地球自转一周。赤道地区的居民坐地日行八万里。那里地球自转的线速度就是每小时1670公里。这个速度几乎是火车的十七倍。在北京，地球自转的线速度是每秒357米。愈近两极，这个速度越小。假使有一位飞行员驾驶着超音速飞机，沿北京的纬度以每秒375米速度向西飞行。如果他从正午起飞，他将会看见太阳总是在他左边上空。在他环球飞行过程中，太阳总是在同一方向照耀着他。如果使飞机加速，当飞机转过大半圈对着太阳飞来的时候，能看到太阳从西边升起的奇景。

## 二、围绕太阳万古奔波

在一个晚上观察星空可以看到天球的周日旋转，长期观察还可以看到另一种重要的现象。

相隔若干时日后，在夜间的同一时刻去观察天空，就会发现天空的形象已经有了一些变化。原先在西边的星座已经下沉，而原先看不到的星座，却已在东边升起。所以，我们在一年四季里所见到的天空形象是不同的（参见本书附的星图）。例如，冬天南方天空中那绚丽夺目的“参宿”，在夏天看不到；而夏天能看到的火红的“心宿二”（又叫“商星”或“大火”），到冬天却又不见了。我国古代传说“参商不相见”，即由这一事实穿凿而成。这个现象，反映了太阳在恒星中间慢慢移动位置。

白天,如果强烈的阳光不被地球大气所散射,以致掩盖了恒星的光芒,我们也能看见满天繁星。这样,就会察觉在不动的恒星背景中,太阳从一个星座,移动到另一个星座,和月亮或行星在恒星之间巡游相似。但是事实上我们在白天并不能看到太阳所经过的星座;而夜间太阳又隐匿起来了,不过它还是留下了行动的足迹。我们可以从一年四季夜间星空的变化推断太阳在恒星间的移动。设想太阳正在星座甲里,在星座甲的东边排列着星座乙、星座丙等等。黄昏时候,太阳和星座甲一起降落在地平线下不久,我们在西方地平线上看到了星座乙和丙。若干时日后,再在黄昏太阳刚下时观察西方天空,见星座乙也已下沉,而只能见到星座丙。这就说明太阳已从星座甲移到了星座乙。日复一日,太阳逐渐从一个星座移到另一个星座。通过一年的观察,发现它又移回到开始所在的星座。这样,太阳就在一年里绕着整个天球转了一圈。这种运动叫做太阳的周年视运动。我们还可由此得出结论:太阳周年视运动的方向是自西向东,正和它周日视运动的方向相反。

看来,太阳是同时参加着两项视运动。它和一切恒星一样,随着整个天球一天转过一周,即作周日视运动。此外,还有属于它本身的运动,即在恒星中间一年移动一周的周年视运动。

人们不仅能察觉太阳的周年视运动,而且通过长期认真细致的观测计算,还确定了它在恒星间运行的路线。太阳周年视运动的路线是天球上的一个大圆,叫做黄道。黄道和天赤道并不重合。

人们把天球上黄道两侧各 $8^{\circ}$ 的带叫做黄道带。人们看去,月亮和大行星差不多也都在这一带内运动。黄道带内的恒星被分成十二个星座,叫做黄道十二宫,每宫的长度是



30°。每一月，太阳占据一宫；每一季，太阳经过三宫。每季太阳所在的星座如下表所示：

春	夏	秋	冬
双鱼座	双子座	室女座	人马座
白羊座	巨蟹座	天秤座	摩羯座
金牛座	狮子座	天蝎座	宝瓶座

白天看不到太阳所在的那一宫，但当天晚上可以看到黄道带上和太阳所相对的星座。例如春分日前后，太阳在双鱼座，晚上能见到秋季太阳所在的星座(狮子座、室女座等)。

天球的周日旋转既是地球自转的反映，那么太阳的周年视运动又是怎么回事呢？主张地心说的人，以为这是“太阳天层”和“恒星天层”环绕地球运转的速度不同而已。哥白尼的地动说以科学的论据粉碎了地心说，证明了地球只是一颗普通的行星，它同其他行星一样环绕太阳公转。太阳的周年视运动正是地球公转的反映。随着天文学发展，以后又发现了恒星的视差(参见第七章)等现象，更有力地证明了地球的公转。

地球从它诞生以来，就循着环绕太阳的轨道飞驰不息。地面上经过了多少个昼夜交替、四季更迭的循环；经历了多少次“高岸为谷，深谷为陵”的变迁；生命形成了，进化着；人类出现了，发展着；地球仍在永无休止地运转。人类的历史和它的步伐也在奔驰向前。中世纪反动的罗马教廷曾妄图强迫人们相信地球是静止的，以此来维护其黑暗统治。他们烧死了布鲁诺，囚禁了伽利略。但是伽利略在被迫接受“宣判”后，仍不屈地宣告：“地球毕竟还是在转动着！”是的，没有谁能阻

止地球的运转,更没有谁能阻挡历史的前进!

我们的地球以每秒走 30 公里的速度围绕太阳运转。在一天中,它行程 257 万公里;在一年内,它便绕过 94000 万公里的大圈子。

地球运行的轨道是一个椭圆,这个椭圆十分接近于一个圆,太阳位于这个椭圆的一个焦点上。~~每年 1 月 3 日前后,地球离太阳最近,此点谓之近日点,此时日地相距 14710 万公里;每年 7 月 4 日前后,地球离太阳最远,此点谓之远日点,此时日地相距 15210 万公里。~~在近日点附近,受太阳引力最大,公转速度最快;在远日点附近,受太阳引力最小,公转速度最慢。

地球公转有一个重要的特点,这就是它的自转轴对于公转轨道平面是倾斜的,夹角等于  $66^{\circ}33'$ ;而且在地球公转过程中,不论在轨道上的那一点,自转轴总是指向大致相同的方向(即指向北极星附近)。地球就是这样一面自转着,一面又侧着身子公转着。

从上面的叙述,我们不难明了,天球上的黄道即太阳周年视运动的轨迹,乃是地球轨道平面扩大到与天球相交所截得的大圆。天球上与黄道面垂直的直径的两个端点分别叫做北黄极和南黄极(图 3-8。图中由于日地距离比起它们到恒星的距离小得可以忽略,所以认为两者都在天球中心)。至于天球赤道,我们已经说过,它是地球赤道平面扩大后与天球相交截出的大圆。地轴与公转轨道面的交角为  $66^{\circ}33'$ ,亦即地球赤道面与公转轨道面的交角为  $90^{\circ}-66^{\circ}33'=23^{\circ}27'$ 。因而在天球上天赤道与黄道的交角也是  $23^{\circ}27'$ 。这个交角叫做黄赤交角。黄道和天赤道有两个交点,一个叫做春分点,另一个叫做秋分点。太阳沿黄道作周年视运动,在春分和秋分这两

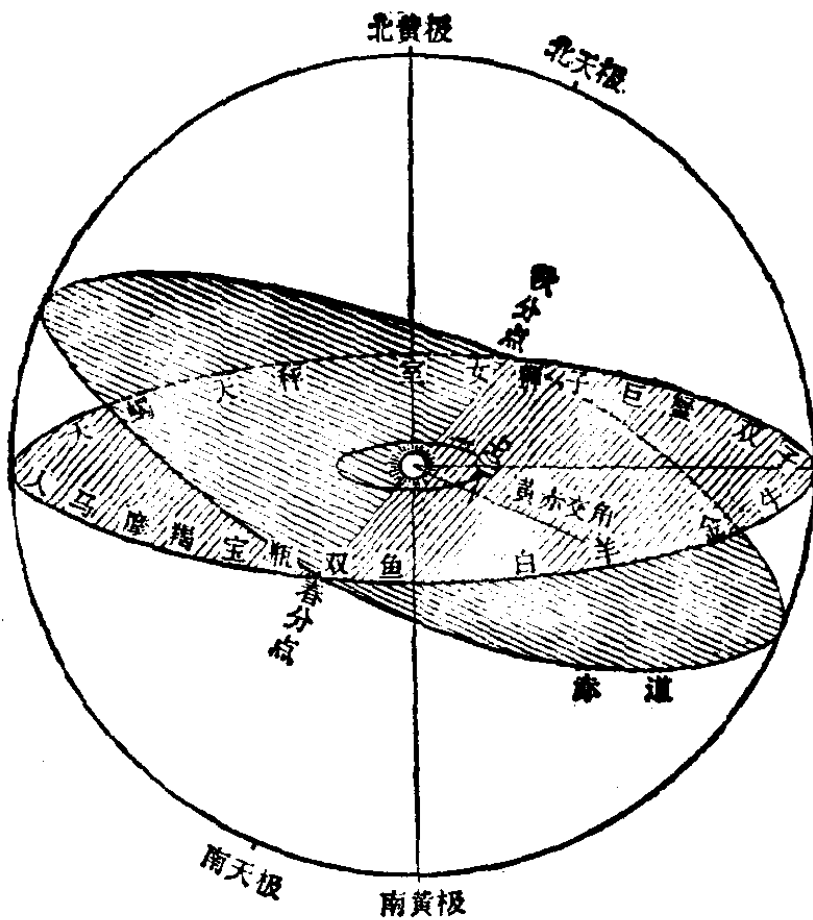


图 3-8 天球上的黄道和赤道

天，先后到达这两点。这两点在天球上没有任何显著的恒星来作它们的标志，但是他们的精确位置是知道的。当前春分点在双鱼座。从仙后座  $\alpha$  向仙女座  $\alpha$  作连线，再把这条连线延长一倍，春分点大致就在这一位置上。春分点和所有恒星一样，参与周日旋转。

春分点在量度星星的位置中，起着重要的作用。人们为了量度天体的位置，在天球上设想了一套经纬线系统，叫做赤经和赤纬，同地球表面的经度和纬度类似，见图 3-9。通过一个星和两个天极的大圆叫做赤经圈，相当于地面某地的子午圈。地面上某地子午圈和通过格林尼治的本初子午圈之间的夹角是该地的经度。在天球上确定一个“本初赤经圈”，计量天体赤经圈与它之间的夹角，就得到与地面经度相当的赤经。

本初赤经圈是通过春分点的赤经圈。赤经是从西向东取作正的方向；它虽用角度单位计量，但更常见的是用时间单位表示



图 3-9 赤经和赤纬

(两种单位的关系见后)。赤纬相当于地理纬度，从天赤道量起，以角度单位表示；对于天球北半部的星为正，南半部的星为负。例如我国北京天文台在 1975 年 8 月 30 日发现的新星，它的位置是赤经 21 时 10 分，赤纬  $+48^{\circ}01'$ 。

由于地球侧着身子绕太阳公转，随着四季的变迁，所以一年中太阳升落的方向

以及达到的高度<sup>①</sup>也在变化。太阳在一年里的绝大部分日子，并不是在正东方上升，在正西方下落。实际上，每年只有两次，即在春分日和秋分日才在正东上升，正西下落。夏天，它在东北方上升，在西北方下落；冬天，它在东南方上升，在西南方下落；只在春秋两季，太阳的上升和下落才离东、西方不远。

太阳升起以后逐渐升高，到中午的时候在南方达到最高的位置。天文上称天球上通过北极、头顶和正南的大圆为天子午线；一个天体过天子午线叫做该天体中天。中午的时候，就是太阳中天。太阳中天高度和当地纬度有关。下面我们来看一下，不同纬度上一年四季太阳高度的变化。为简单起见，我们这儿只谈夏至日和冬至日两天的情况。

请看图 3-10。此图左边一排代表夏至日地球对于太

① 这里所谓“高度”就是太阳对于地平面的仰角。

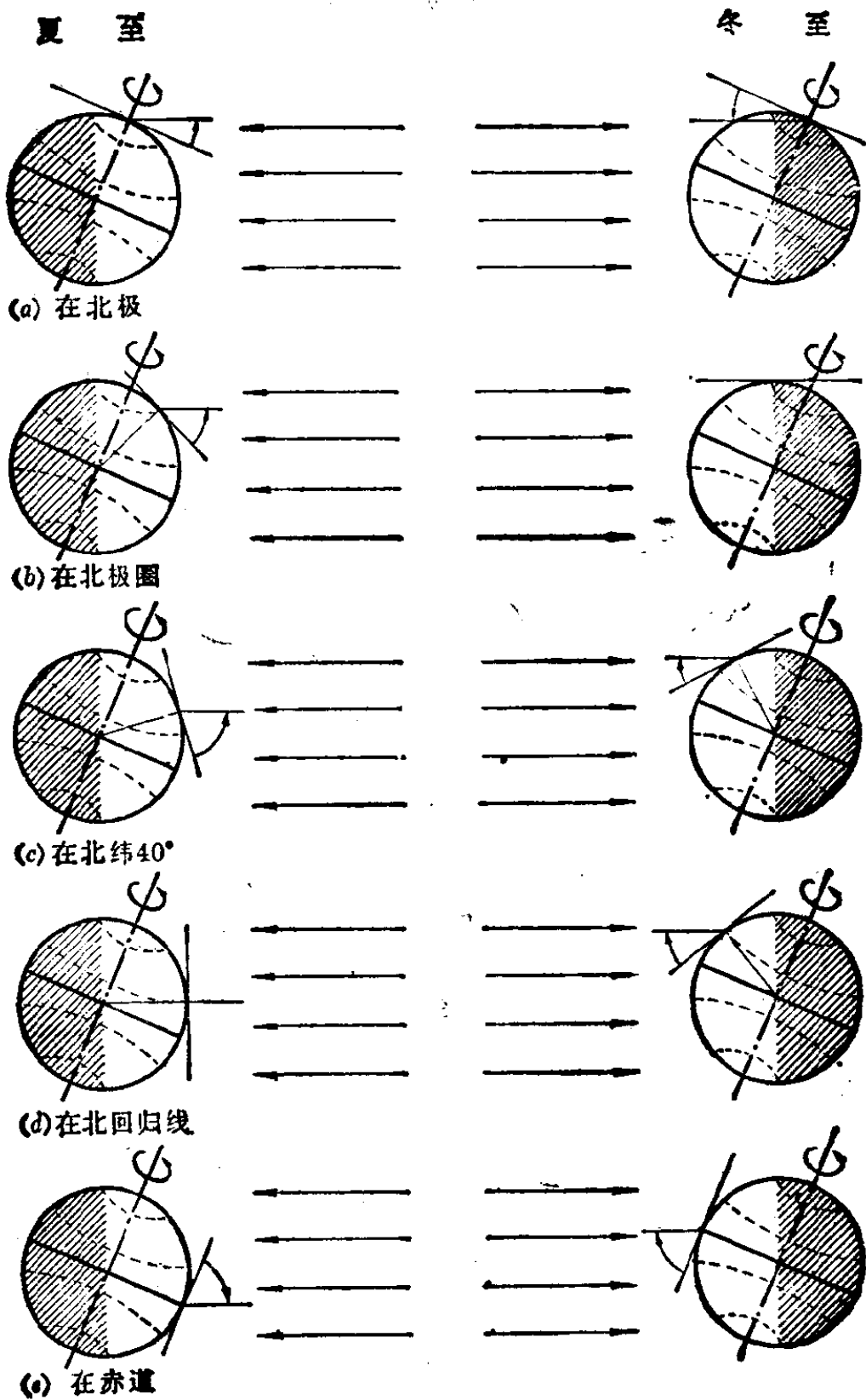


图 3-10 夏至和冬至地球上不同纬度处所见太阳高度

阳的位置,这时北极倾向太阳的程度最大;右边一排代表冬至日地球对于太阳的位置,这时北极背离太阳的程度最大。从上到下分别画出在北极、在北极圈、在北纬 $40^{\circ}$ 、在北回归线以及在赤道上,这两天中午所见太阳对于地平面的仰角(即高度)。在地球截面上,通过中心的轴线代表地球自转轴,与之垂直的直径代表赤道(在截面上的投影),另外还画出了南、北极圈和南、北回归线(在截面上的投影)。地面上某一点的地平面,以过这点而与地球截面相切的直线来代表。阳光照射着地球,阳光与这条直线的交角,就是我们要说明的仰角。

夏至,太阳直射北回归线,只有北回归线上的居民才见太阳照耀头顶,即太阳的仰角是 $90^{\circ}$ 。过了夏至,太阳直射点向南移去;秋分日太阳直射赤道;冬至日太阳直射南回归线。过了冬至,太阳直射点又向北移;春分日太阳又直射赤道。所以只有在南、北回归线之间的区域,才能见到太阳正在头顶的景象。图上太阳光线的方向,就是黄道平面的方向;黄赤交角是 $23^{\circ}27'$ ,所以北回归线是地球上北纬 $23^{\circ}27'$ 的纬线,南回归线是南纬 $23^{\circ}27'$ 的纬线。

从北回归线越往北去,太阳的仰角越来越小;纬度每增加 $1^{\circ}$ ,仰角就减小 $1^{\circ}$ 。例如在北京(北纬 $39^{\circ}54'$ ),夏至这一天太阳中天的仰角可以这样来计算:北京的纬度比北回归线高 $16^{\circ}27'$ ,因而太阳仰角就是 $90^{\circ}-16^{\circ}27'=73^{\circ}33'$ 。反过来,测出了夏至日太阳中天的仰角,也就可以算出当地的纬度了。

我们再看冬至日太阳中天的仰角。这一天,在北半球各地,这个仰角比夏至日低得多了。在北极圈上,即使在中午,太阳也只在地平线上略一露面,就立即下沉。再往北去,太阳竟整天沉在地平线下,不升到空中来。下面我们还将进一步描述这个现象。北极圈的纬度,也是根据黄赤交角算出的,是北

纬  $66^{\circ}33'$  (同样, 南极圈的纬度是南纬  $66^{\circ}33'$ ); 极圈是寒带的界线。

现在对着这张图, 想象地球正在绕着地轴自转。地面上各地的人们, 将经历怎样的昼夜变化呢? 原来在同一天(例如都在夏至日或都在冬至日), 不同纬度的地方, 白昼的长度各不相同, 同样黑夜的长度也各不相同。这又是地球侧着身子公转引起的一种现象。

在北极, 夏至日观测者随着地球自转, 看见太阳总是悬挂在空中, 以几乎不变的高度沿着与地平面平行的圆周, 反时针方向转过一周。实际上, 春分日起太阳开始露出地面, 天天这样打转, 每天升高一点, 好象沿着安装在天球面上的螺旋形转梯缓缓上升, 到夏至日达到最高。过了夏至, 太阳的高度又逐渐下降, 到秋分太阳降到地平线上。这半年, 在北极不会见到日落, 总是白天; 这样的极昼延续 189 天。秋分以后, 太阳越来越沉入地平线之下, 极地的漫漫长夜开始了; 到冬至日, 太阳沉到最低位置, 以后又慢慢上升, 直到春分再冒出地面。这半年, 在北极见不到太阳, 总是黑夜, 唯有绚丽多采的北极光点亮夜空; 这样的极夜要延续 176 天。所以北极的一“昼夜”竟等于一年!

离开北极, 过北极圈往南去, 就看不到这种极昼和极夜的现象了。不过, 在春分至秋分的同一天, 总是纬度高的地方白昼时间长, 纬度低的地方白昼时间短。例如在夏至日, 北纬  $66^{\circ}$  处昼长 24 小时, 我国北端的漠河约 17 小时, 北京约 14 小时 58 分, 海口约 13 小时 18 分。到赤道上, 一年里每天总是昼长 12 小时, 夜长 12 小时。

在我国东北的北部, 纬度  $49^{\circ}$  以北的广大地区, 可以看到一种叫做“白夜”的奇异景象。例如在海拉尔(北纬  $49^{\circ}14'$ ),

夏至那天,白昼长达16小时12分。由于大气被晨昏蒙影照亮,更增加了昼长。太阳在地平线下 $18^\circ$ 的时候,上层大气还被阳光照着,而那一天的半夜,太阳最低只降到地平线下 $17^\circ 19'$ 。于是可以见到这样的景象:太阳在下落以后,整个夜晚没有黑尽的时候,东方又露出晓色,黄昏和黎明联接在一起了!越往北去,这种效果越是显著;夏至前后,可以看到一连串“白夜”。在 $66^\circ$ 的地方,例如在瑞典和芬兰的北部,更可以见到“半夜太阳”的奇景。夏至前后几天,太阳向西北方向地平线斜斜地落去,半夜,和地平线相接触后,又斜斜地向东北方升起,好象一只弹性的球,一落到地面,又弹跳了起来。

由于一年中太阳高度在不断变化,昼夜长短不一,因而,地面吸收太阳的辐射时多时少,形成了四季更替。我们来看图3-11。当地球位于公转轨道B点时,太阳直射北回归线,北半球大部分地区太阳高度最大,日照时间最长,因而受热最多。这是每年6月22日前后地球在公转轨道上的位置。这天就是夏至。过了夏至,随着地球在轨道上位置的变化,太阳直射点南移,北半球大部分地区的太阳高度渐渐变小。到9月23日左右,地球运行到C点,太阳直射赤道。比起夏至来,

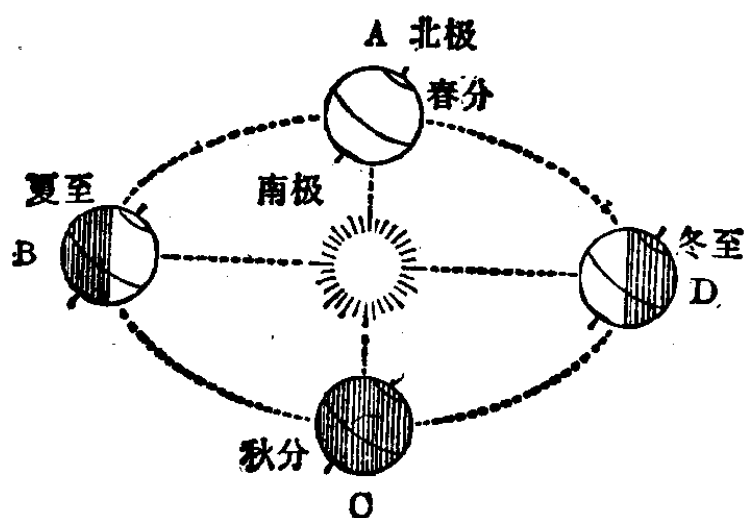


图3-11 四季成因



北半球大部分地区太阳高度角减小,日照时间也减少,因之地面受热量也减少。这天就是秋分。秋分之后,太阳直射点移向南半球,北半球太阳高度继续减小,日照时间继续缩短。到12月22日前后,地球运行到D点,太阳直射南回归线。这一天,对于北半球来说,是太阳高度最小,日照时间最短,地面受热最少的一天,称之为冬至。过了冬至,太阳直射点北移,到次年3月21日左右,又直射赤道,这是地球运转到A点的情况。这一点便是春分。地球不停地公转,北半球所受太阳热量的多寡也周期地变化着<sup>①</sup>,这样就形成了寒来暑往,四季交替。在天文学上,春分至夏至,为春季;夏至至秋分,为夏季;秋分至冬至,为秋季;冬至至春分,为冬季。

地球的自转和公转是与我们关系十分密切,为人们直接感知。下面我们介绍另一种我们不能直接感知的运动——地球的进动。

玩过陀螺的人都有这样的经验,当快速旋转的陀螺倾斜的时候,陀螺的旋转轴会环绕着与地板垂直的轴线描绘出一个圆锥面(图3-12)。这是因为地球重力把旋转着的陀螺往下拉,有使它向地面倾倒的趋势,可是陀螺因旋转运动的惯性而不会倾倒(这和车轮转动时自行车不会倾倒的道理一样),却在重力的作用下作圆锥式的运动。这叫做陀螺的进动。

地球也是一个不停地旋转着的庞大的“陀螺”。地球受到太阳和月亮的吸引,如果它是一个滴溜滚圆的球体,

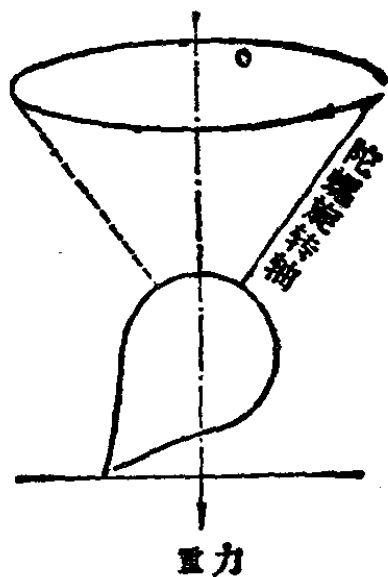


图3-12 陀螺的进动

<sup>①</sup> 南半球情况正好相反。

吸引力就集中在地球的球心。可是它的赤道部分突出，这突出部分受到“附加吸引”。太阳和月亮差不多都在黄道面内，由于它们对地球赤道带的附加吸引，就有使地球赤道面向黄道面重合的趋势。可是因为地球在自转，自转运动的惯性使赤道和黄道的夹角不会改变，却使地球自转轴作圆锥式运动。这种运动叫做地球的进动。

地球进动，地轴环绕垂直黄道面的轴线作缓慢的圆锥运动，运行的方向和地球自转方向相反，周期约为 25800 年(图 3-13)。

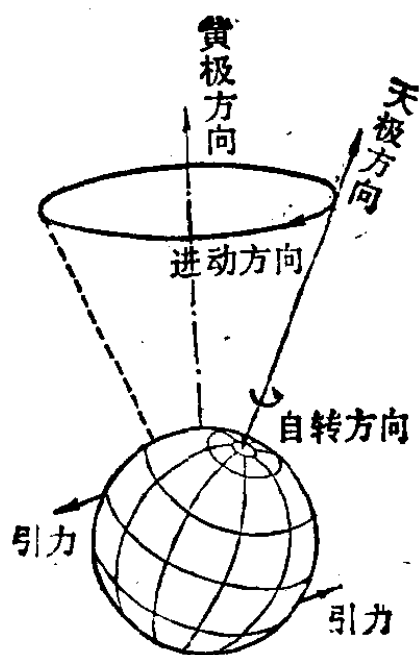


图 3-13 地轴的圆锥运动

这样，我们要对前面说的地球自转轴在空间指向大致相同的方向作进一步的说明。实际上它的方向在不断变化，不过变化得相当缓慢，在短时期内不易察觉罢了。

地球的进动使地轴所指的两个天极缓慢地围绕黄极作圆周运动，这个圆的半径即天极和黄极的角距离，等于黄赤交角。我们在地球上通过精密的天文观测，能发现北天极在恒星间变动的位置。现在北天极在小熊座  $\alpha$  (即北极星) 附近，相距大约  $1^\circ$ 。这距离还在继续不断地变短，一直到 2100 年达到  $28'$ 。这颗北极星只在一千年以来，才赢得它的声誉。我国古书记载，4600 年前的“北极星”是紫微垣右枢星(即天龙座  $\alpha$ )，这颗星的亮度只及现在的北极星的  $1/4$  (图 3-14)。随着时间的推移，从地面上看北天极反时针方向在天球上移动，逐渐向现在的北极星接近，直到公元 2100 年。此后，它就要离开现在的北

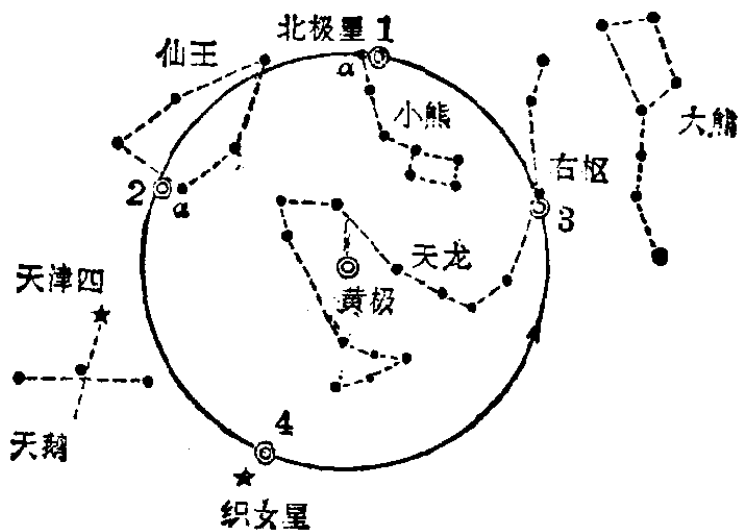


图 3-14 北天极在星空移动路线

极星而去。到公元 3500 年，“北极星”的桂冠将为仙王座  $\gamma$  所得；公元 6000 年，北天极将在这个星座的另两颗星  $\beta$  和  $\iota$  中间穿过；公元 7500 年，仙王座  $\alpha$  将成为“北极星”。北天极还将继续移动。公元 13600 年时，那光辉夺目的织女星，将雄踞于天球之巅成为我们后代的“北极星”。过 25000 年以后，现在的这颗北极星，将再一次蝉联“天球之极”的称号。

在这漫长的岁月里，随着北天极的移动，我们头顶的星空面貌也将随之改变。一定时期以后，原来永不下落的拱极星，有一部分将会沉入地平之下，有升有落；在南方天空，原来永不上升的一部分恒星，也将会升出地平，被我们看到；而另有一些原来可见的恒星，却会沉入地平之下不再上升。例如六千年前南十字座在我国各地来看，是有升有落的，现在只有我国海南岛以南的地区才能看到。

地球的进动还造成另一效果，这就是赤道和黄道的交点（即春分点和秋分点）沿黄道向西移动。这一西移的平均速率是每年  $50''.26$ ，叫做两分点的岁差。当前春分点是在双鱼座。公元前二千年至公元初年，春分点是在白羊座。更早一些时

候,春分点是在金牛座。我国古代的天文记录,保存着当时人们的观测结果,例如早在公元前二十四世纪,人们测定金牛座内的昴星团是春分点。从现在起再过几百年,春分点将要移到宝瓶座去了。

通常我们说“地球公转一周是一年”,其实这是一种很不确切的说法。这里所指的“一年”,应该说是“恒星年”。我们设想某一时刻太阳、地球和某一颗恒星在一条直线上,地球绕太阳一周以后,仍旧回到同一相对位置,即还在这三个天体的连线上。从天球上来看,太阳在黄道上作周年视运动正好运行了 $360^\circ$ 。这个时间间隔在天文学上叫做恒星年,是地球公转的周期。而我们日常所称的年,指的是回归年,这是地球从这一次春分日到下一次春分日的时间间隔;从太阳的周年视运动来说,是它沿黄道运行接连两次过春分点的时间间隔。因而回归年是和季节变化的节律相合的。由于春分点移动的方向和太阳周年视运动的方向相反,所以太阳连续两次过春分点实际上没有绕满一周。这样,回归年就比恒星年短,每年约短20分钟,这就是岁差。这两种年的准确数值是:

1 恒星年 = 365 日 6 时 9 分 9.5 秒,

1 回归年 = 365 日 5 时 48 分 45.6 秒。

总而言之,恒星年是地球绕太阳的公转周期,回归年是四季变化的周期;两者的差别是由于地球的进动引起的。在我们的日常生活中,回归年比恒星年有着更实际的意义,编制历法所依据的年的长度就是回归年。

我国早在公元330年前后,晋朝的天文学家虞喜就已发现了岁差现象,他定出每五十年春分点在黄道上西移一度。

上面我们描述了地球的三种主要运动。实际上,由于它本身内部物质的激烈变动以及太阳、月亮和其他行星施加的各

种影响,它的表现更要复杂得多。此外,我们还只是局限于在太阳系内描述它的运动。如果设想我们从别的恒星上来观察地球,那么更可见到它跟随太阳向宇宙的深处飞驰。随着我们向无限宇宙的眼界不断扩大,我们将更深入、更广泛地了解地球的运动。现在我们已经足以得出这个确定无疑的结论:地球从它诞生以来,从来没有两次处在相同的位置上,它也绝对不会再回到我们现在所处的位置上来;地球随着整个太阳系,在浩瀚无垠的宇宙空间循着无穷无尽的螺旋曲线运行不止。

### 三、漫话岁时

#### 时间的计量

计量时间是天文学的一个重要应用部门。日常所用的时间,准到一分钟也已够了。然而许多国防、生产和科研的部门,要求时间精确得多,例如准到十分之一秒、千分之一秒,以至百万分之一秒。

为了勘测资源、从事基本建设、巩固国防,我们必须测量全国各地的地理坐标,绘制精密的地图;航行中的船只和飞机必须随时测定自己的位置并决定前进的方向。这一切与测量、定位有关的部门都必须利用精确的时间。例如,在赤道附近大洋中的一艘轮船,用测时的方法来确定所在地的经度(这个方法的原理在稍后叙述),若测时的误差为十分之一秒,那么位置差可达45米。

人造卫星和导弹的发射、飞行和跟踪,都要求非常精确的时间。例如火箭发射时刻的精确性,就直接影响到火箭轨道的精确程度,真所谓“失之毫厘,谬以千里”。

除了实用上的需要以外，时间的精确测量还广泛地为许多理论研究服务。例如在天文学上测量天体位置、编制星表和历书、研究地球自转不均匀性等，地球物理学上研究大陆漂移，原子物理学上研究原子内部结构，理论物理学上验证相对论等等，离开了精确的时间都是无法实现的。

计量时间包括两个方面，一是测量两个瞬时之间的间隔，即时间经过的长短，含有久或暂之意；一是确定某一瞬时的时刻，对另一瞬时来说，含有早或迟之意。

要计量时间，一定要观测某些物质的运动。时间和空间一样，都是物质存在的形式。时间也象空间一样，没有物质，也就失去它的意义。自古以来，地球的运动很自然地给人们提供了计量时间的依据，给出两种天然的时间单位，这就是日和年。年是地球环绕太阳公转的周期，表现为太阳的周年视运动。人们通过对日月星辰运行的观测，推断太阳、地球和月亮运行的规律，据此编排年、月、日，推算岁时节候，即制订历法。

远古时代的人们，日出而作，日没而息，随太阳的升落来安排生产和生活，逐渐地在人们的头脑中形成了“日”的概念。后来发明了土圭，可以定出太阳中天的时间（即日影最短）；人们把太阳连续两次中天的时间间隔作为一日。这样定出的日，叫做真太阳日。

我国北齐时（公元六世纪），张子信在海岛上用仪器对太阳视运动作了三十年的精心观测，发现它行动快慢不齐。这一现象，说明真太阳日长短不一。据近代观测证实，每年9月16日中午到17日中午之间只有23时59分39秒，而12月23日中午到24日中午却有24小时0分30秒；同样叫一个真太阳日，最长和最短相差51秒。因此，真太阳的运动不是一种

均匀的时间标准。要是我们拿一把刻划不均匀的尺子量布，会觉得极不方便。用真太阳时来定时间，由于这把“尺子”不均匀，同样很不方便。

真太阳日为什么不均匀呢？原来真太阳日并不是地球自转的周期。因为太阳在天球上沿黄道作周年视运动，运动的速度并不均匀。太阳不是一个固定的标志；而只有天球上的固定标志连续两次中天的时间间隔，才是地球自转的真正周期。其实这种固定标志在天球上“仰”拾皆是，这就是恒星。天文工作者取天球上的春分点代替具体的恒星，以春分点连续两次中天的时间间隔作为一日，它是地球自转的真正周期，所以恒星日是相当均匀的时间单位。用恒星日计量的时间叫做恒星时。

一个恒星日的长度比一个太阳日短，每天约短 4 分钟，这是因为地球不仅在自转，而且在公转。图 3-15 中，设某一日的一个瞬时，地球在轨道上的  $A$  处，太阳和春分点同时在地球上的  $M$  地方过中天。到了下一日，地球自转了一周，这时春分点又在  $M$  地方中天，而同时地球却在它的公转轨道上前进到了  $B$  处。地球还要转过一个  $\alpha$  角，才能使太阳在  $M$  地方中天，以完成一个太阳日。一日里，地球公转经过了  $\beta$  角。一年

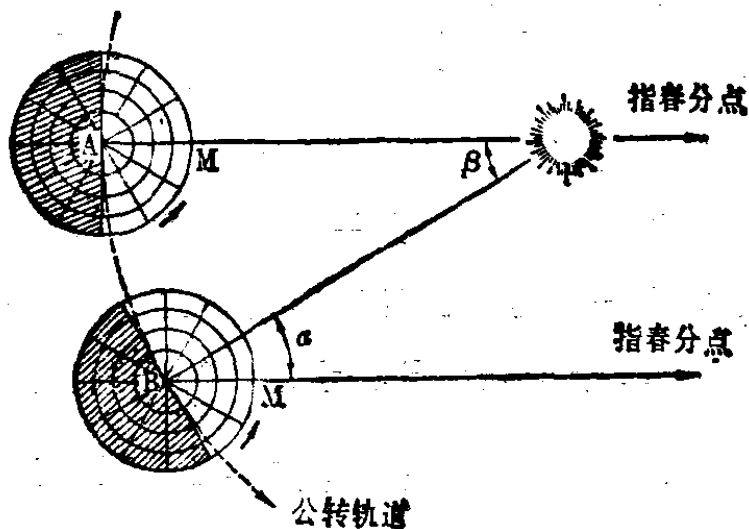


图 3-15 恒星日比太阳日短

约有 365.25 日,地球公转经过了  $360^\circ$ , 所以  $\beta = \frac{360^\circ}{365.25}$ , 略小于  $1^\circ$ 。由图 3-15 可见  $\alpha = \beta$ , 所以恒星日完成以后, 为要达到一个太阳日, 地球还必需再转过约  $1^\circ$ 。地球的自转率是每小时  $15^\circ$ , 或每 4 分钟  $1^\circ$ , 所以恒星日比太阳日大约要短 4 分钟。

我们日常所用的钟表走的是一种太阳时。由于存在这样的差异, 如果我们在日常生活里应用恒星时, 虽然它是均匀的, 但很不方便。因为我们的生活节拍与太阳升落形成的白天和黑夜相合。如果使用恒星时, 那么一天的开始(即 0 时)就会每天不同, 有时在黑夜, 有时在早晨, 有时在白天, 而有时到了黄昏。

为了取长补短, 得到既均匀又适于日常生活的时间, 人们采用了平太阳时, 这就是普通钟表所指示的时间。真太阳日的缺点是日长不固定, 人们就把平太阳日的日长固定下来, 它的日长等于一回归年里真太阳日日长的平均值。平太阳时的时刻与真太阳时的时刻相差不多。它们之间的差异同恒星时与真太阳时时刻之间的差异不一样, 不会一天天累积起来达到一年正差一天, 而是有时快, 有时慢。一年里有四次, 平太阳时和真太阳时的时刻一致, 而最大差值不过 16 分。

平太阳时和恒星时都是均匀的时间, 但平太阳日要比恒星日长。天文工作者测量得到一回归年里有 366.2422 个恒星日。由于太阳一年里自西向东转过一圈, 所以一回归年里就只有 365.2422 个平太阳日。于是可得下列关系:

$$1 \text{ 平太阳日} = \frac{366.2422}{365.2422} \text{ 恒星日} = 1.002738 \text{ 恒星日} \\ = 1 \text{ 恒星日} + 3 \text{ 分 } 56.56 \text{ 秒。}$$



平太阳时和恒星时的时刻在秋分那一天是一致的。如果有两只走时均匀的钟,一只走平太阳时,一只走恒星时;秋分那天,两只钟指示相同的时刻;第二天恒星钟快3分56秒,以后每天累积3分56秒;直到一年后,总共累积了24小时,恢复到开始时相同。

实际上,人们通过观测恒星,得到了均匀的恒星时,然后根据上面所说的关系进行换算,从而得到平太阳时。

每当碧天澄沏,群星灿烂的晴夜,天文工作者就打开天文台观测室的天窗,用仪器观测恒星,来测定恒星时。这种工作叫做测时。测时的仪器有多种,中星仪(图3-16)是其中历史最悠久的一种。它的最简单的形式是一架装置在水平轴上的

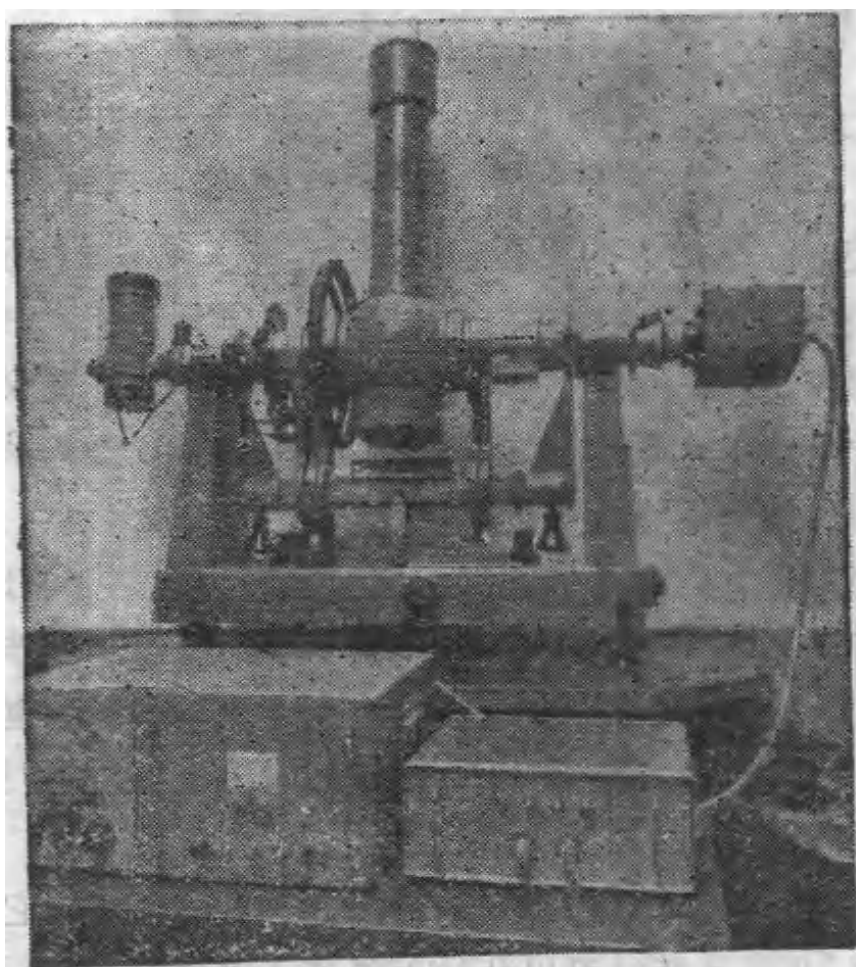


图 3-16 光电中星仪



图 3-17 光电等高仪

小型望远镜，轴的方向正指东西，望远镜和轴垂直，所以望远镜就只能观测中天的恒星。每一颗被测恒星在某地中天星时时刻刻在观测时被记录下来。现在这种目视中星仪已经得到改进，使用了光电装置观测恒星，并用电子仪器记录恒星中天的时刻，精确度得到了提高。

此外，还有一些其他类型的高精度仪器也用于测时，如照相天顶筒、棱镜等高仪等。1971年我国工人、工程技术人员和天文工作者相结合，自行设计和制造成功我国独创的世界第一台光电等高仪(图 3-17)，用于测时，同时还能测纬度，达到很高的精度。

天文台必须有走时均匀的钟，通过观测恒星对它进行校核。这样，我们就随时可以从钟面得到正确的时刻，这叫守时。

计时仪器是随着社会生产力的发展而发展起来的。从古代的第一架日晷到今天精确度达到一天只差百万分之一秒的原子钟,时钟的进步史也记录着人类征服自然的前进步伐。

最原始的人造钟表是一根直立在平地上的杆子,就是土圭。因为在一天之内,日影的长度和方向随着太阳位置在变化,因而观测日影的变化就可以测出时间。与土圭相似的另一种古代测时仪器叫做日晷。日晷由晷针和晷盘组成。晷针垂直地插在晷盘的中心,晷盘上刻着表示时刻的分划。安装时,使晷盘平面倾斜,指针指向北天极。太阳照着,针影投在晷盘的分划上,就指示出时刻。在北京故宫里还保存着一具精致的日晷。

圭表和日晷只能在晴朗的白天应用,夜间、阴天就不行了。于是,人们又发明了别的办法。

我国远在周朝就发明了铜壶滴漏(又叫漏壶),见图 3-18。

简单的漏壶就是一个铜壶,壶底有一个洞,壶中立着一根箭,箭杆上刻着度数。开始用水灌满铜壶,水从壶底洞中慢慢流出,箭上的刻度就依次显示出来了。这种装置在水多的时候漏得快,水少的时候漏得慢,计量时间快慢不一。为了克服这个缺点,后来就有了改进。采用上、中、下三个壶,地面上还有一个受水壶,内有一

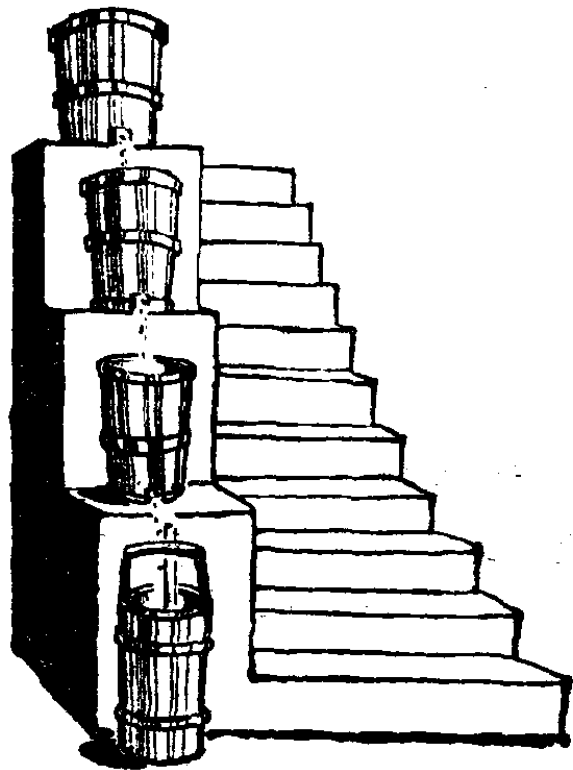


图 3-18 铜壶滴漏

根浮箭，箭上有刻度。当水慢慢流入受水壶时，箭就上浮，指示出不同的时刻。从上面的壶不断向下壶补充水，保持下壶内水的高度不变。于是水从下壶均匀地流入受水壶，这样计量的时间就比较准确了(图 3-18)。中国历史博物馆里还保存着一座我国元代制造的漏壶。

除了漏壶这种“水钟”外，我国古代还应用过“火钟”。把一盘香点燃，火头点到香的那一段，标志着到了什么时间(图 3-19)。更有人在香的中间缚一根纱绳，绳端系一串铜球，球下接一个铜盘，一旦香火把纱绳烧断，铜球落入盘中，叮当作响，大有现代闹钟的妙用(图 3-20a)。还有在火炮上面装一透镜，当太阳正午时，透镜聚焦将火药点燃，火炮开响，作为中午报时之用(图 3-20b)。

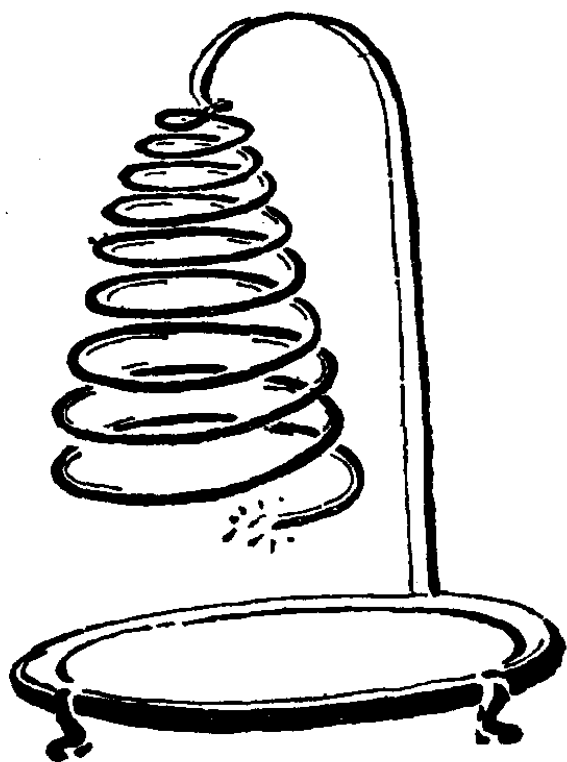
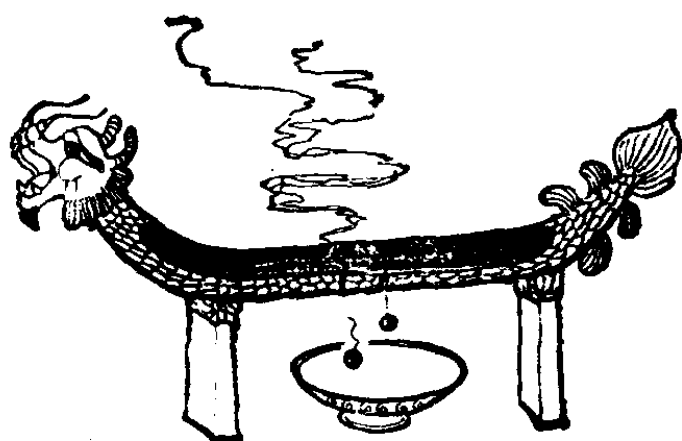


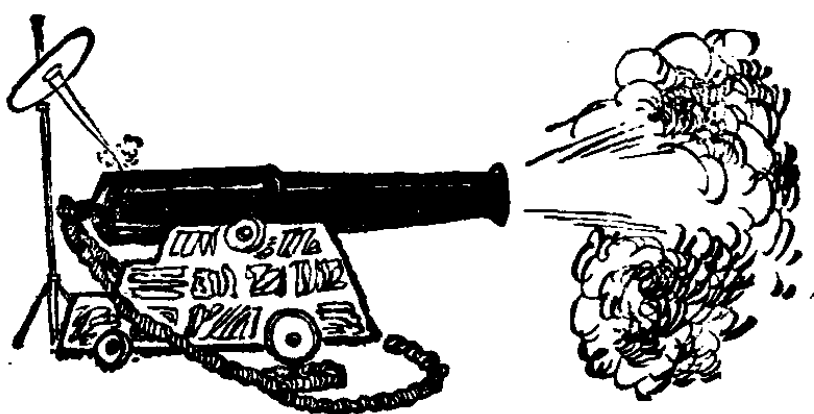
图 3-19 计时用的盘香

诸如此类的原始“时钟”，都有明显的缺点，一是精确度差，二是使用不便。在欧洲，随着手工业的发展，出现了机械钟，起初用重锤拉动，精确度很差。后来发现了摆的等时性，并于十七世纪中叶应用到钟上，开始出现了比较精确的计时工具。最精确的天文摆钟一日仅差千分之一或二秒。

本世纪二十年代出现了石英钟。它是利用石英晶体的振荡控制电子振荡器，得到稳定的振荡来控制钟的走动，可使一天只差万分之一秒。五十年代以来又陆续出现了分子钟和原



(a)



(b)

图 3-20 “火闹钟”

子钟。原子内部的电子在两个能级之间跃迁<sup>①</sup>时会辐射电磁波，这种电磁波的振荡频率十分稳定，用它来控制电子振荡器，进而控制钟的走动，精确度就更高了，一天只差百万分之一秒。现在用这类钟来检测地球自转的不均匀性。

宇宙间没有一成不变的事物。我们说地球自转速度相当均匀，只是一种相对的说法。自从本世纪二十年代出现了石英钟以后，人们有了更加均匀的时间标准，地球自转的不均匀性就被人们发现了。分析的结果表明，地球自转速度的变化可分为长期减慢、季节性变化和突然变化三种。

<sup>①</sup> 关于能级和跃迁等概念详见第二章。

人们以地球自转一周为一日，自转速度减慢，就表现为一日的时间延长。据测量，日长在一百年内大约增长0.00164秒。在过去遥远的年代，一天的时间应明显地比现在的短。象树木的年轮那样，一些珊瑚具有年带。珊瑚虫每天分泌出一些碳酸钙，在躯壳上形成一条细小的“日纹”。现代的珊瑚，年带大约由365条日纹组成。可是泥盆纪（距今3亿2千万年到4亿年）的珊瑚化石显示了每个年带有400条日纹。由此推测，那时的一年约400天。同样的研究表明在六千五百万年前，一年约376天。没有证据显示年的时间长度有多少变化，因此只能说明那时的一日是较短的。这种效应即使在较短的时期内，也是很可观的。例如二千余年来，地球自转已经慢了3小时之多。长期减慢的原因是由于海洋的涨潮和落潮引起了海水和浅海海底之间的摩擦，逐渐消耗着地球自转的动能。实质上这是太阳，特别是月亮对地球的运动影响的结果。月亮作用的趋势将是使地球自转周期与月亮绕地球公转的周期相等（原理参见《月亮》一章）。

季节性变化表现为上半年慢0.03秒，下半年快0.03秒。这种变化的成因主要是季风和洋流周期性地搬迁着地球表面的质量，使地球的运动状态随之改变。

发生突然变化的原因与地球内部物质的剧烈运动，例如地震等有关；也可能与太阳的剧烈活动有关，当太阳喷射出大量的微粒流时，会影响地球的运动。

对地球自转变化规律的研究，和许多重要的实践和理论问题有关，例如时间的计量、地震、地壳运动、地球内部结构、日地关系、地月系演化等问题。

天文台在每天一定的时刻通过无线电广播，把准确的时间播送出去，供有关部门应用。这叫播时。测时、守时和播时

组成了整个时间服务工作。

解放前,我国没有自己的时间工作。解放后,党和国家十分重视我国科学技术的发展。我国独立自主地组成了时间服务系统。每当晴朗的夜晚,天文工作者操纵测时仪器进行精细的测量;测量的结果通过无线电广播送往五洲四海。我国的远洋海轮和援外工程队都可收录国内播出的时间讯号。我国的时间精度早在1963年便已跃居世界先进行列。此后我国天文测时精度又不断提高,始终保持在世界先进水平上。

上面所说的以真太阳或恒星在某一地方过中天来确定的时间叫做地方时,如地方真太阳时、地方恒星时以及相应的地方平太阳时。由于地球不停地自西向东旋转,同一瞬时,各地地方时的时刻不同。这或迟或早的差数,与它们所在经度有关。经度相差 $15^\circ$ 的两地,地方时差为1小时。因而通常把经度以时( $h$ )、分( $m$ )、秒( $s$ )来表示。例如北京的经度为 $116^\circ 20'$ ,化为时、分、秒来表示, $7^h 45^m 20^s$ 。

格林尼治地方平太阳时又叫做世界时,因为格林尼治的经度是0时,所以某地的经度值就是该地地方平时和同一瞬时的世界时之间的差值。

由于经度不同的各地地方时不同,那么当我们向东或向西旅行时,就需要不断地改正钟表所指示的时刻,这当然太不方便了。解决的办法是采用标准时或区时。

地球上离开格林尼治经圈的东西两方,每隔 $15^\circ$ 或1小时,定出一个标准经圈。以每一标准经圈两旁各 $7.5^\circ$ 的经圈作为界线,把全球按经线划成24个区域,并给以编号(图3-21)。这种区域叫做时区。每一时区内都使用其中央标准经圈上的地方平太阳时,这叫做区时。不同时区的区时相差整数小时。时区的界限照顾到自然分界和行政区划,所以不是

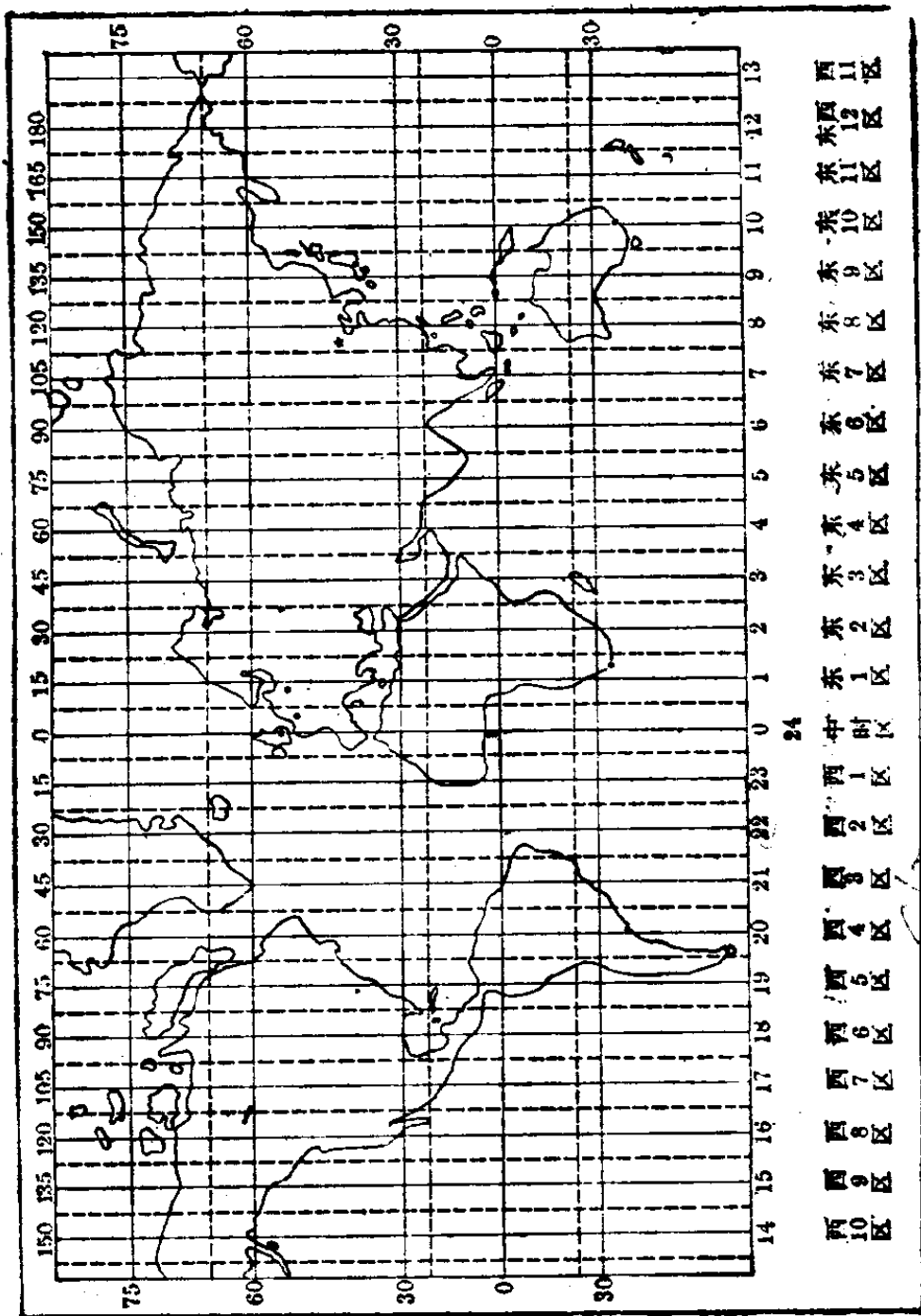


图 3-21 时区图



严格的直线,也不是一样的宽窄。

我国现在一律采用东经  $120^{\circ}$  经圈上的地方平太阳时,即东八时区的区时,叫做“北京时间”,它比世界时超前 8 小时。我们从收音机里听到的对时讯号,报的就是北京时间。北京时间并不是北京的地方平太阳时,北京的经度约 7 小时 45 分,所以它比后者要晚约 15 分。

某地采用的平太阳时既已规定,当地的日期也就容易确定,即平太阳时 0 时就是一日的开始。

这样来规定日期,就全球范围来说,还有问题。假定有一旅行者,从某地出发向西作环球旅行。他在沿途看太阳的起落,记下经过的日子,当他回到出发地时,会发现比当地居民经历的日数少了一天。根据相同的理由,向东作环球旅行的人,周游地球一圈之后会发现多记一天。国际间为了消除这种不便,规定  $180^{\circ}$  经圈为日界线(或叫国际日期变更线)。这一线由北通过白令海峡、阿留申群岛,中间通过太平洋,向南通过东加群岛与萨摩亚群岛之间至新西兰的东边。向东航行的船舶或飞机经过这一线时须减去一日,如 2 日正午改为 1 日正午;向西航行的船舶或飞机通过这一线时须加上一日,如 2 日正午改为 3 日正午。日界线也是地球上新的日期开始最早的地方。例如在日界线上,当 2 月 1 日 0 时开始的时候,北京是 1 月 31 日 20 时,莫斯科是 1 月 31 日 15 时,伦敦是 1 月 31 日 12 时,华盛顿是 1 月 31 日 9 时,而在日界线东边的檀香山 1 月 31 日这一天还刚开始不久呢。

## 历 法

早期的天文学起源于研究“定季节”的历法。

我国历法具有十分悠久的历史,在制订历法方面,我国古

代天文学,达到了辉煌的成就。远古时期,牧民就曾以牧草返青一次作为记年依据。渔民以某些鱼类回游产卵一次为一岁。农民则以稻黍成熟收获一次为一年,并懂得了“春耕夏耘,秋收冬藏”这种季节变化与农事的关系。随着对天象的深入观察,我国劳动人民也早已认识到四季变化与天象运行有密切的关系,这是我国古代制订历法的丰富源泉。例如古代民间流传着用北斗星位置来确定季节的谚语:“斗柄东指,天下皆春;斗柄南指,天下皆夏;斗柄西指,天下皆秋;斗柄北指,天下皆冬。”早在三千多年前,我国已采用土圭来观测日影,殷墟甲骨文里就有关于古历的记载。《尚书·尧典》说“朞三百六有六旬有六日,以闰月定四时成。”说明当时已知道一年有366日,并发明了设置闰月的办法。公元前七世纪(春秋中叶),用土圭实测出一年长为三百六十五又四分之一天,知道了春分、夏至、秋分、冬至,并提出了十九年七闰的方法。这比同时期古希腊和罗马的历法要进步得多。秦汉之际,由于法家路线实行重耕战的政策,农业生产有了较大的发展,历法也有了相应的改进。这一时期,提出了二十四个节气,这是我国历法中特有的杰出成就,一直沿用至今。我国历代,历法不断改进,我国历史上曾出现过一百来种历法。公元五世纪齐朝的祖冲之创制“大明历”,首先把岁差计算在内,开了一代新风。元朝时(1281年)郭守敬创立了“授时历”,所取的平均历年与目前世界通用的公历相同,这一发明比西方早了三百多年。

一般通用的历法分为阳历、阴历和阴阳历三种。

阳历是以地球绕太阳公转一周作为一年的历法。取太阳周年视运动连续两次经过春分点的时间间隔为一回归年,回归年的长度等于365.2422平太阳日(365日5时48分46秒)。现在世界通用的公历是一种阳历。

在人们日常生活中,一年必须包含整数日,但是回归年的长度不是整数日。为此,取365日为通常的一年(即平年),而以设置闰日的办法来消除它和实际回归年的差距,即在400年里增加97日。这样400年里平均来说一年的长度为365.2425日,与实际长度相差极小,要经过三千余年才差1日。置闰的方法是公历年分能被4除尽的为闰年,这一年增加一日,成为366日。增加的一日放在二月底,平年的二月为28日,闰年的二月就有29日。如1968,1972,1976,1980……等年都是闰年。但是又规定逢百之年只有能被400除尽的才算闰年。如1900年不是闰年,而2000年才是闰年。这样安排的结果,在400年里适有97个闰年。现行公历中的月份和星期是人们为了方便而任意取定的;月是把一年人为地分成12分,星期是取7天为一周期,都没有任何天文学上的意义。

阴历是以月亮绕地球一周作为一月的历法。月亮绕地球一周经历一次朔望变化<sup>①</sup>,时间为29.5303平太阳日(29日12时44分2.8秒),叫做一个朔望月。

朔望月和回归年不能通约。阴历里取平均历月为29.5日,12月为1年,其中大月30日六个,小月29日六个。这样,一年为354日,与回归年相差11日多;因而年复一年,节气在一年里逐渐后退(例如今年3月1日春分,明年就是3月12日春分)。这对于安排农牧业生产是不适用的。

阴阳历是为了调和阴历和阳历,兼顾月亮和太阳而编订的历法。例如我国目前仍在通用的夏历就是一种阴阳历。在夏历中,每月的朔望两弦照顾着月亮;每年的寒暑节气照顾着太阳。年和月两个单位,各有确定的天文意义,以置闰月的办法来求得历年长度与回归年长度相合。阴阳历中,全年12月

<sup>①</sup> 参见下一章《月亮》。

合 354 天; 采取 19 年 7 闰, 闰年 13 月, 全年 384 天。这样, 在 19 年中, 历年长度便和回归年相差不多。所以节气在历年中不会有较大的偏离。知道了以上情况, 我们就知道为什么把夏历叫做“阴历”是错误的。

我国夏历最大的特点是设置二十四节气。这是根据太阳运行确定的。太阳在黄道上运行, 把黄道自春分点起, 分成 24 等分, 太阳每运行  $15^\circ$ , 即到达一个节气。可见节气实是属于阳历的, 因此它在阳历里的日子比较固定。参看表 3-1,

表 3-1

节 气	阳 历	节 气	阳 历	节 气	阳 历
春 分	3 月 20(21) 日	大 暑	7 月 22(23) 日	小 雪	11 月 22(23) 日
清 明	4 月 4(5) 日	立 秋	8 月 7(8) 日	大 雪	12 月 7(8) 日
谷 雨	4 月 20(21) 日	处 暑	8 月 23(24) 日	冬 至	12 月 21(22) 日
立 夏	5 月 5(6) 日	白 露	9 月 7(8) 日	小 寒	1 月 5(6) 日
小 满	5 月 21(22) 日	秋 分	9 月 23(24) 日	大 寒	1 月 20(21) 日
芒 种	6 月 5(6) 日	寒 露	10 月 8(9) 日	立 春	2 月 4(5) 日
夏 至	6 月 21(22) 日	霜 降	10 月 23(24) 日	雨 水	2 月 18(19) 日
小 暑	7 月 7(8) 日	立 冬	11 月 7(8) 日	惊 蛰	3 月 5(6) 日

节气的设置, 显示了我国劳动人民无限的聪明才智。人们得以根据节气来安排农事, 我国的农谚如: “清明下种, 谷雨下秧”等等, 反映了节气对于人们的生产活动的重要意义。

我国历法中还有一个重要的发明, 这就是干支记日和记年。干支法是一种记数法, 它以 10 个字为天干, 12 个字为地支, 连续排列并互相配合起来, 组成 60 个数的周期(叫做一甲), 周而复始, 循环不断地用来表示日和年。所谓天干, 就是

甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸；所谓地支，就是子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥。六十干支表列如下：

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
甲子	乙丑	丙寅	丁卯	戊辰	己巳	庚午	辛未	壬申	癸酉
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
甲戌	乙亥	丙子	丁丑	戊寅	己卯	庚辰	辛巳	壬午	癸未
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
甲申	乙酉	丙戌	丁亥	戊子	己丑	庚寅	辛卯	壬辰	癸巳
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
甲午	乙未	丙申	丁酉	戊戌	己亥	庚子	辛丑	壬寅	癸卯
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
甲辰	乙巳	丙午	丁未	戊申	己酉	庚戌	辛亥	壬子	癸丑
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
甲寅	乙卯	丙辰	丁巳	戊午	己未	庚申	辛酉	壬戌	癸亥

干支记年法起源于很早时期，到了殷朝时已经发展得很完备。但殷朝所用的干支法是否与后世相连续，现在还未得到证明。不过《春秋》一书所载的干支记录与后世相连续，则是无疑的。由于我国古代采用干支记年，所以在学习历史和阅读古籍的时候，也要熟悉干支法，如我国有不少历史事件是用发生该事件的年分来称呼，如甲午战争（1894年）、戊戌政变（1898年）、辛亥革命（1911年）等。干支记日，据考证从公元前722年起直至于今，连续无误，已有2600多年的记载。这在历史学和考古学上来推算时日很为重要。

我国历法中还有一些为劳动人民所习用的规定，如“数九”和“三伏”。数九是我国劳动人民从长期生产斗争实践中总结出来的，用来说明冬季寒冷的程度。从冬至起，每九天为一个阶段，顺序叫一九、二九、三九、……，一直到九九。三九

约在冬至后二十天到一个月，气温最低；而到九九已是阳历三月的艳阳天了。

三伏的日期是按照节气的日期并配合干支记日来决定的。按夏历规定，夏至后第三个庚日为初伏，第四个庚日为中伏，立秋后第一个庚日为末伏，合称三伏。三伏具有悠久的历史，且与播种、酿造等有密切关系，因此，劳动人民一直很重视它。

#### 四、天上的时钟和罗盘

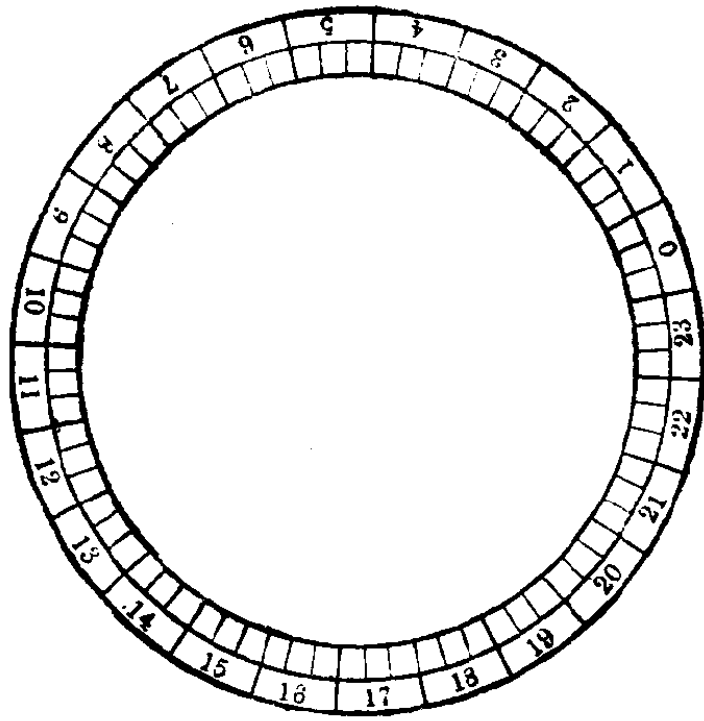
人类远古的祖先，为了耕种、游牧或航海等的需要，早就学会观察日月星辰的运行来确定时辰、判别方向。如果我们手头一时没有钟表或指南针，那么大自然自古以来所提供的“时钟”和“罗盘”，仍不失为一种有效而简便的工具；只要我们学会如何使用它们，就可以定时定向了。

野营训练，夜间行军，利用北极星最为方便。北极星本身，犹如指北针的一个针尖，长指北方；而且它和周围的恒星又构成了夜光的时针，正在向你报告时刻。

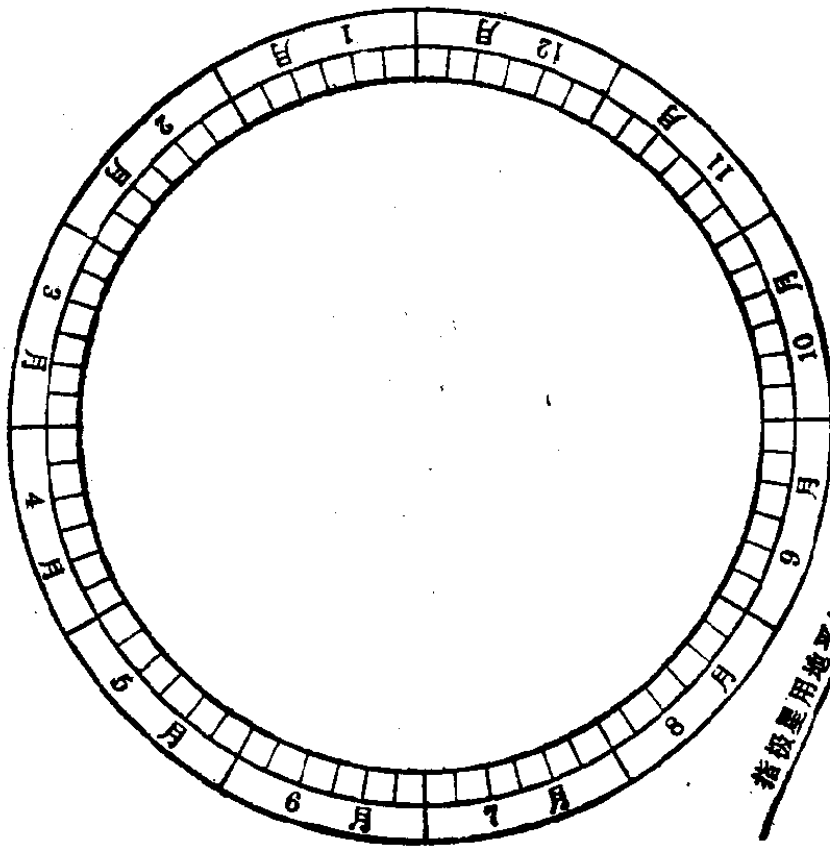
在第二章里，我们已经学过怎样在满天繁星中间，找到这并不十分显眼的北极星。找到了北极星，正北方就确定了。

上面所说的指极星和北极星的连线，正好构成一根长长的指针。这根指针，随天球的周日旋转一天转过一圈，在不同的时刻，指向天空不同的方向。可惜天空中没有一个钟面，否则就可借以读得时刻。让我们自己动手来做一个“钟面”吧。

这个“钟”的一个特点是它的指针一天反时针方向转过一周，与日常钟表时针的运转不同，所以我们把钟面分成24等分，并反时针方向标上数字，表示一天里的24小时。用纸



6



主良四用地平线

指极星用地平线

7

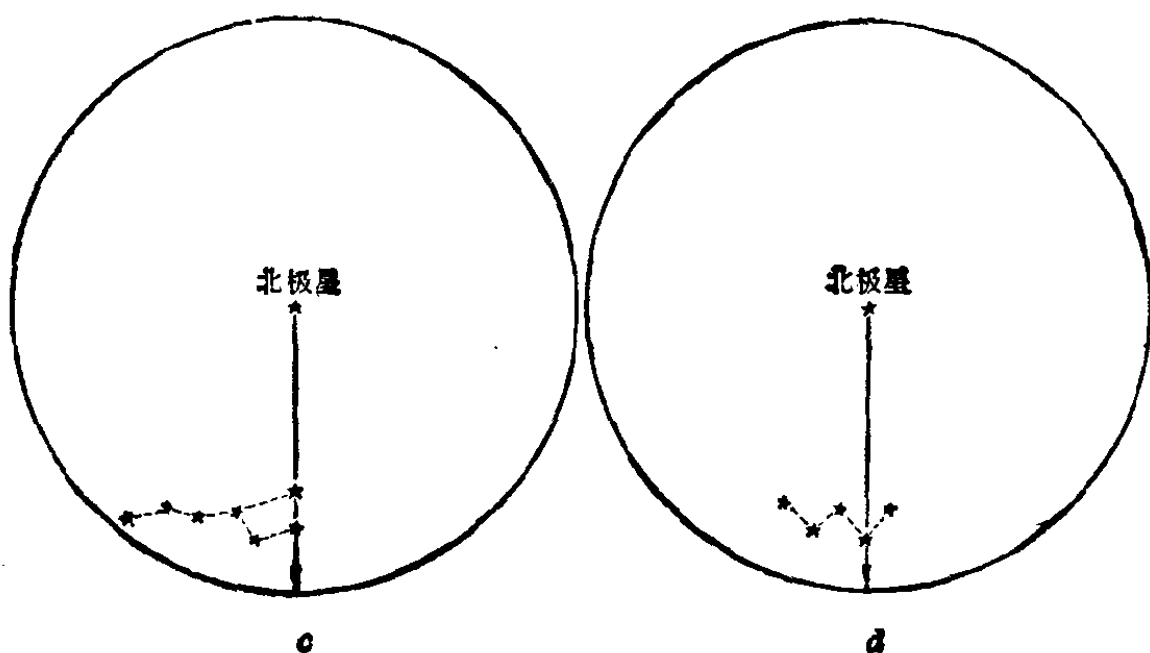


图 3-22 自制的“星钟”

板作一个如图 3-22a 所示的圆盘。

这个“钟”的另一个特点，是钟面刻划的起算点不能固定于一个方向。因为确切地说，由于太阳的周年视运动，这具钟所指的时刻是恒星时，它的指针绕北极星一周只要 23 小时 56 分。这样，例如在九月末，指针垂直指向地平线的时刻是 23 时左右；那么到了十月末，指针在同一位置时，就是 21 时左右。为了确定不同月份的起算点，要再作一个圆盘，如图 3-22b 所示，这个盘的下方与一条“地平线”固连。

再按图 3-22c 做一个“针盘”。将这三个圆盘的中心相重合，用细针将它们的中心固定，就成了一具“星钟”。

使用“星钟”的时候，我们面对北极星而立，手持星钟，使 b 盘的“地平线”保持水平（在盘的下方）。拨动 a 盘，使标志 0 时的箭头大致对准 b 盘上当天的月份和日子。再拨动 c 盘，使盘上的指针方向和天上的“指针”方向相一致。这时 c 盘上的指针就指着当时近似的时刻。

在我国一些低纬度地区，在秋冬两季的一些日子看不到



指极星。这时还需求助于仙后座，让北极星和王良四的连线充任“指针”，如图 3-22d。这时须得把  $b$  盘的另一根地平线保持水平方可应用。

有的时候，看不到北极星。这时，可以看南方天赤道上的星星来估计时间。赤道上的星总是从正东升起，六小时后经过正南（即过中天），再过六小时在正西下落。因此，如果知道当天赤道上某星升、落的时刻以及它在天空与东、西点的角距离，就不难算出当时的时刻来。

可惜天赤道上几乎没有亮星，只有三颗星可以应用。一颗是参宿三（猎户座  $\delta$ ），就是“参宿三星”中西边的那颗星；一颗是东上相（室女座  $\gamma$ ）；还有一颗是右旗三（天鹰座  $\delta$ ），参看本书后面所附星图。我们对每颗星列出了它们每月 1 日在我国各地升、落的地方平太阳时的大致时刻，以及利于观测的时期，见表 3-2，要用这张表来推算时刻。

例如，8 月 24 日夜間，看到天鹰座高悬南天，这时测得右旗三距离西点  $72^\circ$ ，求当时的时刻。从表上查得 8 月 1 日右旗三下落的时刻是 4 时 48 分。恒星下落的时刻（上升也一样）每天提前 3 分 56 秒，约 4 分钟。算得这天下落时刻要提前  $4 \times (24 - 1) = 92$  分，即 1 时 32 分，于是这一天是在 3 时 16 分下落。距西点  $72^\circ$ ，合 4 时 48 分。所以这时的时刻就是：

3 时 16 分 - 4 时 48 分，为 22 时 28 分。

同样，也可以从东点（上升点）起算。

上面求解时关键的一个工作是要测量恒星对于东点或西点的角距离。面南而立，用前面介绍的测角仪器，使它的直径保持水平， $0^\circ$  和  $180^\circ$  的两个刻划分别正对东点和西点，眼睛通过铁条的凹处和圆心处的针尖去瞄准欲测的星星，读出的角度就是此时该星对于东点的角距离； $180^\circ$  减去这个角度，

表 3-2

	1月1日	2月1日	3月1日	4月1日	5月1日	6月1日	7月1日	8月1日	9月1日	10月1日	11月1日	12月1日	利于观测时期
参宿三	16 54 4 54	14 48 2 48	12 53 0 53	10 56 22 56	8 57 20 57	6 55 18 55	4 57 16 57	2 54 14 54	0 52 12 52	22 54 10 54	20 52 8 52	18 54 6 54	8 月 到 下年 4 月
东上相	0 4 12 4	21 58 9 53	20 8 8 8	13 6 6 6	16 7 4 7	14 5 2 5	12 7 0 7	10 4 22 4	8 2 20 2	6 4 13 4	4 2 16 2	2 4 14 4	12 月 到 下年 7 月
右旗三	6 43 13 43	4 42 16 42	2 52 14 52	0 50 12 50	22 51 10 51	20 49 8 49	13 51 6 51	16 43 4 43	14 46 2 46	12 43 0 43	10 46 22 46	8 47 20 47	3 月 到 11 月

就是对于西点的角距离。

要是没有一个这样的工具可供测量,就只能来估计角度。下列数据可供参考:地平至头顶或正东到正南为 $90^\circ$ ,猎户 $\alpha$ 至 $\beta$ 约为 $20^\circ$ ,猎户 $\alpha$ 至 $\delta$ 约为 $10^\circ$ ,仙女 $\alpha$ 至 $\beta$ 约为 $15^\circ$ ,大熊 $\alpha$ 至 $\beta$ 约为 $5^\circ$ ,仙后 $\alpha$ 至 $\beta$ 约为 $5^\circ$ ,日、月视圆面直径约为 $0.5^\circ$ 。此外,把手臂伸直,手指张开,眼睛看大拇指与小指张开的角度约为 $15^\circ$ ,而一个拳头的张角约 $7^\circ\sim 8^\circ$ 。

上面两个方法算出的时刻是地方时,如果要化为北京时间,还必须知道当地经度,求出当地经度与东经 $120^\circ$ 的差( $120^\circ$ 以东差值为负, $120^\circ$ 以西差值为正)。地方时加上这个差值(化为以时和分表示)就得北京时间。

此外,当我们熟悉了上述赤道附近的星星后,也可以利用它们的出没方位来测定方向。为此,只要记住它们升起的地方是东点,下落的地方是西点,位置最高时是在南方上空。这样,东西南北四个方向就容易定出来了。

在看不到北极星时,可以用月亮来辨方向。

如果我们在黄昏看月亮,看到弯弯的一钩月牙(夏历初三到初五的蛾眉月),这时月亮大致在西南方向。它突出的一边正对西方;如果看到半个月亮(初七到初九,上弦月),那么月亮大致在南方;看到大半个月亮(初十到十三),月亮大致在东南方;如果看到圆圆的一轮满月(十五到十七),圆月的方向大致在东方。

清晨看月亮,方向的顺序同黄昏时刚好相反,如清晨看到蛾眉月,月亮大致在东南方向,它突出的一边正对东方。

不过上面所说的方向,只是在春分、秋分前后比较准确。在夏至前后,黄昏时看月亮所在的方向,都要顺时针方向增加一些,清晨看月亮所在的方向,都要逆时针方向增加一些。而

在冬至前后又倒了过来, 黄昏时看月亮所在的方向, 要向逆时针方向增加一些; 清晨看月亮所在的方向, 要向顺时针方向增加一些。

表 3-3、表 3-4 可以帮助我们根据月亮判别方向。

应该指出, 看月相定方向的方法不如用北极星定方向来得准, 尤其是所说的黄昏和清晨是个很长的时间间隔, 这段时间里月亮的方位变化很大 (在高纬度地区比在低纬度地区更

表 3-3 黄昏时根据月亮判别方向

月 相		上娥眉月	上 弦	大月亮	满 月
夏 历 日 期		初三到初五	初七到初九	初十到十三	十五到十七
方 向	春 分 秋 分	西 南	南	东 南	东
	夏 至	西南偏西	南 偏 西	东南偏南	东 偏 南
	冬 至	西南偏南	南 偏 东	东南偏东	东 偏 北

表 3-4 清晨时根据月亮判别方向

月 相		下娥眉月	下 弦	大月亮	满 月
夏 历 日 期		廿四到廿六	廿一到廿三	十七到十九	十五到十七
方 向	春 分 秋 分	东 南	南	西 南	西
	夏 至	东南偏东	南 偏 东	西南偏南	西 偏 南
	冬 至	东南偏南	南 偏 西	西南偏西	西 偏 北

明显), 因此不易得出很满意的结果来。而且只有上半个月黄昏时能看到月亮, 下半个月清晨时能看到月亮。不过, 这个方法在必要时仍有一定的实用价值。

白天怎样由观天来定时定向呢? 读者会很自然地想到太阳吧。是的, 白天唯一可见的天体是太阳, 为了在白天定时, 我们可以做一具简单的日晷。

取一块光滑平整的圆板, 从圆板的中心每隔  $15^\circ$  画一条分划线, 把圆周均匀地分成 24 分, 表示 24 小时。在每一等分里再细分成四分或六分, 表示一刻钟或十分钟。圆板的正反两面都这样画好分划, 并标上数字, 从 0 时到 23 时; 一面顺时针方向标, 另一面反时针方向标; 两面的 0 时和 0 时, 12 时和 12 时都分别对准。用一根针垂直通过圆心, 固定在圆板上, 把圆板安放在一个支架上。安放的时候要注意三点: 1. 圆板连同针对于地面是倾斜的, 使得针的仰角等于当地纬度, 也就是针指向北天极方向, 圆板表示天赤道。2. 圆板上 0 时到 12 时的刻线, 应安置在事先确定好的南北方向, 而且 12 时在下。3. 数字顺时针方向标的那一面应该朝上(即朝北)。这样就做成了一具赤道式日晷(图 3-23)。

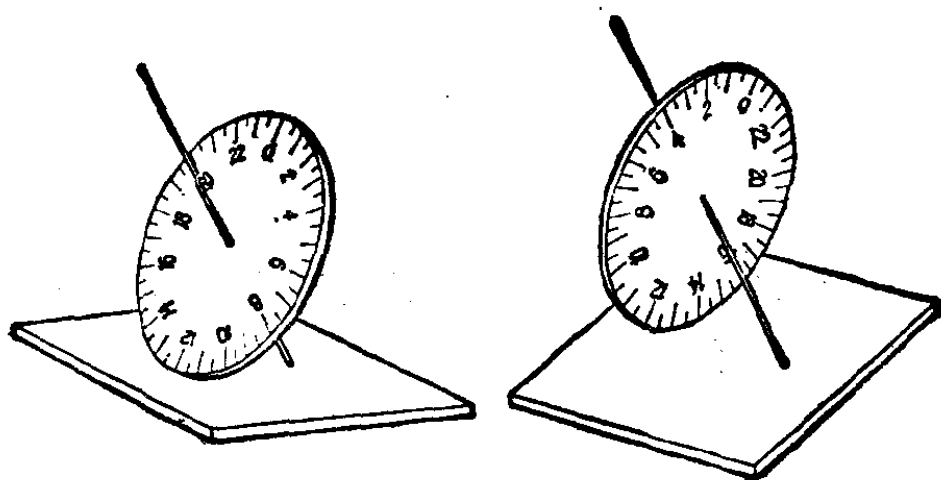


图 3-23 自制的日晷

从春分到秋分的这半年里,太阳在天赤道以北,因而在日晷朝上的这一面上来看针影定时间。可是从秋分到春分的这半年里,太阳在天赤道以南,则要在日晷朝下的这一面上来看针影。这就是两面都需刻度的原因。

白天利用太阳来定方向,有一个简便易行的方法。如果你有手表(或时钟),把手表平放,使时针对着太阳的方向。将时针和表面上“12”之间的夹角平分,平分线的方向就指着南方(图 3-24)。不过对于我们的指示“北京时间”的钟表来说,这个方法只对经度靠近  $120^{\circ}$  的地区才适用。

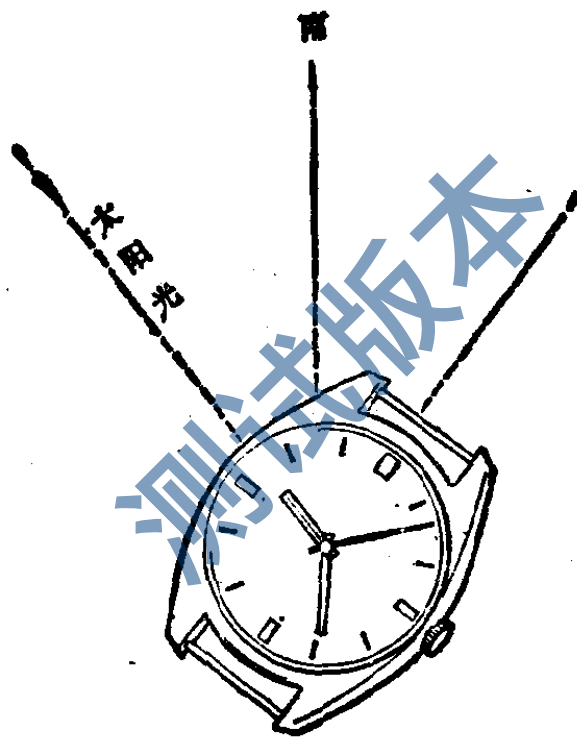
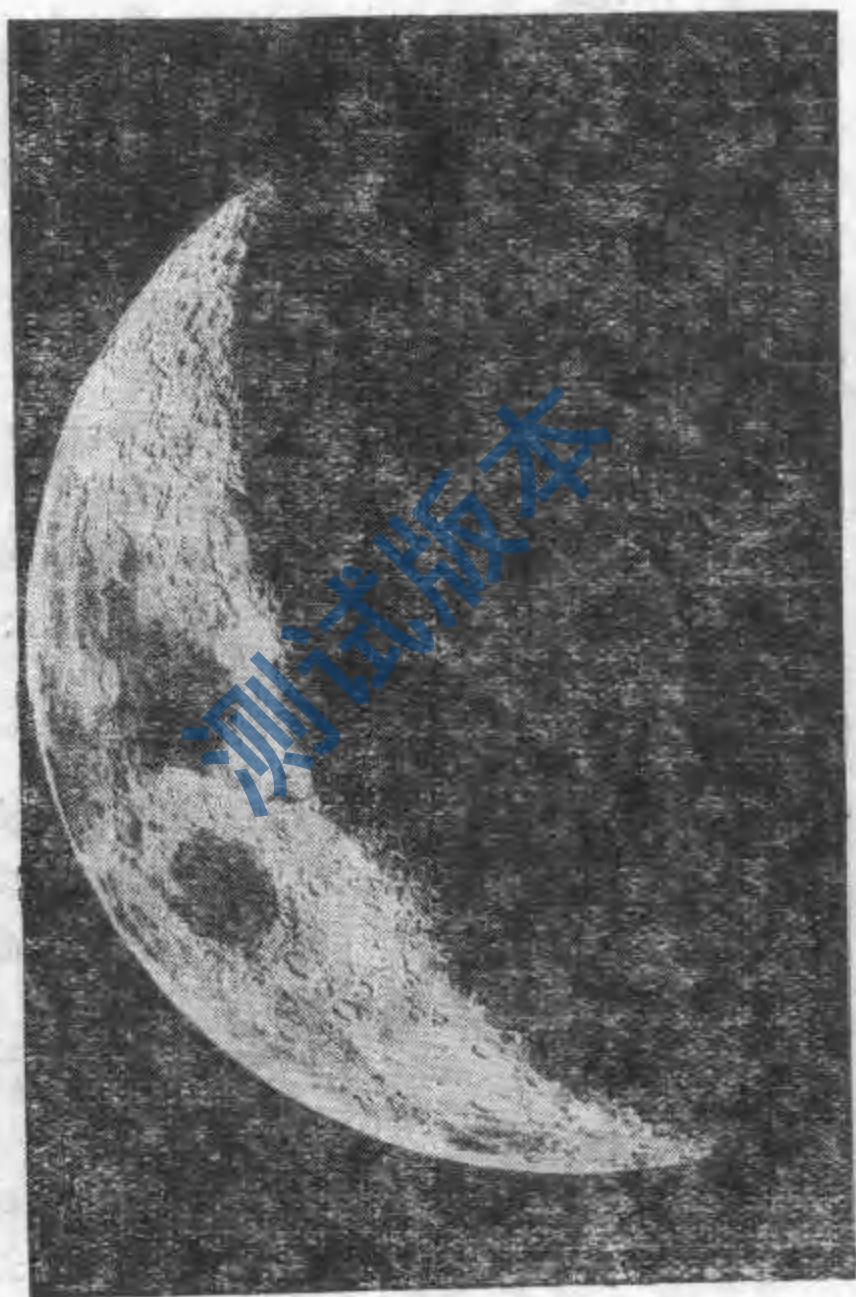


图 3-24 用手表定方向

上面介绍的方法,只要读者不断观察天象,反复练习应用是能够熟练地掌握的。



# 第四章 月 亮



## 一、遥望天边月

天边一轮明月，遥望似一面银镜。满月的夜晚，夜幕刚刚垂临，它便从东方地平线上冉冉升起，整夜倾泻出柔和静寂的光辉，照亮酣睡的大地。

月亮是地球的伙伴，围绕着我们的地球奔腾回旋不息，自从它诞生四十多亿年以来，从未离开过。在古代，人们就注意它，遥望它，根据它“相貌”的周期性变化计量时间，制订以它的运动为准的历法。近代，人们更懂得它在宇宙中所处的地位。它离我们最近，对我们的影响仅次于太阳而列第二，它又是人们星际航行的第一站。

月亮离我们最近是显而易见的。我们遥望天边月的时候，看到它在星座间移动时遇上了星星便把星星掩住，相反的情况却从未见过。当然，也不是说它就在我们隔壁，毕竟还远

离我们 384400 公里之遥。只是它与其他天体相比，算是近在咫尺。

人们用三角视差法便可获知这个天边月离我们多远。

我们知道，在地面上欲测远方目标  $C$  的距离（图 4-1），可以选取一条已知长度的基线  $AB$ ，自  $A$  点和  $B$  点用仪器对准  $C$ ，测出角  $A$  和角  $B$ （因而角  $C$  也可定出），用三角公式便算出

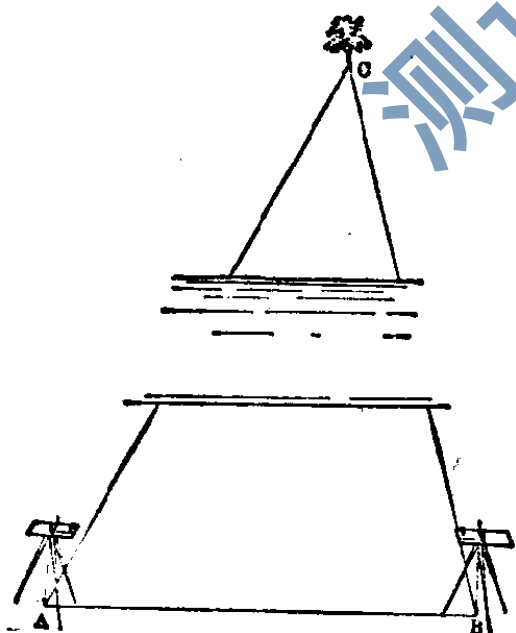


图 4-1 地面上三角测量

本章题头图：娥眉月。



目标  $C$  的距离。天文工作者用地球的半径作为测量月亮距离的基线。从月亮中心看地球半径所张的角度叫做月亮的“视差”(图 4-2)。如果在地面上甲乙两地同时对准月亮摄影,在以远方星星为背景的照片上月亮的位置是不同的,这种差异就是月亮的视差  $p$ 。 $p$  与月亮的距离  $d$  以及地球的半径  $R$  有如下的关系:

$$\frac{p^\circ}{360^\circ} = \frac{R}{2\pi d}$$

当然,如图 4-2 中标出的甲乙两地同时观测月亮是不可能的,

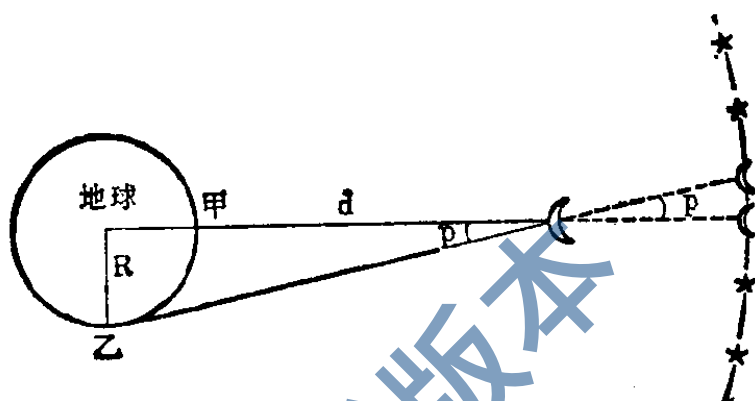


图 4-2 用三角法测量月亮距离的原理

因为对于乙地,月亮位于地平线上。实际上测量是在地面上相距很远、经度尽量接近、月亮的位置又便于观测的两地同时进行的。经过一些换算可以得出月亮的视差,  $p$  为  $57'02''.6$ 。将地球半径的数据代入上式,求得月地间的距离为 384400 公里。这是一个平均值。因为月亮围绕地球转动的轨道不是圆,而是椭圆,离地球最近时为 356400 公里,最远时 406700 公里。

现代,用雷达向月亮发射无线电脉冲讯号,并接收自月面反射返回的讯号,测出讯号往返的时间间隔,再算出月地距离。用这种方法测定的月亮距离精度可达 1 公里。近几年来,激光技术迅速发展,已应用于测定人造卫星和月亮的距离(原

理和雷达测距相同),精度达到几米。

球体的半径通常总是以长度的单位来量度的。但在天文上也有用角度表示的。观测者看到的星球圆面的张角称为星球的“角直径”,角直径之半就是“角半径”。譬如,图4-2中月亮的视差 $p$ 就是在月亮中心所见的地球角半径。角半径当然还不能表示星球的真实大小,但如果知道了星球的距离,通过简单的三角公式计算,便能从角半径求出以长度单位表示的“线半径”了。月亮位于月地平均距离处的角半径为 $15'33''$ ,它的线半径等于1738公里,相当于地球赤道半径的0.2725倍。月亮的体积只有地球体积的 $1/49$ 。月亮的表面积是3800万平方公里,相当于我国面积的四倍。

我们遥望天边月,很自然地会注意它在星座间的移动。月亮自西向东围绕地球转动,把它的轨道所在的平面无限扩展开去,同天穹相截的圈便是月亮在星空中移动的轨迹,称之为“白道”,以别于天赤道和黄道。白道和黄道倾斜成 $5^{\circ}8'43''$ 不大的角度,因而月亮总是在黄道附近的星座中徘徊。月亮绕地球转一周历时27日7时43分11.47秒,叫做“恒星月”。它是以恒星定标的,即月亮从某颗恒星的近傍出发,又返回到该星附近同一位置的时间间隔。

明月没有自己的光辉。月亮和地球一样,自己不会发光,全靠被太阳照亮。迎着太阳的半个球是亮的,背着太阳的半个球是暗的。又因日、地、月三者的相对位置随着月亮绕地球运行而变化,便造成了月亮各种圆缺形状——月相——的更迭(图4-3)。月亮位于日、地之间时叫做“朔”,月亮暗的半个球朝向地球,我们看不到它。朔之后的一、二天,镰刀状的新月在傍晚西方的天空中露面,凸面向着落日的方向。以后月亮相对于太阳逐渐向东移动,明亮的部分日益扩展。五、六天以后成

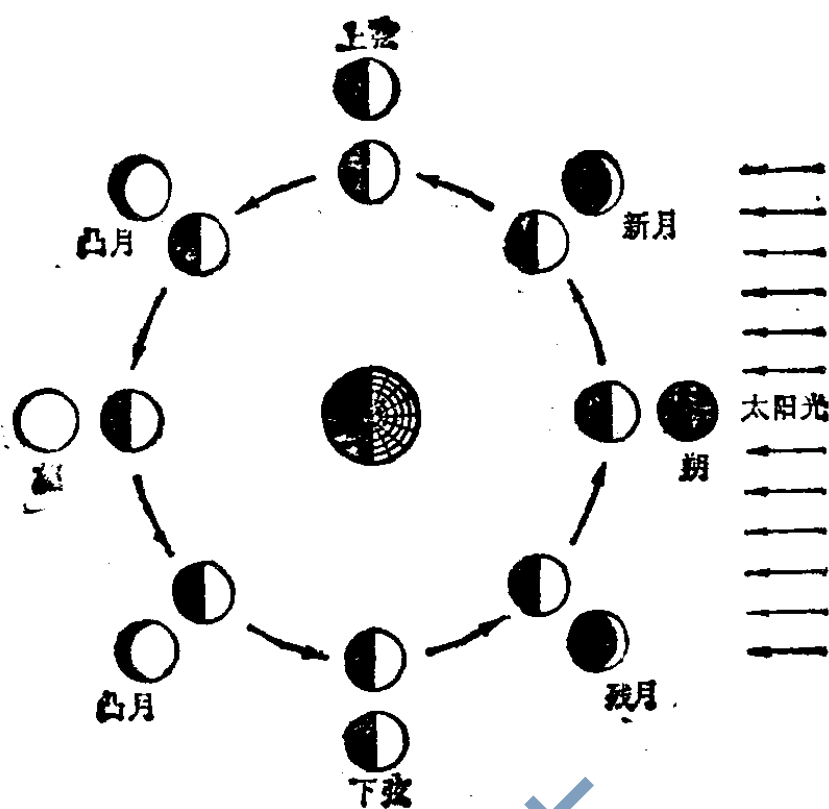


图 4-3 月相的循环。内圈表示月亮绕地球的运动，外圈绘出了地球上看到的月相

了半圆形，这时的月相称为“上弦”，日落时月亮在天子午线附近。再经过七天，便到了“望”（满月），月亮同太阳遥遥相望。我们看到的是一轮明月，于傍晚东升，在晨曦中西落，通宵照耀。满月以后，圆轮的西部日益亏缺。到“下弦”时，呈半圆形，月亮于半夜升起。和上弦月相反，下弦月是东边半个圆被照亮。下弦以后，半圆继续亏缺，成为黎明前挂在东方天空的一丝残月。它愈来愈接近太阳，终于跑到和太阳相同的方向，朔又来临。

月相变化的周期——“朔望月”，并不等于恒星月，而比恒星月长些，等于 29 日 12 时 44 分 2.78 秒。原因在于月亮不仅绕地球转动，而且陪伴着地球围绕太阳运行。从图 4-5 我们明显地可以看出两者的区别。因此，月亮绕地球转动的真正周期乃是恒星月，不是朔望月。我国仍在使用的夏历（农历）是



图 4-4 各种月相的照片

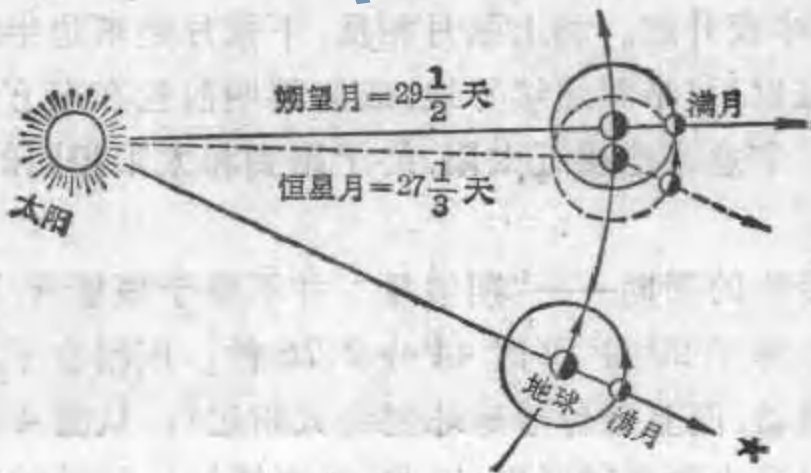


图 4-5 恒星月和朔望月的区别

一种结合月亮和太阳视运动的阴阳历，其历月的长度就是根据月相的循环。

每当月亮呈镰刀状出现在天边的时候，我们仍能看到月亮圆面的其余部分显现微弱的光辉。这光辉来自地球反射的太阳光，称为“灰光”。若从月亮上回首眺望地球，地球也同样有圆缺的变化，而且总是和月相相反。月亮处于朔附近时，地球正是望的前后。前面我们讲过，月亮的视差等于 $57'$ ，换句话说，在月亮的天空中地球的角直径约 $2^\circ$ ，而月亮的角直径仅半度。地球能把入射阳光的40%反射出去；而月亮的反射本领差得多，只能反射7.3%。因此，“满地”把月亮上的夜晚照得亮堂堂，比地球上的月夜亮得多。

细心的人在遥望天边月的时候必定会发现，月亮出没的方向以及经过天子午线时的高度变化很大。这是因为白道很靠近黄道，月亮一月内在天穹上运动的情况与太阳的周年视运动相仿。以满月为例，此时日月处于相反的方向。夏季，满月类似于冬季的太阳，从东南升起，西南下落，中天时的高度很低，照耀的时间短。冬季，与夏季的太阳相仿，一轮明月从东北升起，西北下落，中天时位置很高，照耀的时间比其他季节的满月长。

月亮每天东升西落的运动是地球自转的反映，与它毫不相干。月亮围绕地球的转动表现于它在星座间自西向东移动。移动一周历时一个恒星月，平均每天东移 $13^\circ$  ( $360^\circ/27.32$ )。因此，月亮升起时间平均每天推迟50分钟。不过，一年四季中每天实际迟升起的时间是不一样长的。例如在北京，有时月亮比前一天仅迟升起22分钟；有时却比前一天晚升起80分钟。原因并不是月亮的运动中有那么大的不均匀，而是白道和地平线的交角在变化。在北京，这个角度最大达 $78^\circ 5'$ ，最小仅 $21^\circ 5'$ 。



月亮升起时,如果白道和地平线的交角小,月亮比前一天迟升起的时间就短;如果交角大,迟升起的时间就长(图 4-6)。

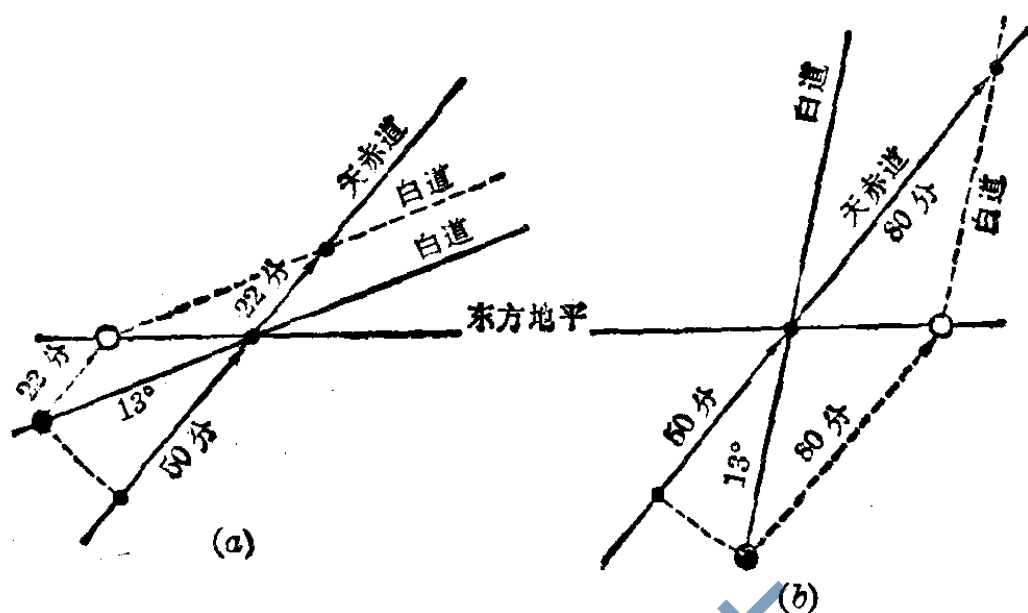


图 4-6 月亮逐日迟升起的时间和白道与地平交角的关系  
(a)交角小,迟升起的时间短; (b)交角大,迟升起的时间长

无论何时,用望远镜遥望天边月,老是看到同样的半个球,另外半个球总是背向地球。假若漫不经心地思索,可能以为这现象表明月亮不自转。其实不然。为了说明这个现象,我们在月面上某点画一垂直于表面的箭头。如果月亮不自转,在月亮绕地球运行的过程中,箭头始终指向空间同一方向,月面的各部分依次朝向地球(图 4-7a)。所以,仅在月亮的自转和绕地球转动的周期相等、方向相同(都是反时针方向)的情况下,月亮才以同一面朝着地球(图 4-7b,图 4-7c 表明了如果月亮按顺时针方向自转,即使和绕地球转动的周期相等,在地球上也能看到月面的各部分)。因此,月亮自转一周的时间,等于一个恒星月,而月亮上的一昼夜等于一个朔望月,两者的差别犹如地球上恒星日和平常太阳日的不同。

“月亮绕着地球转动”,这句话其实不太严格。实际的情

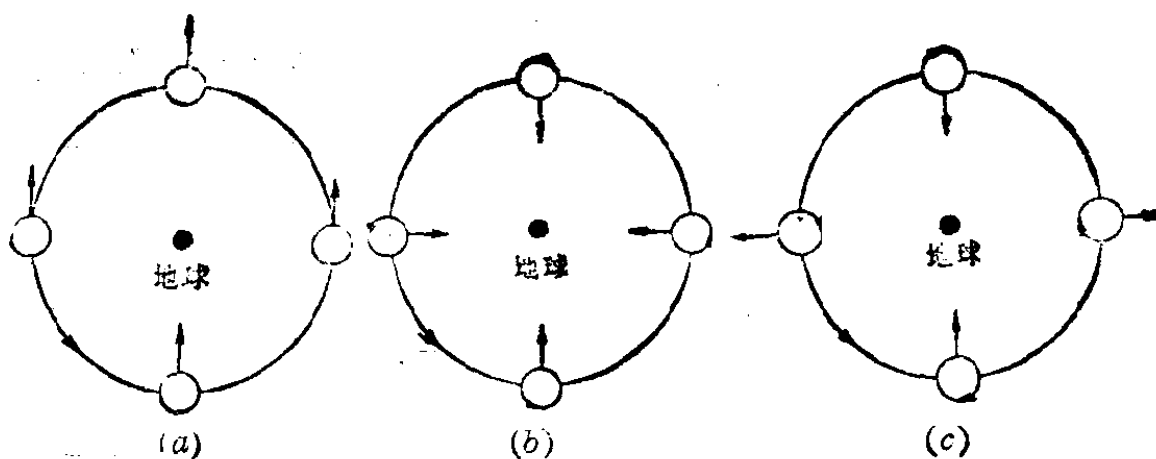


图 4-7

- (a) 如果月亮不自转, 在一个月内月面的各部分依次朝向地球
- (b) 月亮自转和绕地转动的周期相等, 方向相同, 月亮以同一面对地球
- (c) 月亮自转和绕地转动的周期虽然相等, 但方向不同, 地球上也能看到月面的各部分

形是月亮和地球都绕着地月系统的质量中心转动。想象有一根棒把地球和月亮的中心连起来, 通过棒上的某点把棒搁在支架上, 如果在棒两端的地球和月亮能保持平衡, 那末该点就是地月系统的质量中心。它到地球中心和到月亮中心的距离之比等于两者质量的反比率。在地月系统围绕太阳运转的过程中, 它的质量中心的轨道是椭圆, 而地心则在椭圆的两旁波浪式地前进(图 4-8)。地心的这种以一月为周期的微小摆动必定反映在太阳的视运动中。通过对太阳视运动的精密观测,

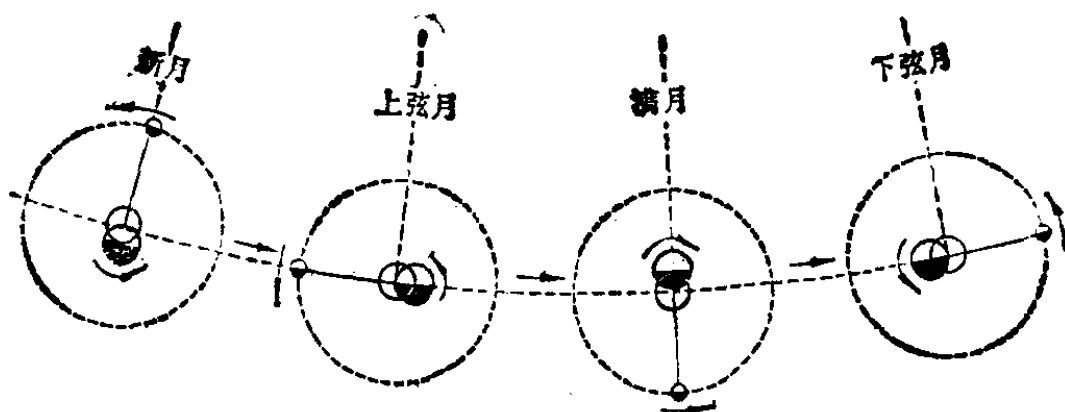
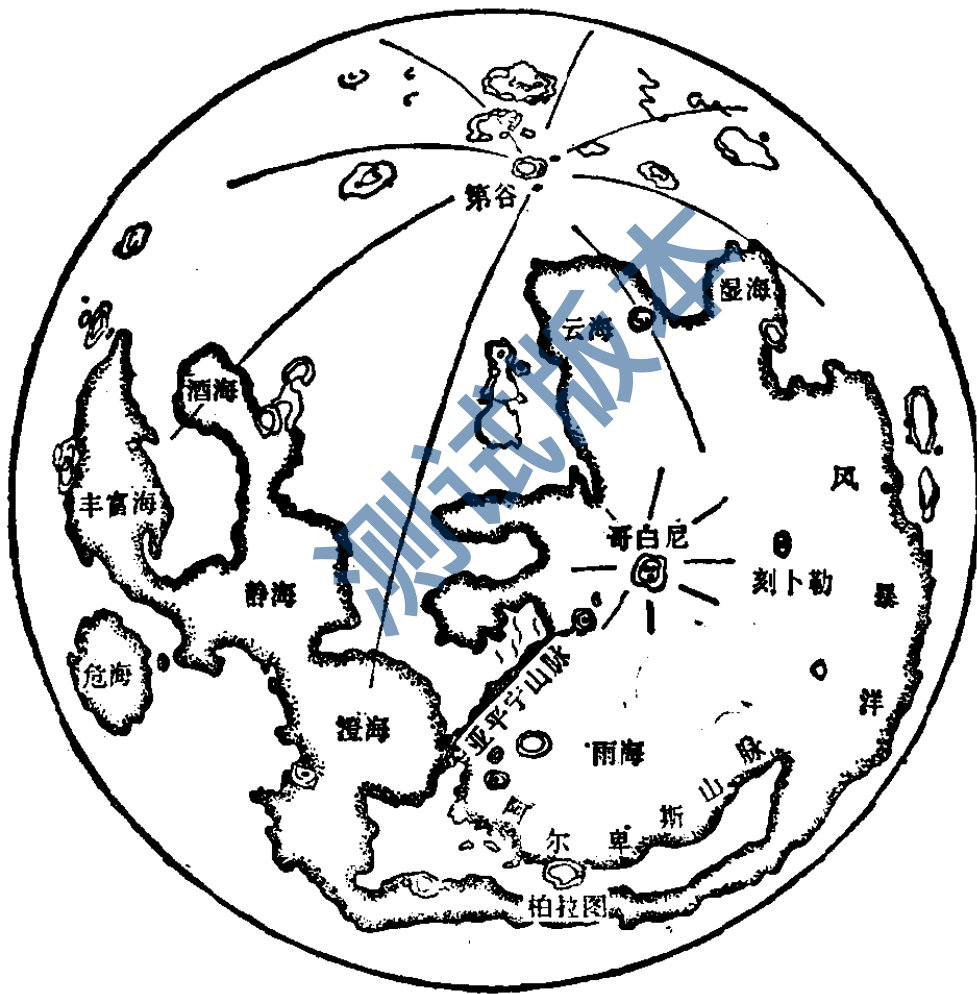


图 4-8 在地月系统绕太阳运转的过程中, 地心绕地月系统质量中心转动的情况

定出了地月系统质量中心的位置。它处在地球内部，离地心 4671 公里，离月亮中心 379729 公里。从这两个数据的比值得出月亮的质量等于地球质量的  $1/81.3$ 。

## 二、万籁静寂 不毛之地

我们的地球有辽阔葱绿的原野、浩瀚澎湃的海洋、蜿蜒曲折的河流、巍巍高耸的山峦、明媚如镜的湖泊、多变复杂的气



(a)

图 4-9 月面上的海以及几个著名的环形山和山脉，对照后面满月的照片(b)



候，在阳光沐浴下，万物生长，生气勃勃。而我们的卫星却是万籁静寂的不毛之地。

月亮是一个荒凉、坎坷的世界。没有生物或生物留下的痕迹，死气沉沉。几乎可以说它没有大气。试看，月亮上的明暗分界线十分显著，不象在地球上由于大气分子散射阳光，白天和黑夜之间有着晨曦和黄昏的过渡。月掩星的时候，星星在月亮后面一下子就消失了，没有丝毫的迹象表明星光受到大气的折射。从月亮的质量和半径的数据算出月亮表面的重



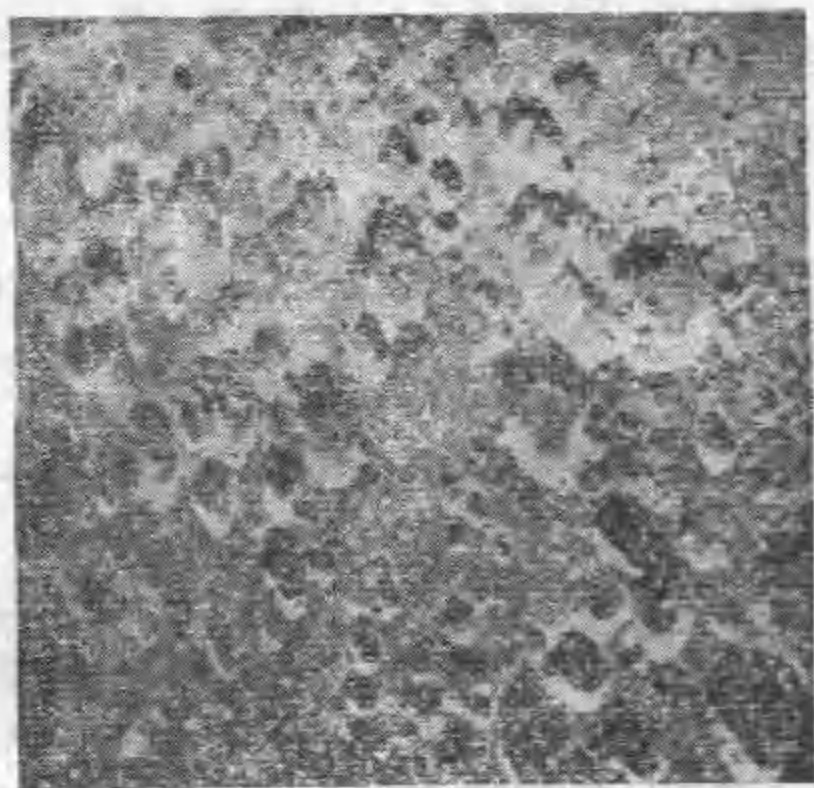
(b)

力为地球表面重力的  $1/6$ 。地球上一个体重 60 公斤的人，到月亮上只重 10 公斤。月亮微弱的重力使它保持不住大气层。月亮上的逃逸速度只有 2.4 公里/秒，比地球上的逃逸速度 11.2 公里/秒小很多。在阳光照射下，轻的气体分子的热运动速度就大于逃逸速度，纷纷飞散到星际空间里去。虽然从表面以下不时有小股气体逸出，月亮只能挽留住象氙、氦那样重的气体，而这些元素是太稀少了。月亮大气的密度估计小于地球海平面上大气密度的一万亿分之一。由于没有大气层保温，月面上昼夜的温度差别非常大，中午高达摄氏  $127^{\circ}$ ，黎明前下降到摄氏零下  $183^{\circ}$ 。在为期一个朔望月的昼夜内，经历了生物难以忍受的酷暑和严寒。月亮上的天空，由于没有大气的散射光，即使在阳光普照的白昼，也是漆黑的，满天星斗，星星显得格外明亮，而且不闪烁。在半个月亮上，可以看到地球，地球几乎静止不动地悬在天穹上，而太阳和星星缓慢地自东向西巡行。

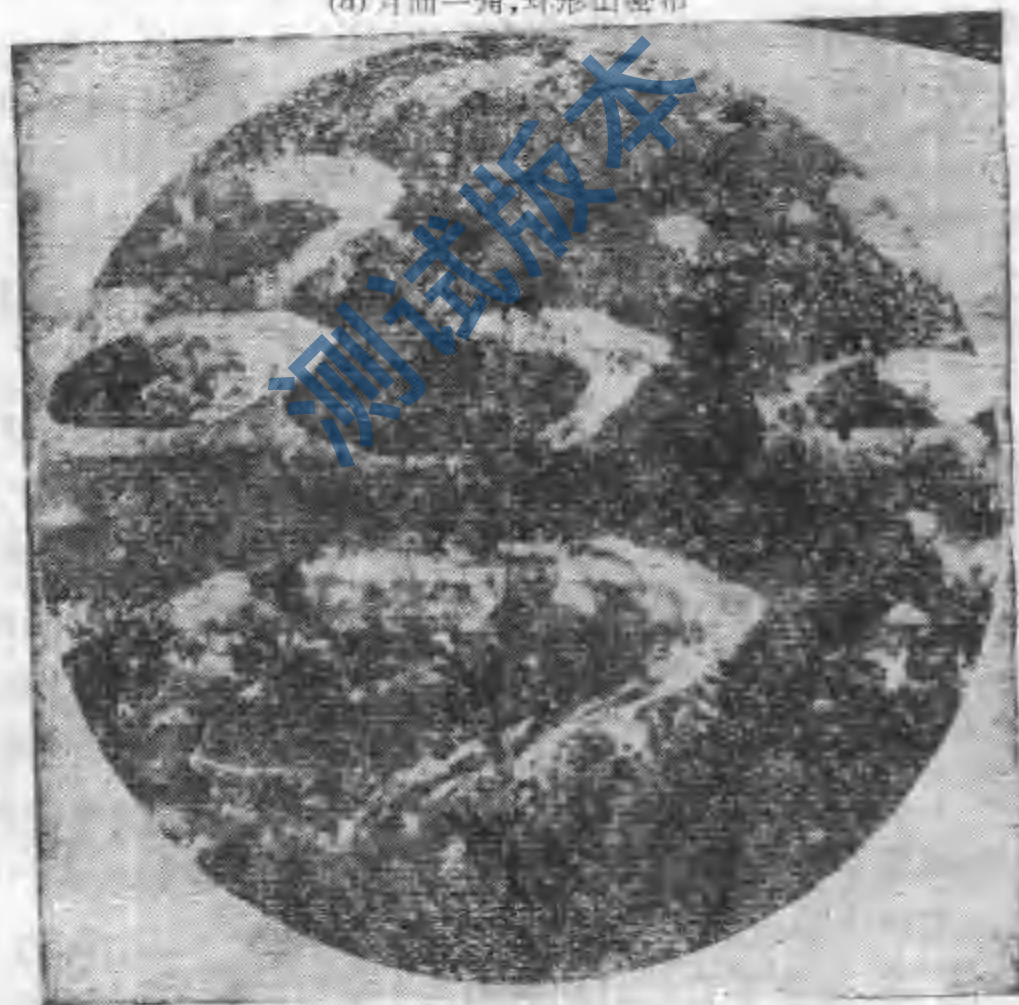
月面具有复杂的结构，在阳光照耀下明暗相间(图 4-9b)。古代的民族根据月面上的暗斑构成的图案想象了一些关于月亮的神话。月面上的阴暗区域，面积较大的称为“海”(图 4-9a)，较小的获得了“湖”、“湾”或“沼”的名称，面积最大的一个叫做“风暴洋”。月面上的海是徒有虚名，滴水不含，其实是较平坦的比周围低洼的大平原。它们约占了月面的 25%。根据海的颜色和岩石的分析，推断海曾经是熔岩流，后来固化了。

月面上明亮的部分是高地和山脉，那里峰峦重迭，山脉横贯。坑穴密布，沟壑纵横。最显著的特征是星罗棋布的“环形山”(图 4-10)。环形山形似运动场或地球上的火山口，圆形的广场被环状的岩壁所包围，它们数以万计，不仅分布在高地上，海里也有一些。大多数的环形山直径由 1 公里至几公里，更小





(a) 月面一角, 环形山密布



(b) 几个环形山的特写镜头

图 4-10

的只能称为坑穴了。也有不少环形山直径在 100 公里以上，最大的一个直径达 235 公里，装得下我国的海南岛。有些大环形山内还有较小的环形山和坑穴，甚至有比环壁低些的小山耸立在广场上。

环形山是如何形成的呢？有两种流行的解释：陨星碰撞和火山爆发。在星际空间游荡的石块——陨星体——遇上了月亮，由于月亮没有大气，陨星体长驱直入，毫无阻拦地冲向月面。当陨星和月面撞击的瞬间，动能转化为热能，温度急剧升高到几千度，引起了爆炸，造成了一个坑穴。坑穴的范围可能比撞击的陨星大得多。爆炸时物质向四面八方飞溅，落回月面便堆砌成环形山。有些环形山中间凹下去的体积大致等于四周墙垣的体积，是对陨星碰撞说的支持。我们的地球多亏有大气层的保护，大多数与地球相遇的陨星已在大气层中烧成灰烬，地面上才免遭陨星“轰炸”的灾难。另一方面，曾经观测到个别的环形山偶然有明亮的气体云逸出，似乎存在活火山。对这两种解释看来不可偏袒一方。大的环形山由陨星碰撞形成，一部分较小的环形山可能是火山活动的产物。

地球的表面由于受空气和水的侵蚀，面貌在缓慢地演变着，例如，顽固的岩石经不住风化，变成了土壤。月亮上虽然没有空气和水，但存在其他的侵蚀因素。随着昼夜温度的巨大变化，岩石表面热胀冷缩的幅度比内部大，引起岩石碎裂。太阳的紫外光、X 射线和  $\gamma$  射线的辐射，太阳风以及来自宇宙空间被加速到接近光速的原子核——宇宙线——的轰击，破坏了岩石的结晶结构。行星际空间的尘粒不断地撞击月亮，逐渐改变了月面原始的状态。从环形山岩壁的形状可以明显地看出侵蚀的痕迹。图 4-11 上面是哥白尼环形山，墙垣陡峭，棱脊毕露，表现了青年时期的环形山的特征；下面那个环形山



名叫克拉维斯, 墙垣坡度迟缓, 棱脊磨损, 遭受了严重的侵蚀, 表现了老年时期的特征。月亮上的“海”也有类似的情况。有些“海”几乎被山围裹, “海岸线”十分明显。有的与周围的“大陆”之间界限模糊, 这又是侵蚀的后果。

当陨星撞击月面的时候, 由于月面上的重力很小, 被炸起

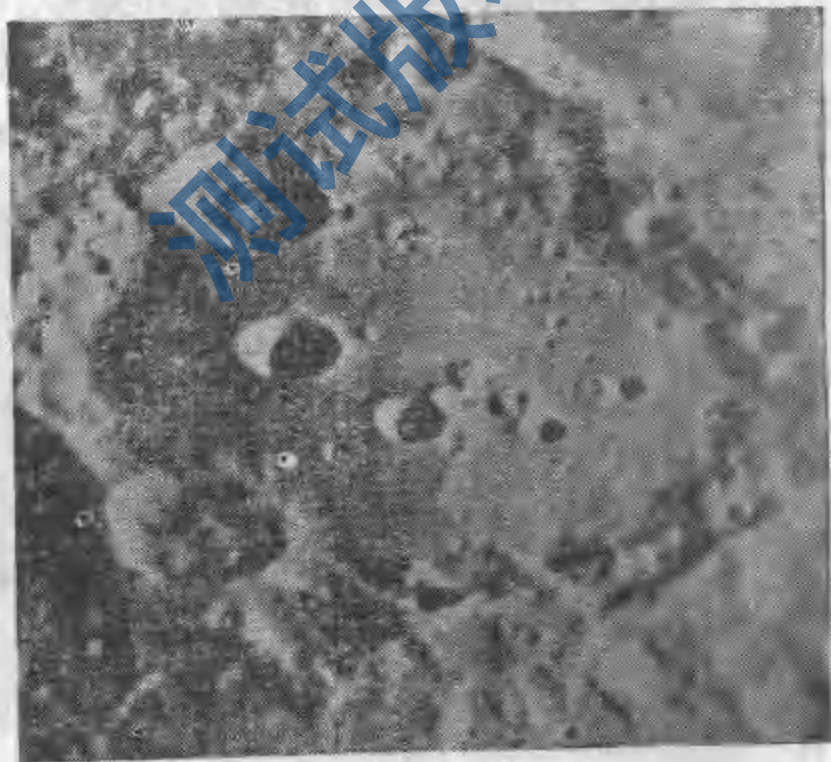
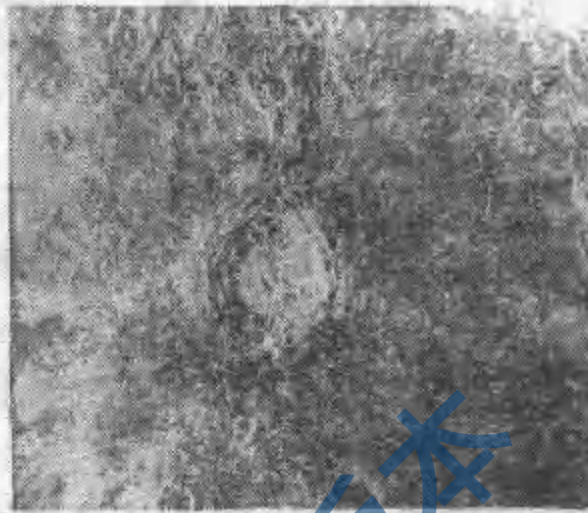


图 4-11

(上)年青的哥白尼环形山; (下)年老的克拉维斯环形山

的岩石碎片和尘土,有一部分喷射得很远,它们洒落在月面上铺成了以环形山为中心向四面八方伸展的“辐射纹”。只有一些年青的大环形山具有辐射纹,如哥白尼(图4-11上)、第谷、刻卜勒(见图4-9)。位于月面南部的第谷环形山的辐射纹尤其显眼,延伸几千公里。被炸起的岩石碎片落回月面又打击出沿辐射纹分布的次级环形山。大多数的环形山,特别是年老的,没有辐射纹,可能又是侵蚀在作怪,使辐射纹消退了。

月面上山脉较少,大多以地球上山脉的名字命名。最大的是亚平宁山脉(图4-12),长6400公里。这条山脉上有些峰峦高达4千多米。图4-13展示了另一种月面结构——称为“月谷”的裂缝。它们是普遍存在的。月亮背面具有类似的面貌,高地和山脉比正面多,海较少。

月面崎岖不平不仅表现于山峦、坑穴和月谷,而且岩石散布,非常粗糙。月岩大多是火成岩,由月亮表面或表面之下的熔岩冷凝而成。月岩的成分同地岩基本相似,但地岩中含量

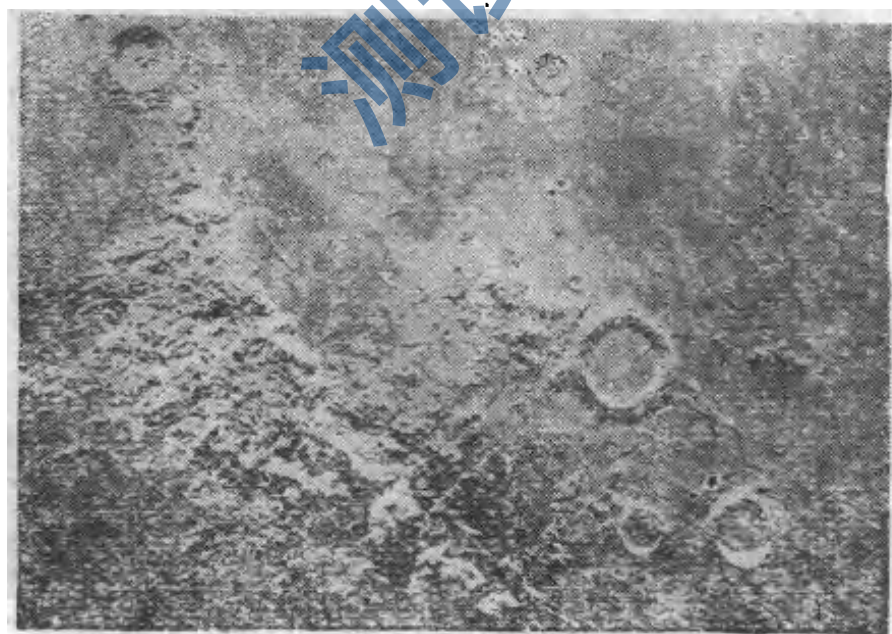


图4-12 亚平宁山脉和雨海的一角



图4-13 月 谷

极微的锆、铪、钇和稀土元素，在月岩中则较丰富。地岩中水分较多，而月岩普遍缺水。从月岩中已分离出多种氨基酸，它是构成核酸、蛋白质的基本成分。月面上覆盖着很薄的一层尘土，厚度各处不同，从几厘米到十来米。侵蚀引起的岩石崩解以及火山爆发都能生成尘土。有趣的是月亮的尘土内含有玻璃质小珠，有些月岩覆盖着玻璃质的壳。它们可能来源于陨星撞击，熔化了岩石，并向周围飞溅。月亮有丰富的放射性元素。通过测定放射性元素及其衰变物的含量可定出月岩和尘土的年龄，最老的约45亿年。我们的卫星至少有那么“老”了。月岩的平均密度约为水的密度的3倍，比月亮总体的平均密度 $3.34 \text{克/厘米}^3$ 小得不多，月亮不会象地球那样有一个稠密的液态铁的核心。

我们的卫星并非完全是一个僵死的星球，它在轻微地活动。如同地球上地震，月亮上也有月震。月震的次数比地震少得多，释放的能量远小于地震。除了陨星撞击引起的震动之外，当月亮离地球最近或最远时，常伴有月震。它是由地球的起潮力触发的。另有一类来历还不明的月震，在几天内



每隔几小时反复发生。月震的稀少意味着月亮内部是固态的,中心温度低于 1000K。

### 三、日食和月食

骄阳当空,万里无云,眩目的日轮突然被蒙上了一块阴影,阴影逐渐扩展,以至整个日轮都消失了它的光辉,黑夜骤临,明星显现,气温下降,飞鸟归巢,走兽恐惶……。满月的夜晚,一轮明月有时会慢慢地残缺下去。日食和月食的景象给人们留下了深刻的印象。古代,人们不懂得日月食的科学道理,引起了惊异和恐慌,在我国有“天狗食日”、“蟾蜍食月”之说;在外国有黑爪巨龙或两条饿狼追逐日月之说。人们敲锣打鼓为日月助威,或顶礼膜拜祈求神灵把日月释放。当人们懂得了日月食是我们的卫星在运动过程中必然引起的现象,关于日月食的种种迷信便成了无稽之谈。

我国历史悠久,历代都有丰富的天象纪事。驰誉世界的河



南安阳发掘出来的殷朝最后都城遗址的文物——殷墟甲骨文中,记载着公元前一千多年的日月食,比巴比伦的日食纪事早得多。又如在春秋二百四十二年里,有日食纪事 37 次,其中 33 次经近代天文工作者的推算,证明是可靠的。这是古代最完整的日食记录。

图 4-14 殷墟甲骨文中的日食纪事



现在,天文工作者能精确推算几百年内发生的日月食,在每次日月食之前,我国的报纸上刊登着紫金山天文台的预报。

天文台为什么能作日月食预告?我们从日月食形成原因谈起。

日月食的原理很简单。在阳光照射下,月亮和地球在背向太阳的方向拖着一条影子。月影扫过地面,产生了日食。日食必发生在朔日,即农历的初一。月亮钻进地影,造成了月食。月食必出现于望日,即农历的十五或十六。如果黄、白两道所在的平面重合,则每逢朔和望,日、月、地位于一一直线上,必有食发生。可是,黄道和白道倾斜成约 $5^{\circ}$ 的角度,大多数的朔日和望日,月亮在黄道之北或南通过,所以并非经常有食形成。仅当太阳位于黄、白两道的两个交点附近时,朔日和望日才可能发生食(图 4-15)。

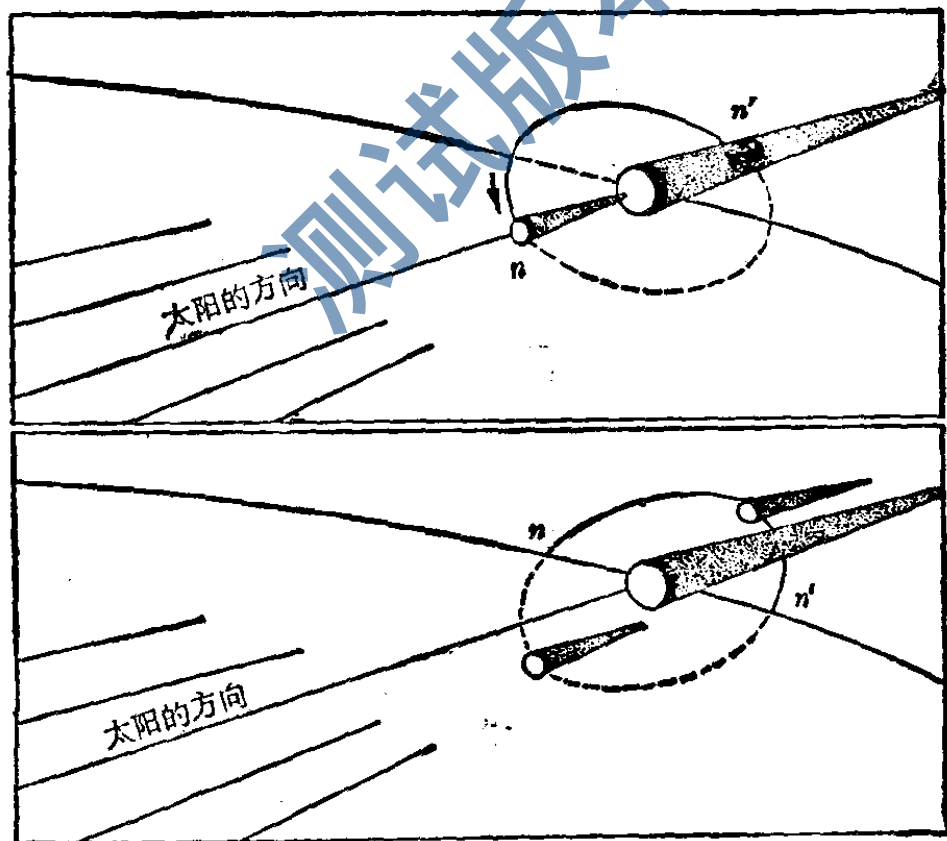


图 4-15 仅当月亮轨道平面和地球轨道平面的交线  $nn'$  和太阳的方向一致时,才能发生食

我们先来谈谈日食。月影有本影、半影和伪本影之分(图 4-16)。本影是一个会聚的圆锥,投向它的阳光全部被月亮挡住,位于本影内的人看到的是日全食。在半影内,月亮仅遮住了日轮的一部分,产生日偏食。月亮在椭圆轨道上绕地球转动,离地球时远时近,月亮的角直径从  $29'22''$  变到  $33'26''$ 。而太阳的角直径由  $31'28''$  变到  $32'32''$ 。当月亮离地球较近时,看起来月轮比日轮大,可以把整个日轮挡住。换句话说,月亮的本影可以投在地面上,造成了日全食和日偏食(图 4-17)。当月亮离地球较远时,看起来月轮比日轮小,不能把

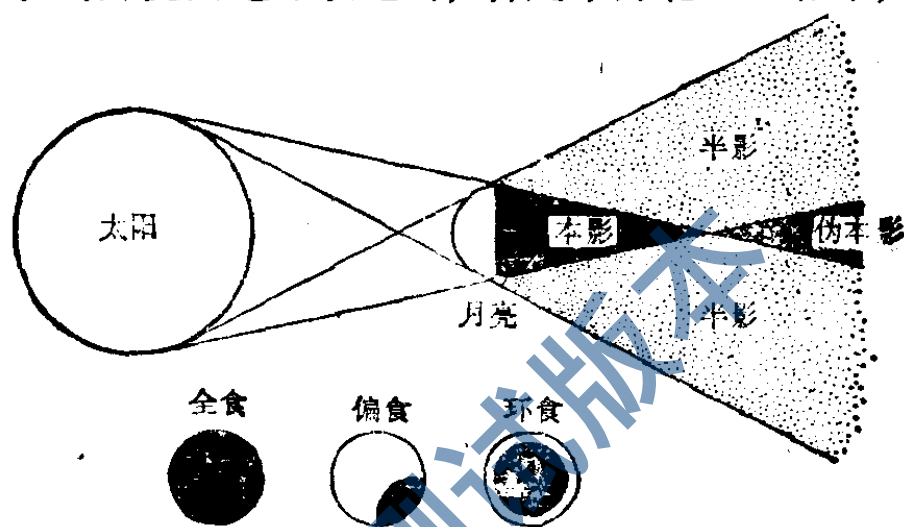


图 4-16 月影的结构和日食的类型

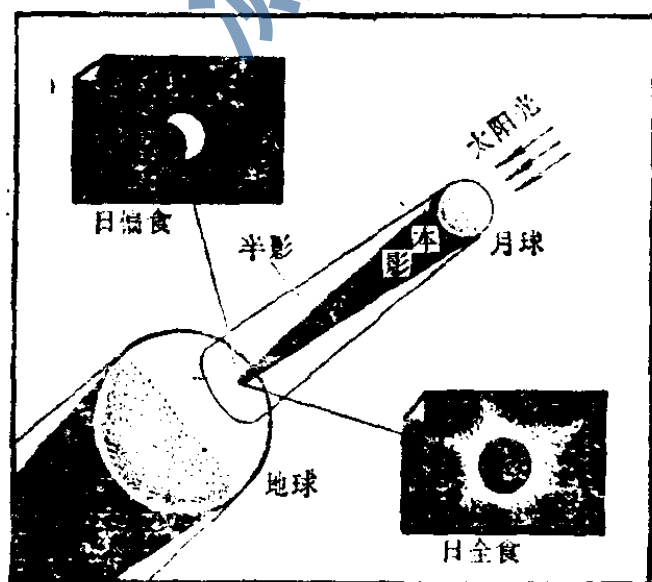


图 4-17 日全食和日偏食

整个日轮遮住,即月亮本影的锥顶位于地面的上空,本影延伸出的发散圆锥——伪本影——落在地面上。在伪本影内的观测者,看到黑暗的月轮周围围绕着一圈明亮的光环,这叫做日环食(图4-18)。

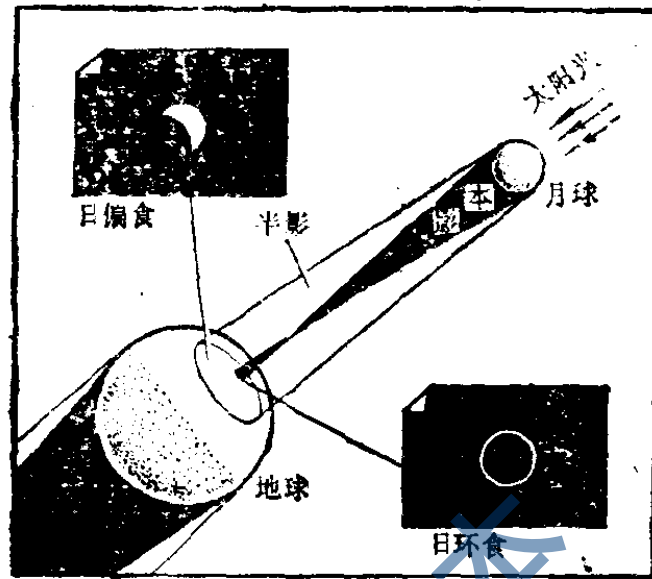


图4-18 日环食和日偏食

由于月亮自西向东绕地球转动,日食总是从日轮的西边缘开始,向东边缘发展。在地面上一个固定的地点观测,日全食分五个阶段。月轮的东边缘和日轮的西边缘相切时称为“初亏”,这是日食的开始。月轮的东边缘和日轮的东边缘相切,就是“食既”,它是全食的开始。日月两轮的中心相距最近时,称为“食甚”。此后月轮继续东移,“生光”是月轮的西边缘和日轮的西边缘相切的瞬间,全食告终,被遮住的日轮开始露面。到月轮的西边缘和日轮的东边缘相切时,叫做“复圆”,月轮开始完全离开日轮,整个日食过程结束了。日偏食只有初

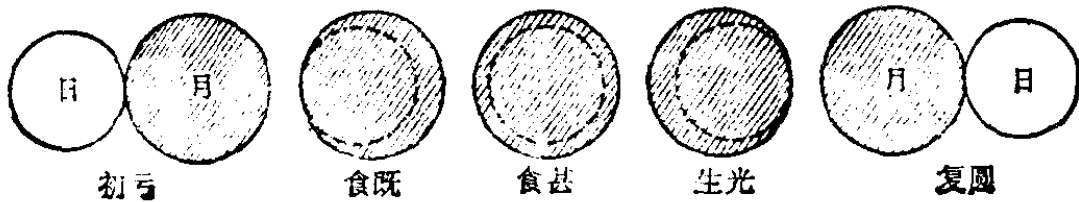
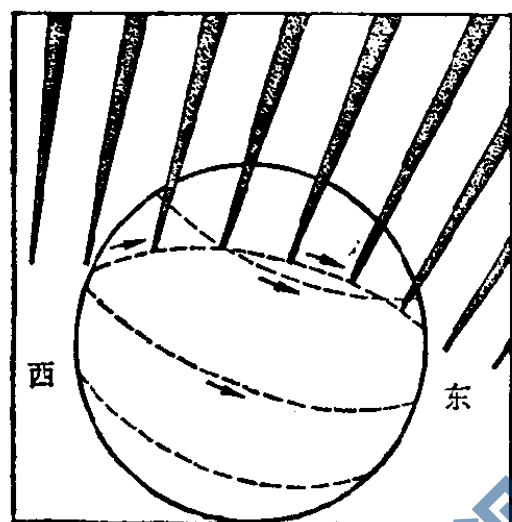


图4-19 日全食的五阶段

亏、食甚和复圆三个阶段。日全食时月轮仅略大于日轮，因此全食的阶段很短，最长七分多钟，一般只有二、三分钟。但整个日食过程，从初亏到复圆可以持续二小时以上。食的程度以“食分”来表示。对于日全食，食分指食甚时月轮的直径与日轮的直径之比，因此日全食的食分总是大于或等于1。对于日偏食，食分指食甚时日轮直径被遮的部分与日轮直径之比，因此日偏食的食分总是小于1。

月亮拖着它的影子以大约1公里/秒的速度自西向东移动，地面上的观测者随着地球自转也在东移，但地球自转的



速度在赤道上最大，约0.5公里/秒，小于月影横扫的速度。两种速度合成的结果，月影在地面上仍是东移(图4-20)，于是日食是由西向东先后发生的。月亮的本影扫过的区域称为“全食带”。它是一条宽度不过二、三百公里，长六千五百到

图4-20 月影在地面上的移动

一万公里的狭窄的带，有时宽达只有几公里。全食带的两旁是较广阔的半影扫过的区域，在那里见偏食。半影区之外是看不到日食的地区。因此，地面上不同的地点见食的情况各不相同。

日全食具有很大的科学研究价值。它是研究太阳高层大气——色球和日冕(见太阳一章)的宝贵时机。天文工作者长途跋涉，携带仪器布置在全食带上，为了短短几分钟的观测，往往需要几个月的紧张准备。1968年9月22日在我国新疆西部地区发生过一次日全食，我国天文和其他有关学科的工作者在毛主席关于“独立自主”、“自力更生”方针的指引下，在



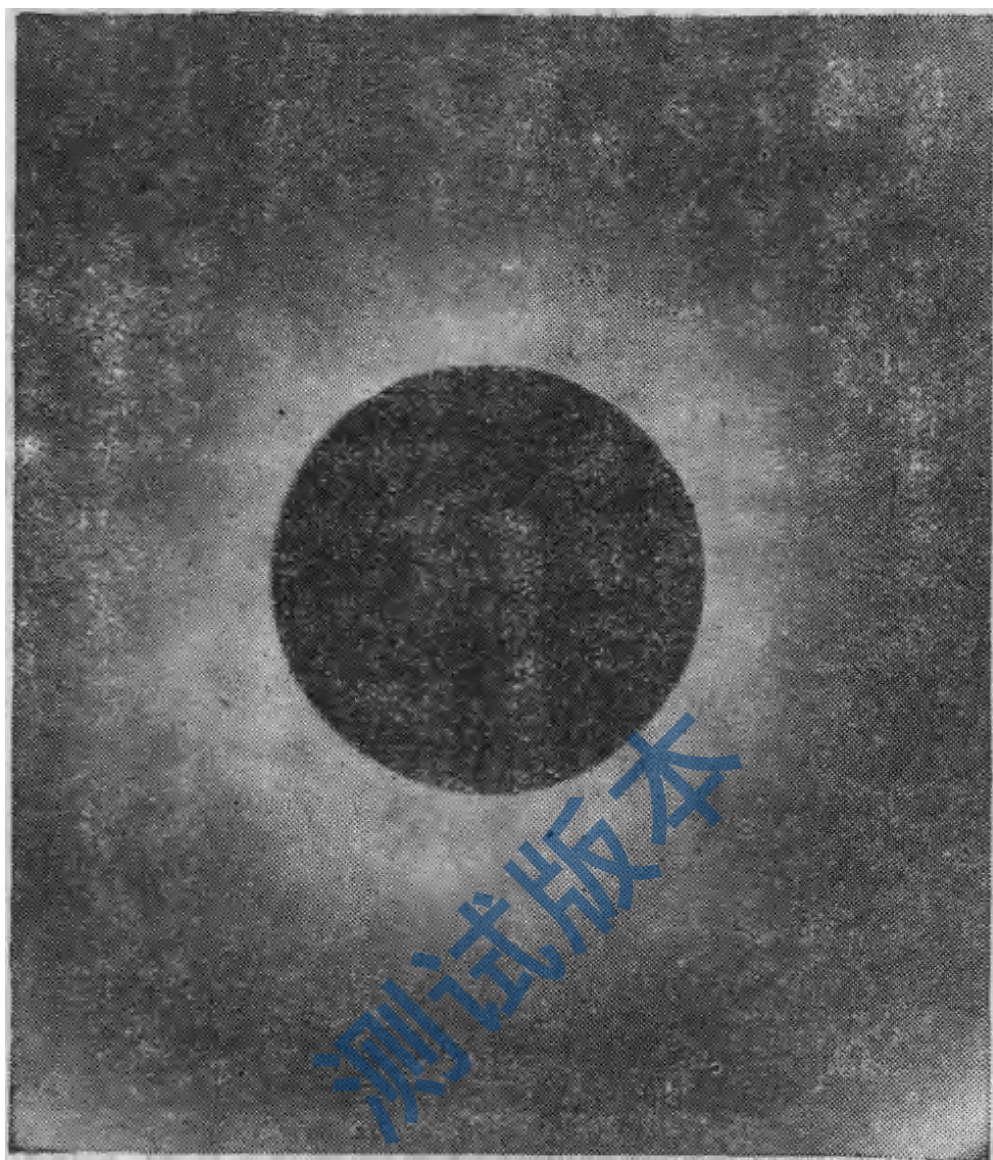


图 4-21 1968 年 9 月 22 日的日全食。我国日食观测队摄

无产阶级文化大革命的推动下，组成了规模较大的日食观测队，获得了较丰富的资料。

月食比日食更简单。由于地球的本影很长，在月亮轨道处，地球本影的宽度约为月亮直径的 2.7 倍。因此，月食只有全食和偏食两种，没有环食。月亮全部钻进地球本影，就发生月全食；月亮在地球本影的边缘掠过，只有一部分进入本影，就形成月偏食。地影除了本影外，也有半影，可是月亮落入地球半影，肉眼一般觉察不到月亮明显变暗，这种“半影食”天文

台一般是不预报的。全食的月亮并非完全看不见，由于穿过地球低层大气的阳光受到曲折，进入地球本影，投射到月亮上，使其呈红铜的颜色。

月食的过程和日食的过程有些不同。月亮自西向东运动，它的东边缘先接触地影，因此月食总是从月轮的东边缘开始。月全食也包括五个阶段(图 4-22)。从食既到生光的全食时间长达一小时以上。朝向月亮的半个地球上见食的时刻和情况完全一样，正如舞台上的灯光渐暗至熄灭的过程，对于剧场内的所有观众都是同样并且同时看到的。

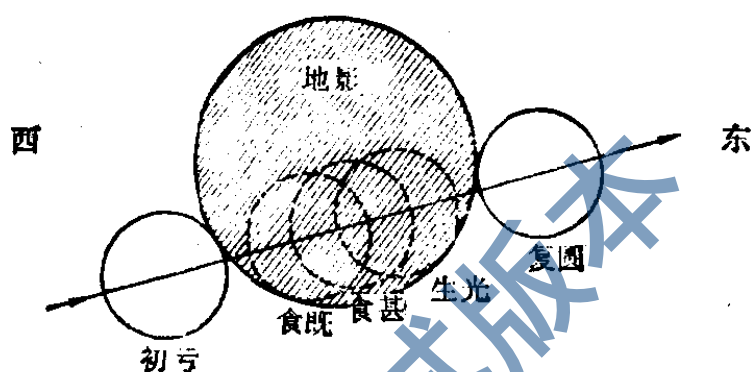


图 4-22 月全食的五阶段

就全地球而言，一年内至少有 2 次日食；月食可能没有，如 1980 年；一年内最多有 7 次食，其中 5 次日食，2 次月食，如 1935 年；或 4 次日食，3 次月食，如 1982 年。发生 7 次日月食的年份是很少的，常见的是日月食各 2 次。由于日食带的范围不大，而月食半个地球上都能看到，所以，虽然对全地球日食发生的次数比月食多，但对某一地点而言，看到月食的机会比日食多。狭窄的日全食带平均每隔二、三百年才会扫过某一指定的地点，很多人一生中没见过日全食是不足为奇的。

根据紫金山天文台的预报，下面两个表列出了 1976 年至 1985 年在我国能看到的日食和月食。

下一次我国能见的日全食发生在1980年2月16日，全食带经过云南、贵州两省，全食时间两分钟。云南的昆明、楚雄、曲靖和贵州的贵阳、安顺、贵定、都匀等地都可以看到。

公元2009年7月22日的日全食，全食带经过我国西藏南部至长江口的长3000公里、宽230公里的地区，全食时间长达五、六分钟，是一次我国难得看到的日全食。

1976—1985年我国能见的日食

日期	类别	见食的地点、食分和食甚时间(北京时间)
1976年4月29日	环食	兰州0.82(20时04分), 乌鲁木齐0.75(19时56分), 昆明0.87(20时08分), 拉萨0.88(20时08分)
1978年10月2日	偏食	北京0.35(15时01分), 哈尔滨0.48(15时04分), 兰州0.19(14时49分), 乌鲁木齐0.18(14时08分), 上海0.23(15时20分), 武汉0.19(15时13分), 广州0.02(15时24分)
1980年2月16日	全食	兰州0.69(18时35分), 乌鲁木齐0.36(18时23分), 昆明1.00(18时39分), 拉萨0.78(18时35分)
1981年7月31日	全食*	北京0.54(11时19分), 哈尔滨0.78(11时35分), 兰州0.42(10时51分), 乌鲁木齐0.72(10时35分), 上海0.30(11时31分), 武汉0.27(11时11分), 广州0.02(11时11分), 昆明0.03(10时43分), 拉萨0.30(10时23分)
1982年12月15日	偏食	拉萨0.15(18时56分)
1985年5月20日	偏食	北京0.65(4时38分), 哈尔滨0.65(4时42分)

\* 我国见偏食。

## 1976—1985年我国能见的月食

日期	类别	食分和月食各阶段的时间(北京时间)					
		食分	初 亏	食 既	食 甚	生 光	复 圆
1976年5月14日	偏食	0.14	3时07分		3时50分		4时33分
1978年3月24—25日	全食	1.46	22时36分	23时40分	0时25分	1时10分	2时14分
1978年9月17日	全食	1.33	1时16分	2时22分	3时03分	3时44分	4时50分
1979年3月14日	偏食	0.87	3时36分		5时10分		6时44分
1979年9月6日	全食	1.12	17时11分	18时28分	18时54分	19时20分	20时37分
1982年1月10日	全食	1.35	2时09分	3时14分	3时56分	4时38分	5时43分
1982年12月30日	全食	1.20	17时41分	18时53分	19时26分	19时59分	21时11分
1985年5月5日	全食	1.23	2时11分	3时22分	3时57分	4时32分	5时43分
1985年10月29日	全食	1.07	0时01分	1时22分	1时43分	2时04分	3时25分

### 四、涛之起也 随月盛衰

居住在海边的人，每天都看到海水两起两落。在白天出现的海水高涨叫“潮”，晚上的叫“汐”。涨潮时惊涛拍岸；退潮时沙滩毕露。潮水一旦涌进江河入海口，遇上喇叭形的狭窄河道，其状如万马奔腾，其声如雷霆咆哮，激起巨澜几丈高。我国的钱塘潮气势磅礴，闻名于世界。

仔细观察便发现，两次涨潮中间所经过的时间平均是12小时25分，第二天涨潮的时间比前一天平均推迟了50分钟，这正是月亮中天每天推迟的时间。古代劳动人民已察觉到潮汐同月亮有关系，因而古言曰：“涛之起也，随月盛衰”。但对潮汐现象作出科学解释是在万有引力定律发现之后。

根据万有引力定律，两个物体之间的引力和它们之间距



离的平方成反比。假定整个地球表面布满了海洋，月亮离地心  $O$  的距离约为地球半径 60 倍。地面上各点离月亮的距离不等，所受月亮引力的大小就不同，朝向月亮的半个地球上，受到的引力大于地心受到的引力(图 4-23)。离月亮最近的  $A$  点所受的引力最大，与地心受到的引力之比等于  $60^2:59^2$ 。在  $A$  点的海水相对于地心被月亮“拉”了起来，朝向月亮的半个地球上的海水趋向  $A$  点， $A$  点的海水上涨。离月亮最远的  $C$  点受到月亮的引力最小，相对于地心， $C$  点的海水有后退的倾向，在那里也涨潮。由于地球自转，在月亮连续两次经过某地天子午线的时间间隔——24 小时 50 分内，地面上每一地点都经历了  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  那样的位置，产生了两次涨潮两次落潮的现象。

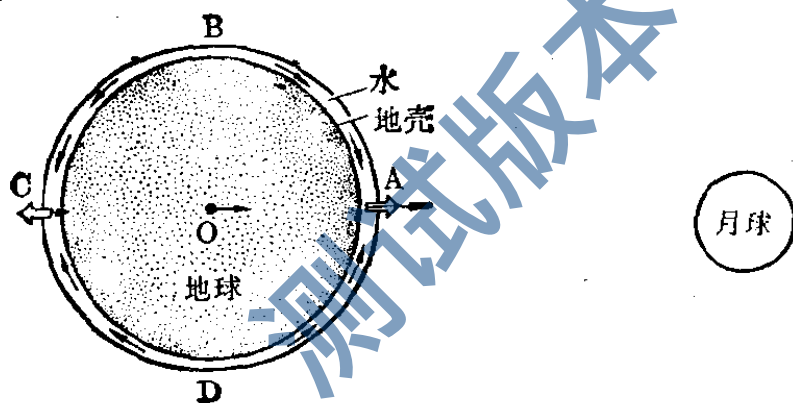


图 4-23 潮汐的成因

比起月亮来，太阳施于地球的引力强得多。可是从以上的叙述容易看出，潮汐的形成并不取决于引力强弱的绝对数值，而是取决于海洋和地壳所受的引力之差。这种引起潮汐的力——起潮力——不是同距离的平方成反比，而是同距离的三次方成反比。太阳虽然具有强大的引力，由于它比月亮远得多，它施于地球的起潮力只有月亮的  $1/2.17$ 。因此，潮汐有太阴潮和太阳潮之分，太阴潮(即月亮引起的)是主要的。每逢朔和望时，太阴潮和太阳潮同时发生，两者迭加，形成大潮。

每逢上弦和下弦时,太阴潮的涨潮和太阳潮的落潮同时发生,两者互相抵制,形成小潮(图 4-24)。

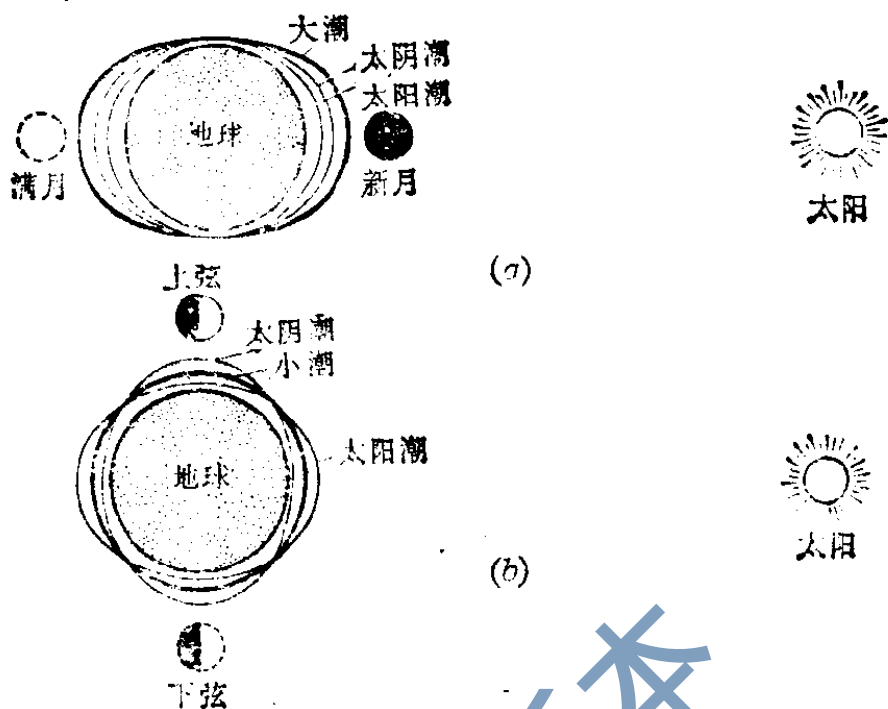


图 4-24

(a) 在朔和望时,太阴潮和太阳潮相互迭加,形成大潮

(b) 在上弦和下弦时,太阴潮和太阳潮相互抵制,形成小潮

实际上,地球表面并不是全部被海洋覆盖着,海岸阻碍潮汐的传播,海底和港湾的地形千差万别,海水有粘滞性,种种因素使涨潮的高度、时刻、持续时间非常复杂,因地制宜。因此,每天高潮的到来并不和月亮中天同时,而要迟一小时至数小时;每月大潮并不正好发生在朔望,总要落后二、三天。

月亮和太阳对地球大气的摄引也会产生大气潮。不过,由于起潮力还和被摄引物体的质量成正比,而大气的密度比海水小得多,再加上受到各种气象因素的掩盖,大气潮远不如海潮显著,用极精密的仪器测量才发现。固体的地壳也发现有潮汐现象——固体潮,在起潮力的摄引下,地壳升降可达几十厘米。

潮汐对于沿海沿江地区人民的生产和生活影响很大。劳动人民在长期生产斗争实践中,积累了利用潮汐于航运、农田灌溉、渔业、盐业等方面的丰富经验。潮汐贮藏着很大的能量,我国沿海的贫下中农,自1958年大跃进以来,已建造了许多小型潮汐电站。

潮汐传播的方向是自东向西,与地球自转背道而驰。潮汐和浅海海底摩擦,对地球自转起了制动的作用,使地球自转逐渐减慢,自转周期逐渐变长。每一百年地球自转周期约增加0.00164秒。长期的累积相当可观,在上一章已列举了证据。

月亮自转和公转的周期相等决不是偶然的巧合。可以设想,我们的卫星从前自转快得多,那时它的表面存在着如熔岩流之类的流体。地球强大的起潮力产生了月亮上的潮汐,潮汐摩擦使月亮自转减慢,直至自转周期等于公转周期,月亮以同一面对向地球,潮汐不再传播,潮汐摩擦不起作用为止。

潮汐摩擦不仅正在使地球自转减慢,还会影响着地月系统的演变。现在,地球自转的周期比月亮公转的周期短得多;随着地球自转,拖着涨潮的隆起部分A,稍微领先于联接地心和月亮中心的方向,而隆起部分B稍落后于该方向(图4-25)。A和B对月亮的吸引作用,分别产生了加速度 $X$ 和 $Y$ 。由于A离月亮较近,所以 $X$ 大于 $Y$ 。 $X$ 和 $Y$ 的合成加速度可以

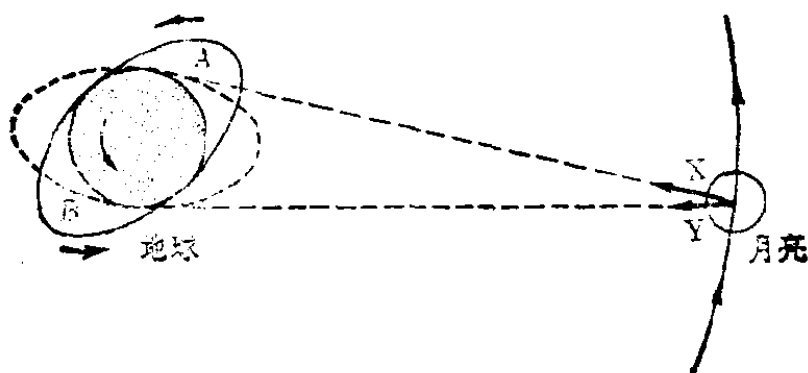


图 4-25 地球上的潮汐摩擦引起了月亮运动的加速

分解成两个分量：一个指向地心方向，另一个指向月亮轨道切线方向。后者使月亮运动加速。一旦加速，它便逐渐螺旋式地远离地球，进入愈来愈大的轨道，因而月亮绕地球公转的周期变长。但地球一天的周期增长更快，渐渐赶上一月的长度。大约50亿年至100亿年后，地球上一天和一月将相等，大致都等于现在的43天，地球遂以同一面朝向月亮，太阴潮停止传播。那时候，背向月亮的半个地球上的居民为了赏月必须长途旅行。至于哪半个地球有幸对着月亮，现在不能预料。可是事情并没有就此结束。一天比一年仍短得多，太阳潮还在起作用，使天继续增长，逐渐地超过月的长度。而一旦超过月的长度，太阴潮的影响又开始了。在这种情况下，由于地球自转和月亮公转都是由西向东，而地球转得比月亮慢，从地球上看来，月亮不是东升西落，而是缓慢地西升东落。在海洋上太阴潮跟随月亮自西向东传播，使地球自转加快，天的长度缩短，月亮向地球螺旋式地靠拢……。这一幅月地系统演变的图景是仅仅在潮汐摩擦一种因素的作用下描绘的。自然界的发展变化是复杂的，在几十亿年的漫长历程中，也可能出现其他重要的因素，而使这幅图景大为改观。

## 五、人造小月亮

晴朗的夜晚，群星闪耀，当我们抬头注视星空世界时，有时会发现一颗特别的“星星”。它沿着一定的方向在众星中缓缓移动。这就是人造的小月亮——人造地球卫星。

1970年4月24日，我国成功地发射了第一颗人造地球卫星，实现了伟大领袖毛主席提出的“我们也要搞人造卫星”的伟大号召。当这颗卫星播送的《东方红》乐曲响彻太空的时

候,全世界革命人民欢欣鼓舞。这是毛泽东思想的伟大胜利!1971年3月3日,我国又成功地发射了第二颗科学实验人造卫星。1975年7月26日,我国成功地发射了第三颗人造卫星。1975年11月26日,我国发射了第四颗人造卫星,并按预定计划胜利地返回地面。1975年12月16日发射了第五颗人造卫星。这充分体现了我国的科学技术水平达到了一个崭新的高度;表明我国人民有志气,有能力,一定能在不久的将来,赶上和超过世界先进水平;对帝国主义和社会帝国主义是一个沉重打击。

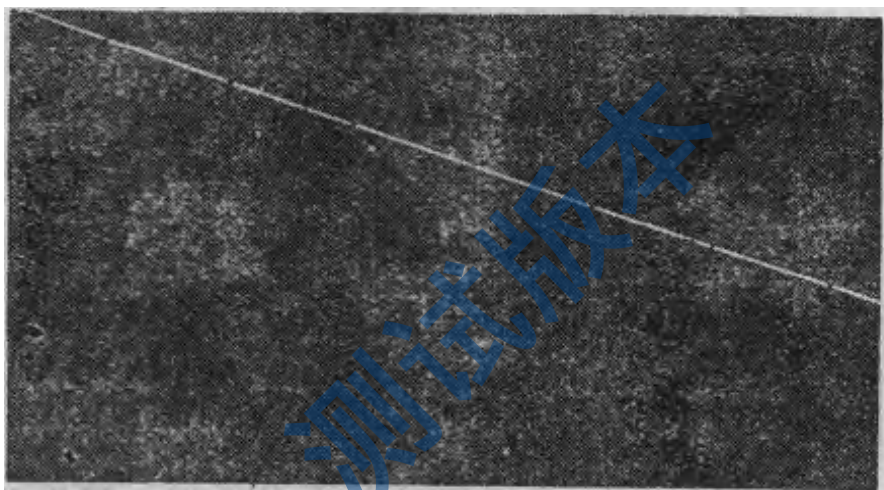


图4-26 1970年4月29日我国第一颗人造卫星经过南京上空所摄轨迹,每隔一定的时间间隔轨迹被切断一次,以便于精确测定人造卫星的位置

发射人造卫星是件不容易的事。因为地球以巨大的引力把一切东西牢牢地禁锢在它的上面,人们想飞离地球就得付出巨大的努力。

投出一块石子,落在前面不远处;投出去的速度越快,石子落得越远,飞行路线的弯曲程度也越小。这是大家有目共睹的平凡现象。这是因为地球引力使石子下落,在相同的时间内下落的距离是一样的,而在这段时间之内跑得快的石子



当然就要飞得远些，飞行路线也要平直一些。人们从这种直觉的现象得到启发：投出物体的飞行轨道决定于投出时一瞬间的速度。人们也很自然地会作出这样的推断：物体投出时的速度达到一定数值，它的飞行轨道将是围绕地球的一个圆（图 4-27）。

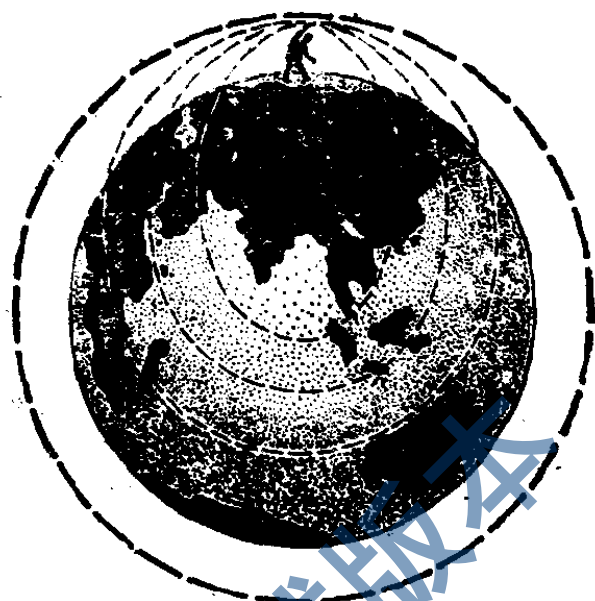


图 4-27 向水平方向抛出一块石子，  
速度越快，它走的路线越平直

三百年前，有人将这种现象进行力学分析。根据计算，在不考虑空气阻力时，在地面用每秒约 7.9 公里的速度把物体从水平方向抛出，它飞行的轨道正好是一个圆，圆心就是地球中心。此时，这个物体好比一颗人造月亮，成为地球的卫星。这个速度叫第一宇宙速度，或称环绕速度。倘若物体的运动速度再大一些，它的飞行轨道便变成一个椭圆。一旦物体的飞行速度达到每秒 11.2 公里，它的飞行轨道不再是一个闭合的椭圆，而是一条张开的曲线（图 4-28）。也就是说，物体具有这样的速度之后，就可以逃逸地球引力范围，扬长而去，登上月亮，走访金星，奔向火星了。每秒 11.2 公里这个速度，叫第

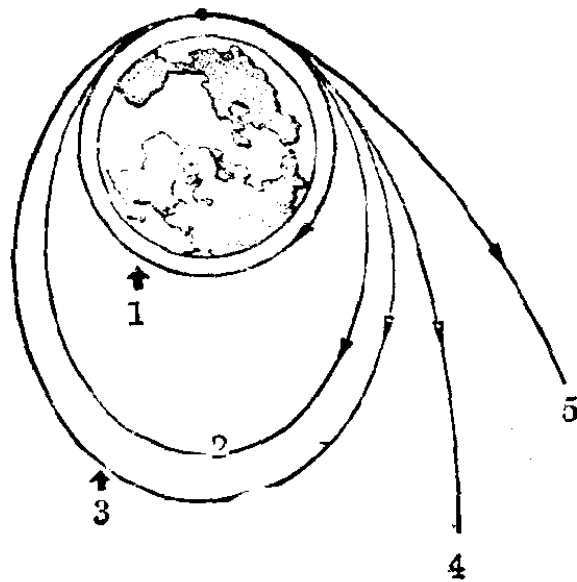


图 4-28

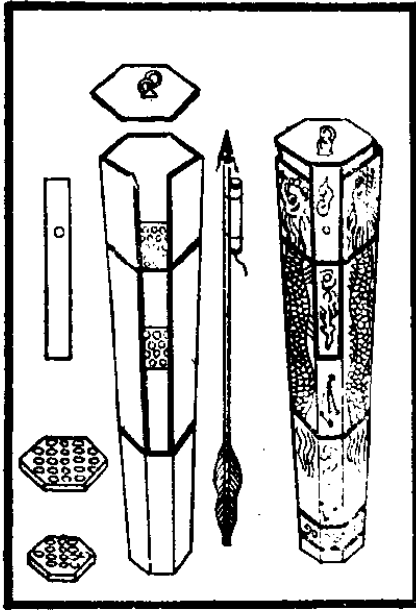
- 轨道1: 速度等于每秒7.9公里
- 轨道2,3: 速度大于每秒7.9公里,小于每秒11.2公里
- 轨道4: 速度等于每秒11.2公里
- 轨道5: 速度大于每秒11.2公里

二宇宙速度,也叫逃逸速度。

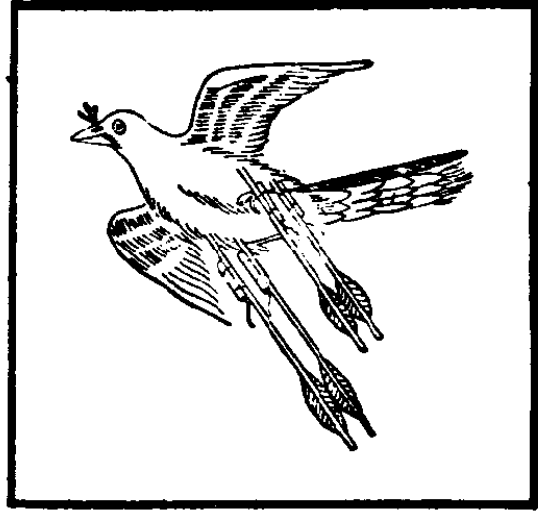
说起来容易,但要使物体以每秒7.9公里的速度运动,以挣脱地球的引力,人们就得花巨大的代价,耗费巨额的能量。不妨计算一下,要使一克重的物体,脱离地球引力的束缚,人们必须耗去62500焦耳的能量。这个数目是巨大的。如果我们要在一秒钟内用光这些能量,就要同时点亮600多只100瓦的电灯。刚才计算的仅是一克重的物体,如果要将10吨重的火箭送出地球的引力范围以外,人们所须花费的能量达到令人惊讶的地步,相当于40000吨石油所产生的能量。

能贡献出如此巨额能量的,也就是说能把人造卫星送上高空,获得每秒7.9公里速度的,只有火箭能够胜任。火箭点燃后,内部的燃料立即着火,急剧燃烧,燃烧时产生大量的气体以极高的速度向后喷射出来。在气体喷射时,火箭受到巨大

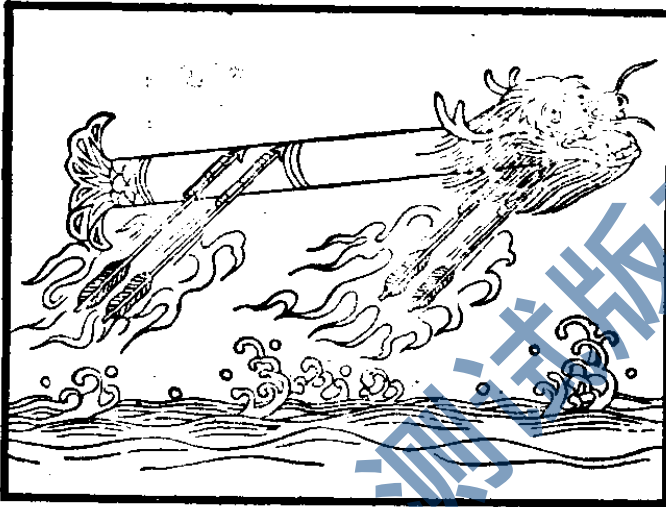




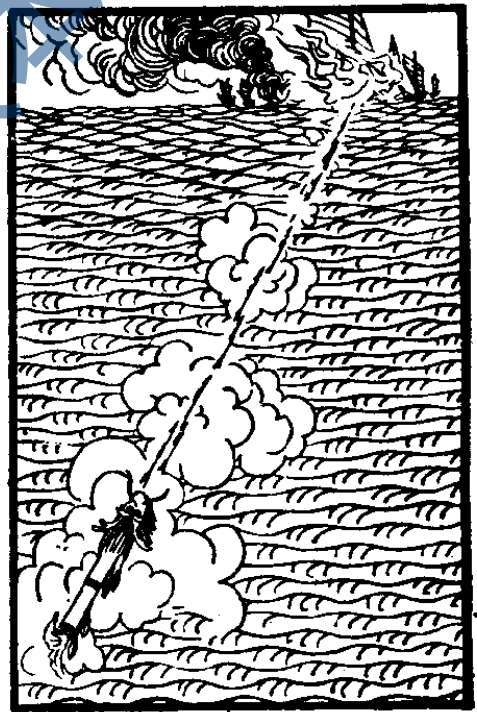
(a)



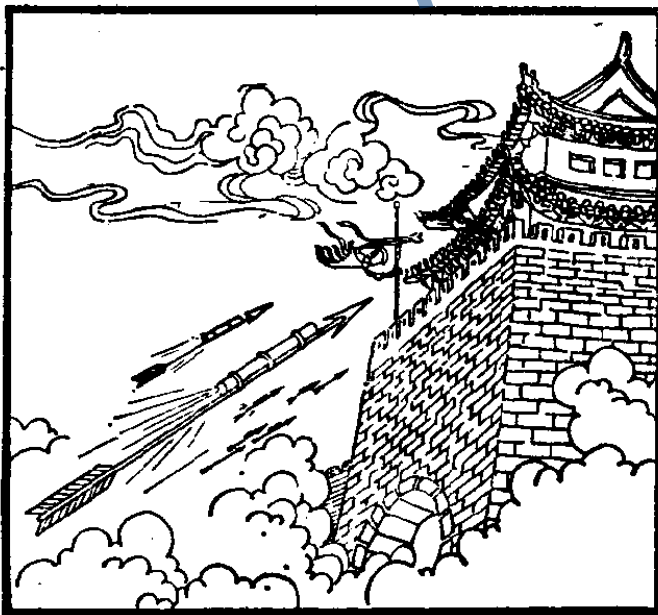
(b)



(c)



(d)



(e)

图 4-29 我国古代的原始火箭

的反冲力的推动, 高速向前。

现代火箭是由古代火箭(图 4-29)发展而来。古代我国发明了火药以后, 就出现了火箭, 那时主要作为战争的武器。十三世纪我国元朝时, 已在战争中使用这种火箭武器(图 4-29e)。我国明朝出现一种名叫“一窝蜂”的火箭武器(图 4-29a), 点火后能同时射出一束多支火箭。还有一种叫“神火飞鸦”的火箭武器(图 4-29b), 它利用火箭的推力把炸药投入敌方。明代还有一种火箭武器, 叫“火龙出水”(图 4-29c、4-29d), 用竹筒作成龙身, 龙嘴内放几支火箭, 作战时, 先点着龙身下的火箭, 托着竹筒在水面飞行, 待火药快燃完后便点着龙嘴内的火箭射向敌人。“火龙出水”就是现代二级火箭的始祖。

现代火箭(图 4-30) 远比原始火箭高级、复杂。运载人造卫星的火箭由火箭发动机、控制系统、弹体结构三大部分组成。火箭发动机产生巨大的推力, 推动火箭飞行, 获得应有的速度。控制系统可使卫星和运载器按预定的航线飞行, 并在预定的高度进入预定的轨道。弹体结构则可贮存火箭发动机的推进剂、安装卫星、火箭发动机以及控制系统的仪器、电缆网。现代火箭制造时采用了许多新材料、新工艺、新技术, 具有足够的强度、刚度和可靠性, 重量尽量轻。在目前的技术水平下, 单级火箭无法达到宇宙速度, 不能作卫星的运载工具, 一般用多级运载火箭。

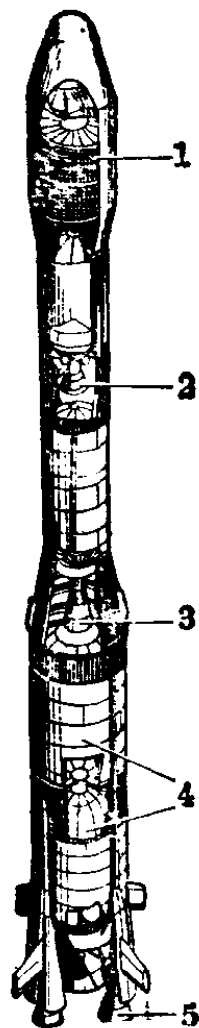


图 4-30 现代火箭

1—卫星; 2—第三级火箭发动机; 3—第二级火箭发动机; 4—燃料贮箱; 5—第一级火箭发动机

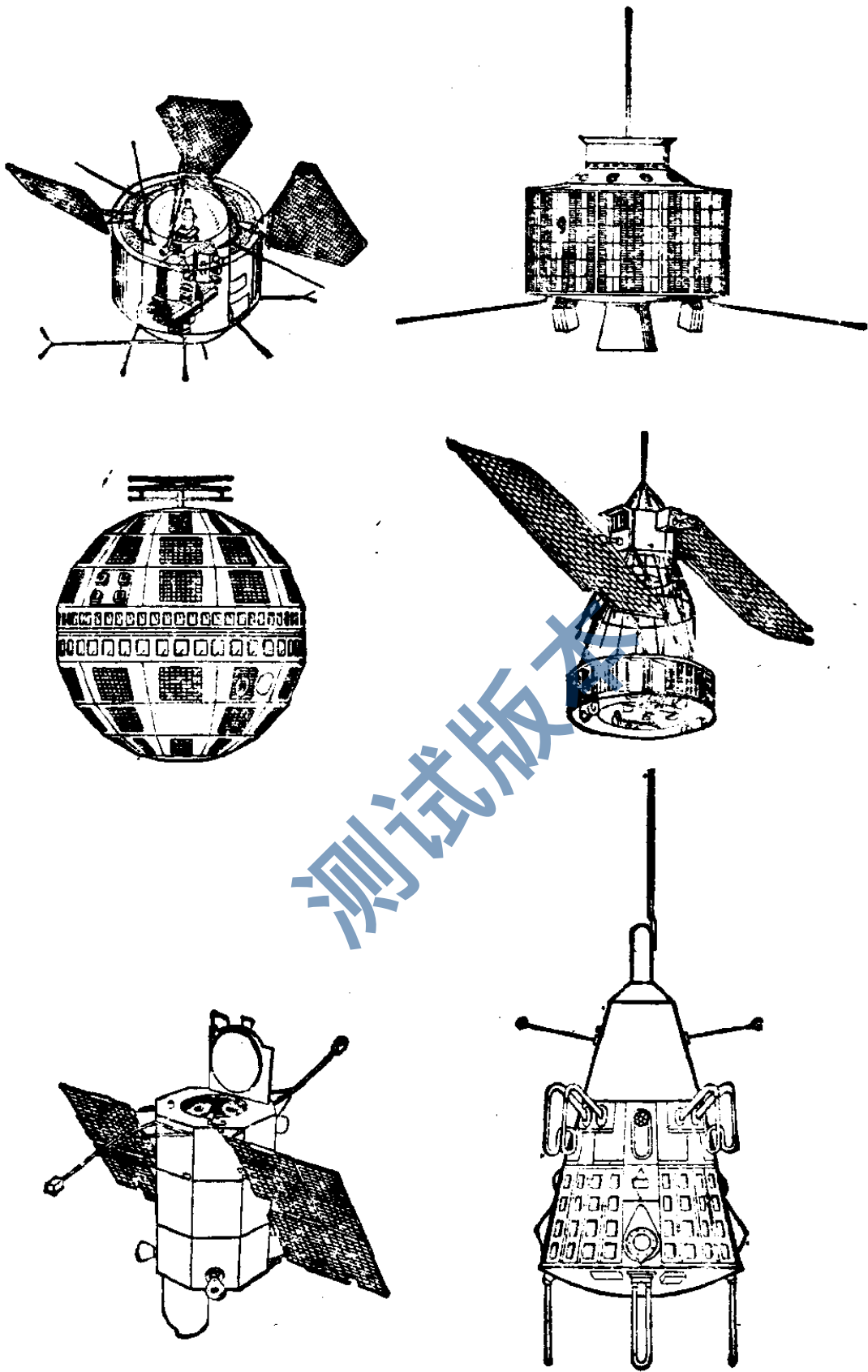


图 4-31 几种卫星外形

我们再谈谈卫星。图 4-31 是几种卫星的外形。由于卫星用途不同,所附载的仪器设备各异,因此卫星的形状也就五花八门,有圆锥形、拱箱形、圆球形、方体形、多面体形。卫星的基本结构有星体结构、能源系统、通讯系统、各种仪器设备等系统。壳体是卫星的主体,可安装各种仪器设备,一般用轻合金材料制成。能源系统是卫星的“心脏”,具有体积小、重量轻、寿命长、功率大的特点。通讯系统主要任务是保证卫星与地面的通讯联系,传递遥测信息,控制指令和情报资料。仪器设备系统根据卫星用途而定,所用的仪器有天空望远镜、高级照相机、各种探测器,等等。

卫星和运载火箭制造出来,并经多次测试合格之后,就可以运往发射场发射了。

在发射之前,必须根据需要预定卫星运行轨道。卫星一般都是顺着地球自转,向偏东方向发射的,这样可利用地球的自转速度,减少发射卫星时所需要的能量。为了利用卫星观测地面及研究大气层等,就不能把卫星发射得很高;不过也不能太低,太低了卫星与低层稠密的大气摩擦产生高热,卫星将有被烧毁的可能,并使卫星很快减慢速度,很快陨落,缩短寿命。卫星轨道同地球赤道面的倾角也要根据需要而定,为了增加卫星的考察范围,卫星的倾角需要大一些。对于用来进行洲际间无线电通话、电视通讯的卫星,必须为它设计一个圆形的地球同步轨道。发射方案的预定是很复杂的,有许多事情要周密考虑,如怎样最合理最经济地选择人造卫星的发射轨迹,也即人造卫星从地面到预定轨道这段高空运行路程如何选择;发射阵地如何选择;怎样最有效地利用地球自转力以减少所耗的燃料;当轨道决定后,根据卫星、火箭重量来计算所需燃料的份量;三级火箭如何分离;等等。

下令点火后，火箭在第一级发动机的强大的喷气流推动下，离开发射台，射入高空。当穿过稠密的地球大气后，按程序控制指令在预定时刻第一级火箭发动机熄火并自动脱落。同时，第二级火箭发动机点火并开始工作，推动卫星及第二、第三级火箭继续加速前进。当第二级火箭开始工作时，运载火箭的运行轨道由垂直逐渐变得向地面弯曲。第二级火箭发动机在预定时间熄火、脱落。第三级火箭与卫星一起，经一段惯性航行，达到预定轨道附近时，按指令，第三级火箭发动机点火，继续加速，获得所需的环绕速度，在预定的地点把卫星弹出并进入预定轨道。卫星进入轨道后，靠惯性作环绕地球的运动(图 4-32)。

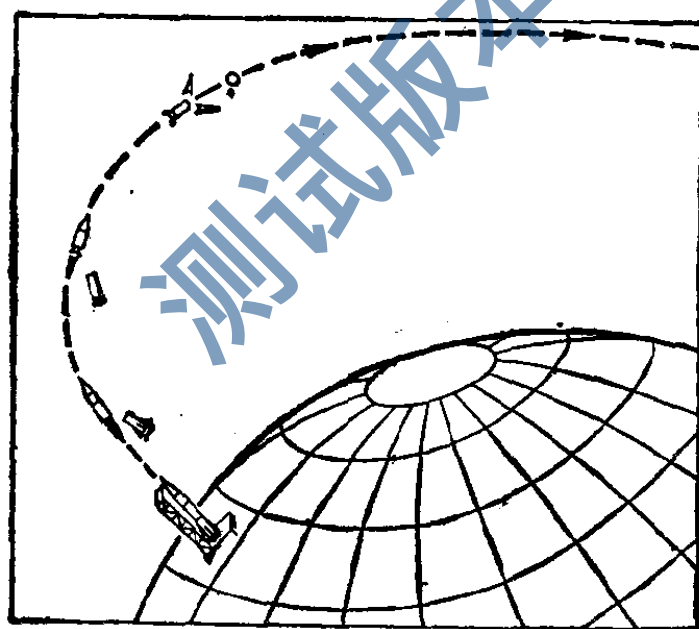


图 4-32 卫星发射与入轨过程示意图

人造卫星离开运送它的火箭之后，成为一颗人造月亮，围绕地球运转不息。它肩负着人类赋予的使命，探索宇宙的秘密，给我们送来各种情报、讯息。

人造卫星使天文工作者的视野大大扩大。我们知道，地



球笼罩着一层厚厚的大气层,它使一般的天文观测受到限制:大气的扰动使星象模糊;大气对星光的折射与色散,歪曲了天体的真实位置、形状和颜色;大气对天体的红外线、紫外线光的吸收,使人们无法进行这方面的研究;一定波段的无线电波无法穿透大气层,使地面上的射电望远镜的观测范围受到限制;阴天使地面上的天文光学观测无法进行。而人造卫星在离地几百乃至几千公里的高空飞行,摆脱了大气层这层“讨厌的纱障”。它为我们了解宇宙空间的物理情况,创造了十分优越的条件。

人造卫星使气象工作者受到了很大的鼓舞。长期以来,气象工作者因无法获取全球性的气象资料,使气象预报比较困难,而感到苦恼。现在有了气象卫星,在卫星上装备电视摄影机系统、自动传输图片系统和自动贮存装置等仪器设备,就可以接收到地球上任何地区的云层图片,获取高层大气的各种气象数据,那些海洋、沙漠、森林地区也不再是气象观测的空白点;当台风在遥远的海洋上还非常弱小的时候用卫星就可以发现并“盯住”它们;用同步卫星拍摄的天气演变的电影对作天气预报很有参考价值……。有了气象卫星,气象预报工作者在作天气预报时,心中更加踏实,预报更有把握。

同样,人造卫星受到了测地工作者的极大欢迎。以往测定地球大小、形状是采用大地测量、重力测量、天文测量等方法。这些方法都受某种条件的限制。例如,在高山、海洋上很难进行重力测量,所以得到的重力资料的范围只占全球很小的一部分,这么一点资料对了解整个地球的大小、形状显然是很不够的。人造卫星上天后,人们在卫星上安装重力测量的仪器,由于卫星观测范围可以遍及全球,所以能获得比较全面的重力资料。通过人造卫星,人们测定地球大小、形状的精度



图 4-33 人造卫星的用途

- (a) 资源勘探; (b) 观测气象; (c) 科学研究; (d) 军事侦察;  
 (e) 卫星导航; (f) 卫星通讯



要高得多。

人造卫星在无线电通讯中的作用更是无可估量，它是一个极佳的中继站。通常人们利用电离层反射无线电短波的道理来进行远距离通讯，但由于电离层多变，常使短波通讯受到干扰，甚至中断。现在，无线电波经过卫星中继站放大，再射回地球，这样就可免受电离层的干扰，而使短波通讯畅通无阻。特别是对电视通讯，人造卫星作为电视通讯中继站的意义更大。电视电波是一种超短波，它不能被电离层反射，因此电视播送范围大受限制。而利用三个同步人造卫星来转播电视，可将电视节目送往世界各地。

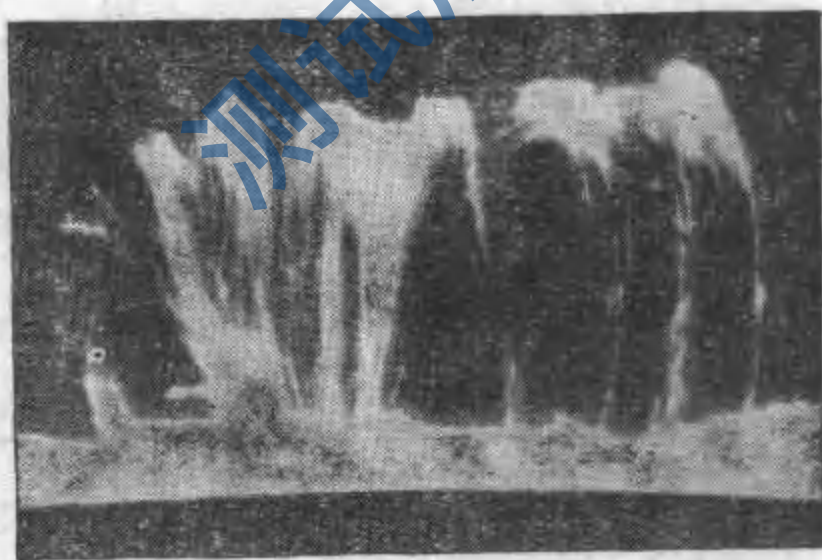
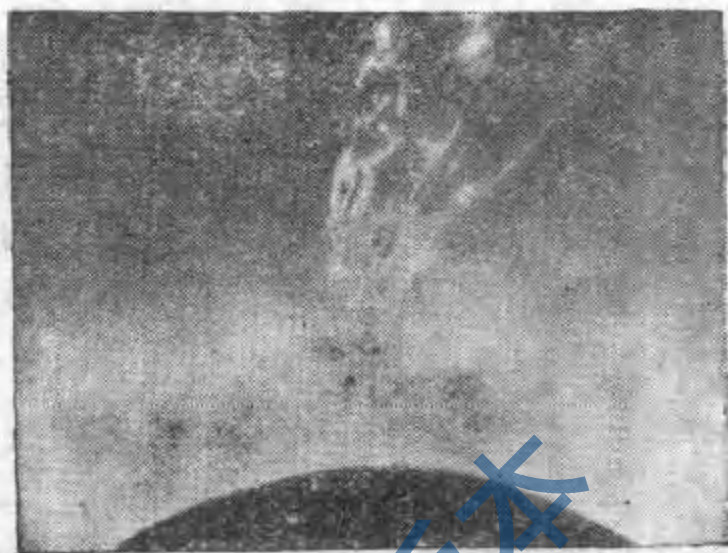
人造卫星在科学研究各个领域里的应用是很广泛的。它还能对航行的舰船、潜艇、飞机导航。因为人造卫星是按已知的轨道运转的，只要利用航船或飞机上的仪器设备测出与几颗卫星的位置关系，再通过计算即可得出自己的位置，从而可推算出有关的航向数据。它还能对地球外空环境、太阳和其他天体进行科学研究，探测、观察太阳的活动和辐射现象，研究粒子活动、极光、地球磁场、电离层及热能源，测量高层大气密度、压力、温度及成分等参数。人造卫星还可在医学、生物学、植物学、物理学等科学领域内得到应用，成为一个理想的实验室。

人造卫星除了为国民经济建设和科学研究服务外，还能对军事服务。利用人造卫星可对地面的军事目标进行各种侦察，了解兵力部署、基地分布、雷达位置和核爆炸情况；探测洲际导弹的发射基地并计算出其飞行轨道，以便进行预警。人造卫星作为通讯的中继站，来转播无线电波，避免了战时通讯的突然中断。另外，卫星上也可以装主动武器，如导弹核武器。

人造卫星在军事上用途很广。帝国主义和社会帝国主义为了称霸世界，便将人造卫星作为军事扩张的武器。但决定战争胜负的是人不是物。它们发射的各种人造卫星也无法挽救它们覆灭的命运。

测试版本

# 第五章 太 阳



## 一、雄伟姿态

太阳,光辉灿烂,给人以伟大壮严的形象。

太阳,离我们比月亮远得多。日地平均距离经测定为149597900公里。它相当于月地平均距离的389倍。光通过这段距离需8分19秒。如果火车以每小时行程100公里的速度驰向太阳,需要170余年才能够到达。乘坐等于声速的喷气式飞机,约14年才可以完成这段旅程。虽说太阳比月亮远,但与其他恒星相比,人们还算是挨在它的身旁。

太阳是炽热的星球,如果用望远镜直接对准它来测量它的视差<sup>①</sup>,被烤热的望远镜受到形变,就会对测量造成很大误差。因此,在测定日地距离时,并没有将定月地距离的视差方法照搬过来。人们绕了个弯,先测出某个离地球很近的行星在“冲”时的距离,再推算出日地距离。所谓“冲”,是指从地球上看到行星的方向正好和太阳的方向相差 $180^\circ$ 的时刻。地球和行星的轨道近似当作一个圆,轨道半径分别以 $a$ 和 $a_1$ 表示。当行星冲时,从地面上不同地点同时观测,由行星的视差定出地球和行星的轨道半径之差,即 $a_1 - a$ (图5-1)。根据下一章

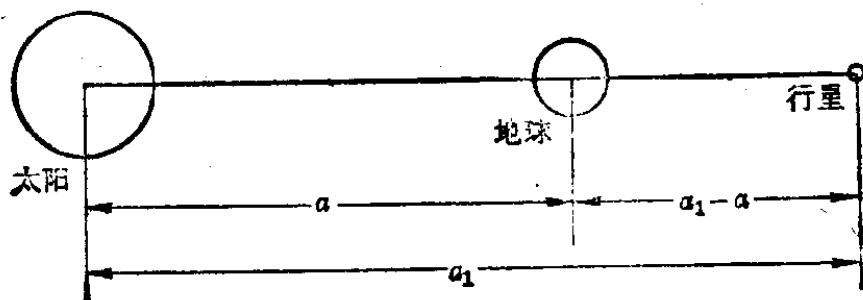


图5-1 测量行星在冲时的距离,定出日地距离

本章题头图:两张日珥照片。

① 由上文给出的太阳距离的数据及地球赤道半径的数据,不难算出太阳的视差为 $8.79''$ ,这是一个很小的角度。

要谈的行星运动的刻卜勒第三定律：行星公转周期的平方和它们到太阳的平均距离的立方成正比，行星的公转周期容易由观测得到，因而  $a/a_1$  是已知的。两个未知量  $a$  和  $a_1$  便从两个简单的代数方程中解出。历史上一度曾选择火星为定太阳距离的目标；后来 1898 年发现了第 433 号小行星——爱神星，它离地球最近时只有火星最近距离的  $1/3$ ，选它作为目标更为理想。爱神星跑到离地球最近的地方每 37 年发生一次，利用 1931 年 2 月爱神星离地球最近的机会，人们仔细地测量了太阳的距离。如今，我们不需要再守株待兔式地等待爱神星光临的机会了。用雷达向某行星发射无线电脉冲，接收自行星表面反射的回波，记录电波往返的时间间隔，就能算出行星到地球的距离，其精度比测视差位移的方法高。选取的目标有金星、火星和水星。

我们常以“天文数字”来形容某个数字之巨大。的确，以地球上的尺度来衡量星球间的距离，就会得出很大的数字，读起来噜苏，写起来也麻烦。我们从日地距离的数据已可见其一斑，更大的数字还在后面。为了计算等方便起见，天文上采用了几种独特的量度距离的单位，其一就是称作“天文单位”的日地平均距离，用它来表示太阳系中行星的距离便非常简洁。

太阳位于日地平均距离处，角半径等于  $15'59''.63$ ，由此算出太阳的半径为 695990 公里，相当于地球半径的 109 倍。我们知道，球的体积与半径的立方成正比，进而不难算出太阳高大的“身躯”内能装 130 万个地球。地球与太阳相比，可谓弹丸之地。

我们再来算一下太阳的质量。凡是一个星球，如果周围有较小的星球在绕转，它的质量是容易从绕它转的星球的运

动情况定出的。

我们知道，一个质量为  $m$  作圆周运动的物体，所受的向心力  $F$  和圆的半径  $r$ 、运动速度  $v$  有如下的关系：

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

对于地球，绕太阳旋转的椭圆轨道接近于圆， $r$  就是天文单位。地球绕太阳运动的速度  $v$  为每秒 29.78 公里。

另一方面，向心力  $F$  就等于太阳对地球的引力。根据万有引力定律：

$$F = G \frac{M \times m}{r^2}$$

$G$  (数值为  $6.67 \times 10^{-8}$  达因·厘米<sup>2</sup>/克<sup>2</sup>) 是引力常数。

将两个式子相等，地球质量  $m$  消去，太阳质量  $M$  由下式算出：

$$M = \frac{rv^2}{G} = 1.989 \times 10^{33} \text{ 克} = 1.989 \times 10^{27} \text{ 吨}$$

这个数字相当于地球质量的 33 万多倍，所有行星质量总和的 745 倍。

太阳的质量被体积除就得平均密度，等于 1.409 克/厘米<sup>3</sup>，为地球平均密度的四分之一。

太阳是光和热的源泉，它慷慨地孜孜不倦献出巨大的能量。消除了地球大气对阳光的吸收减弱，地面上同太阳光垂直的 1 平方厘米面积上每分钟获得的太阳能，这个数值叫“太阳常数”，目前测定的数据是 1.95 卡。将太阳常数乘上以天文单位为半径的球面面积就不难算出太阳每秒钟发出的能量，或者说太阳的功率，等于  $3.826 \times 10^{33}$  尔格/秒。用瓦来代替尔格/秒，少画 10 个圈便是。这相当于 5000 后面添上



20个圈那么多马力的功率。太阳献出巨大的能量，地球从中获取的部分仅为22亿分之一。因为阳光通过地球的截面面积只占以天文单位为半径的球面面积的那么一点儿。这一点儿能量对太阳而言是微不足道的，对地球来说却是非常了不起的。太阳每年送给地球的能量相当于一百亿亿度的电力，比全世界的发电总量大几十万倍。如果把太阳光聚集起来，充分利用，真是取之不尽、用之不竭的能源。目前已初步有一些利用太阳能的装置问世，用以烧水、烹调、发电、淡化海水、处理污水、制造超纯金属或合金等。人造卫星上安装了太阳能电池，代替化学电池，就可以长期把搜集到的资料通过无线电发报和电视传送到地面。

上述太阳的功率数值是整个太阳表面发出的，太阳表面1平方厘米发出的功率为 $6.234 \times 10^{10}$ 尔格/秒。由这个数据可以定太阳表面温度。钨丝灯比烧红的铁明亮得多，因为它的温度比后者高得多，这是众所周知的事实。物理学上总结出—条规律：对于完全不透明的物体，每平方厘米每秒发出的能量愈多的，它的温度愈高，而且是同温度的四次方成正比的。把这条规律应用于太阳，得出太阳表面温度为5770K。5770K意味着太阳不是固态的，而是一团高温气体球。地球上的一切金属，一旦投入这团熊熊燃着的气体球，便立刻升华为—缕蒸汽。

从几个数据我们已领略了太阳雄伟的姿态，磅礴的气势。

太阳自己能发光，是属于叫做“恒星”的星球。天上的星星，除少数游荡的行星外，都是恒星——遥远的太阳。纵然使用最大的望远镜看，恒星仍是一个光点。惟有太阳因离我们近而呈圆面，可以观察到表面的许多细节，动人的风光。



## 二、日面景色

让我们通过望远镜浏览一下太阳上的风光。必需提醒读者,切莫直接对准太阳观察,强烈的阳光会灼伤眼睛。用一块涂黑的玻璃搁在眼睛前面也不是绝对安全的措施。通常在望远镜目镜的一端装上一个投影屏,观察成在屏上的太阳象。

太阳由气体构成。气体给人以浑沌的印象。光耀夺目的太阳却是轮廓清晰,界限分明。我们所见明亮的圆盘似的太阳表面叫做“光球”。它是太阳外部的一层,太阳光基本上都从这一层发出。上节所述的太阳表面温度  $5770\text{ K}$  就是光球的一种平均温度。原子、分子对光有吸收和散射的作用,正如大雾笼罩的时候光被水汽分子吸收、散射,我们只能看到近处的物体一样。光球即是我们的眼睛能够透视的太阳表面层。太阳上的原子吸光本领很强。以致光球的厚度大约只有 300 公里,同太阳的半径 70 万公里相比,好象人体的皮肤那样薄。光球的里面(我们统称为太阳的内部)光辐射在到达表面之前就全被吸收,太阳内部情况深深地隐藏了起来。

观察太阳,只要细心一些,我们便可以看出一个现象:太阳圆面上不是各处一样亮,边缘部分比中央部分暗些(图5-2)。这个现象称为“临边昏暗”。由此,我们不难得出光球中的温度从外向里升高的结论。光球是半透明的气层,只有从某一深度之上的各层发出的光才不被完全吸收,逸出表面,投入我们的眼帘。我们看日面中央,视线同太阳表面垂直;看日面边缘,视线沿切线方向。视线穿透同样厚度的气层(图5-3中虚线表示的),在日面中央可以达到温度较高的光球底层,在边缘看到的是较浅较冷的层,于是产生了临边昏暗现象。 $5770\text{ K}$

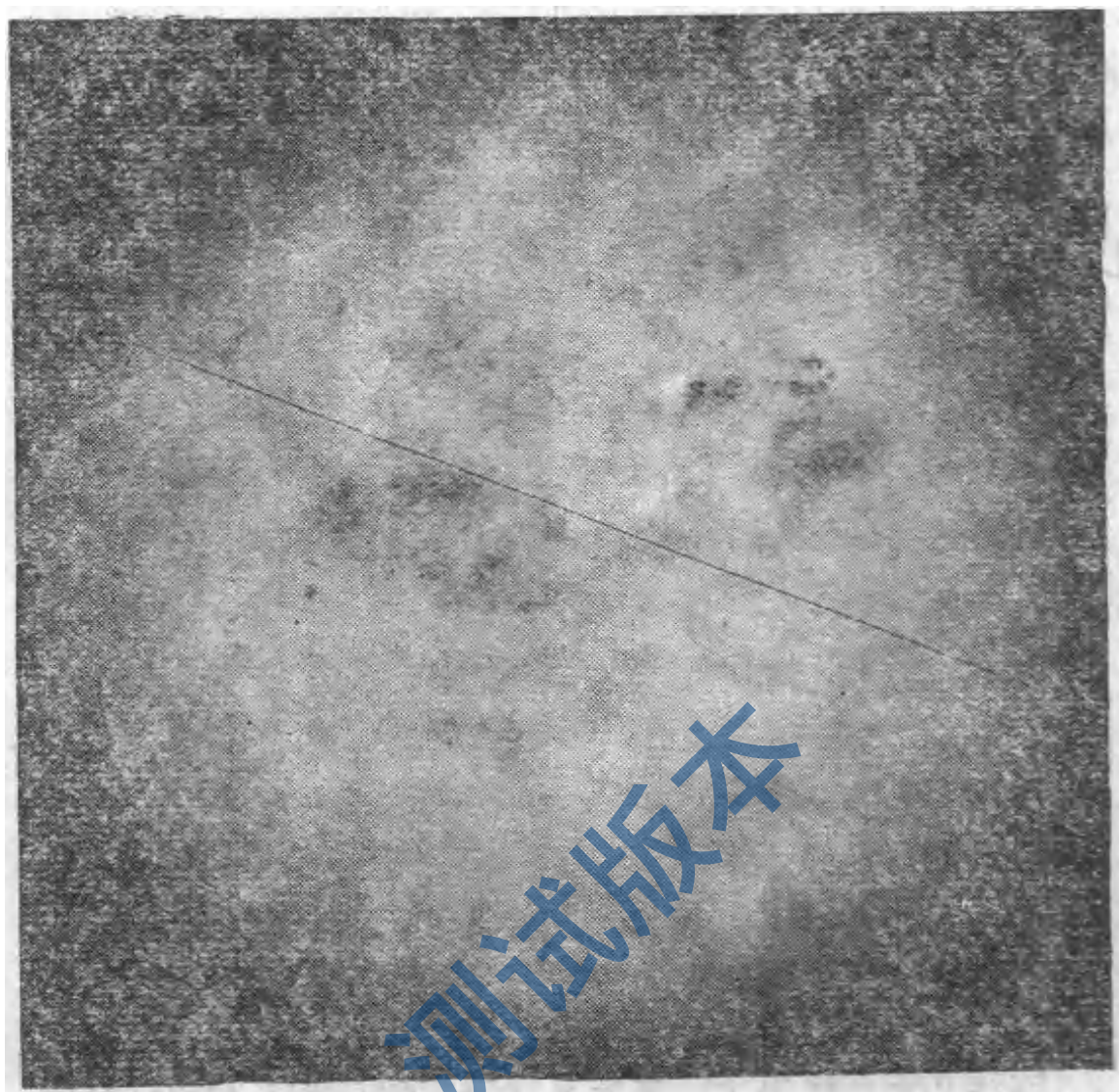


图 5-2 太阳的白光照片。黑的斑点黑子，  
黑线指示日面上的东西方向

是光球的一种平均温度；在光球外层温度低一些，为 4500 K。

用小倍率的望远镜，甚至肉眼，就可以看到光球上有一些黑的斑点，叫做“黑子”。黑子时多时少，经常成群出现。我国从汉朝至明朝记载了黑子一百余次。《汉书·五行志》里描述了公元前 28 年的大黑子：“河平元年三月乙未，日出黄，有黑气，大如钱，居日中”。这是世界上最早的黑子记录，比朝鲜、日本的记载早六百多年，比欧洲早八百多年。黑子实际上并不

黑, 它的温度约 4500 K, 只是比周围的光球低了 1 千多度, 在明亮的光球衬托下才显得黑了。黑子的直径差别可达几十倍, 小的二、三千公里, 最大的超过十万公里, 后者比地球大得多。小黑子的寿命很短, 几天甚至几小时就消失, 大黑子可以持续几个月。

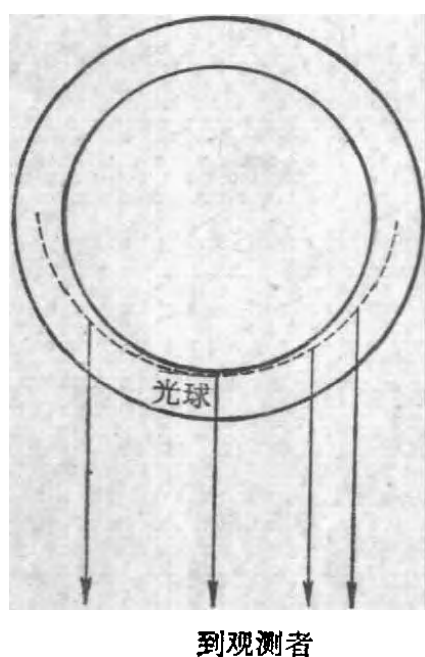


图 5-3 日面临边昏暗现象的解释

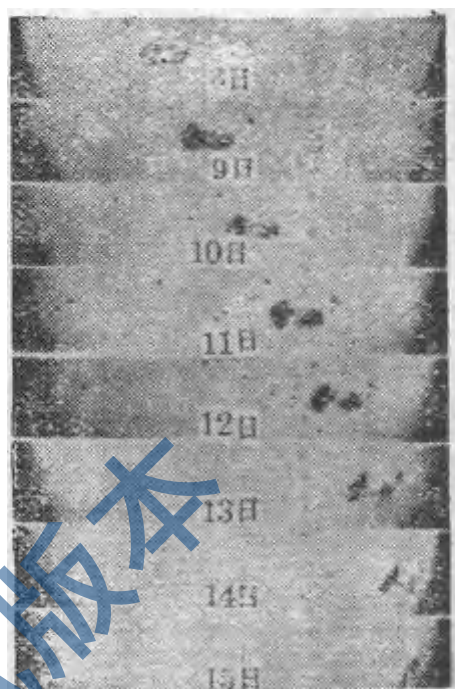


图 5-4 1947 年 3 月 8 日至 15 日一群黑子在日面上的移动

连续几天观测黑子, 就会发现黑子在日面上朝同一方向移动 (图 5-4), 这个现象是太阳自转的反映。太阳的自转轴与黄道平面的垂线倾斜, 它们之间的交角就是太阳的赤道平面同黄道平面的夹角, 等于  $7^{\circ}15'$ 。太阳绕轴旋转的方向和地球自转的方向一样, 都是反时针方向。这是指位于太阳“北极”的假想的观测者看到的情况。当然, 位于太阳“南极”的观测者看到的是顺时针旋转。既然太阳在自转, 我们在日面上就可以划分经纬度。太阳的自转颇为特殊, 纬度愈低的地区转得愈快, 赤道上 25 天转一圈, 纬度  $30^{\circ}$  和  $85^{\circ}$  处分别为 26 天和 34 天。这种不是作为一个整体的旋转方式, 从另一个方



面证明了太阳不是固态的。

长期记录日面上黑子的数目,发现有的年份黑子较多,有的年份较少,平均有一个 11 年左右的周期(图 5-5)。黑子并不是在日面各处都能出现,而是限于太阳纬度  $\pm 45^\circ$  之间的范围。每个黑子周期开始时,黑子大致在纬度  $\pm 40^\circ$  处出现,数目很少。以后逐渐向赤道转移,数目增多,极盛时移到了纬度十几度的地方。最后大约在纬度  $\pm 5^\circ$  处消失,结束了一个周期。紧挨赤道的两旁黑子很少见。一个周期的黑子在低纬度处还未完全消逝,下一个周期的黑子又在中纬度地区冒了出来。

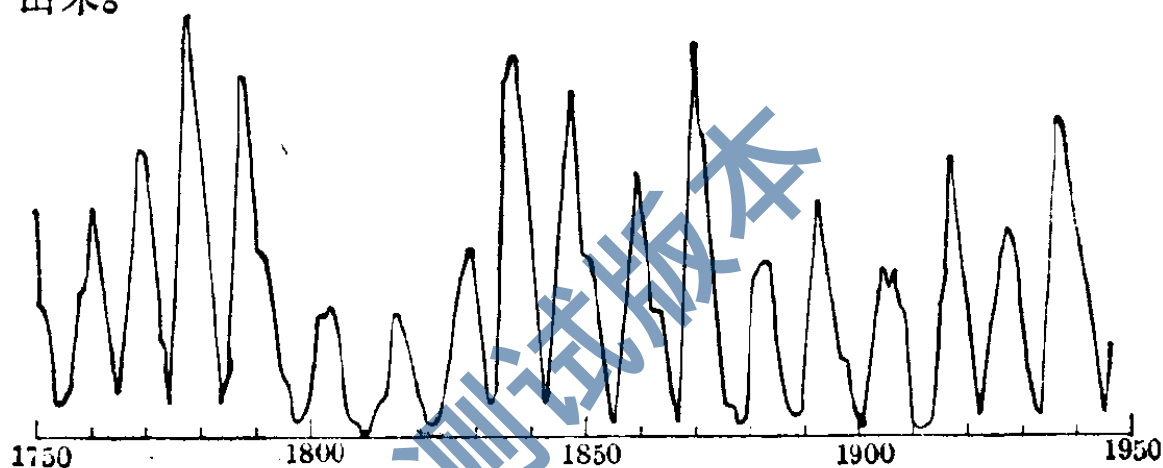


图 5-5 自 1750 年至 1950 年黑子数的变化

黑子经常成群结队地出现,在一个黑子周期内大约可以观察到1500个黑子群。大多数黑子群由两个主要的黑子组成,沿着太阳自转的方向,位于前面的一个黑子叫做“前导黑子”,后面的一个叫做“后随黑子”。黑子具有很强的磁场(在下一节我们将给出证据)。成对的黑子,它们的磁场极性相反,磁力线从一个黑子穿出,进入另一个黑子。前者是北极,后者是南极。有趣的是:太阳南北两个半球上黑子对的磁极排列的次序正好相反,而且在一个黑子周期内次序保持不变,但到了下一个周期,次序就颠倒了过来。例如,在某一周期里,北半球

前导黑子是南极,后随黑子是北极,南半球黑子对的次序是北极和南极;到了下一周期,北半球前导黑子变成北极,后随黑子变成南极,南半球次序是南极和北极(图 5-6)。因此,如果按照黑子磁极的变化来说,周期是 22 年。少数黑子群,黑子只有一种磁极,也有极性排列很复杂的多极黑子群。

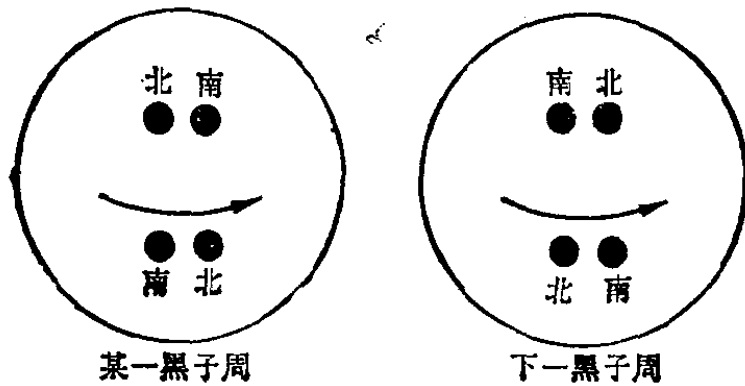


图 5-6 黑子对的磁场极性在两个相邻黑子周期内的次序

黑子极盛时,下文要谈的太阳大气中的其他几种现象也跟着活跃起来,太阳进入了活动期。而在黑子极衰的年份,太阳上显得很宁静。

除黑子以外,光球上还有“光斑”和“米粒”。与黑子相反,光斑是比周围背景明亮的斑点,仅在日面边缘看得到。一个光斑从出现到消失平均历时 15 天。它们同黑子关系很密切,黑子附近必有光斑;但有光斑的地方不一定能找到黑子。我们说过,日面边缘的光辐射来自光球的外层,光斑可能是位于光球外层的较热的气团。米粒必需用较大的望远镜在空气稳定的良好观测条件下才能看到,它们是日面上无黑子的地方数以百万计的明亮小颗粒(图 5-7)。米粒的直径约 1000 公里,温度比周围背景高 300 K,寿命极短,几分钟就消逝。它们反映出光球下面存在着对流,炽热的气流上升到光球底部,比下沉的气流温度高些,表现为明亮的米粒。颇象水壶中开水沸腾的情景。

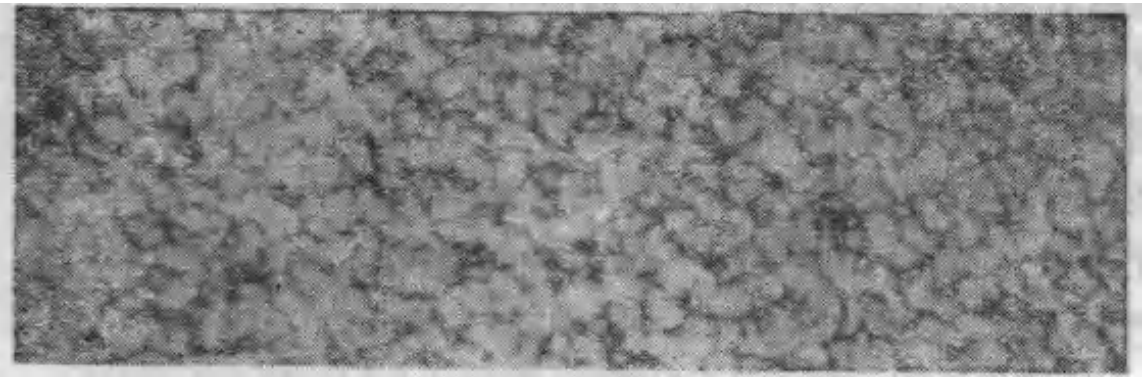


图 5-7 米 粒

日全食是探索太阳的宝贵时机。当月轮完全遮住眩目的光球的时候,太阳高层大气的壮丽景色便展现在我们面前。我们可以看到紧挨圆轮边沿有一条狭窄的玫瑰色的圆弧,好象太阳镶上了一条花边。由于它呈红色,所以获得了“色球层”的名称(图 5-8)。色球层是光球之上的气层,厚度各处不同,平均约几千公里。细看起来,色球层由无数的火舌所组成,因此它的边缘呈锯齿状。火舌是上升的气流,上升速度每秒几公里,几分钟后就回落或消失。色球层中,有时有巨大的气柱升腾而起,达到几万公里甚至一百多万公里的高度,然后

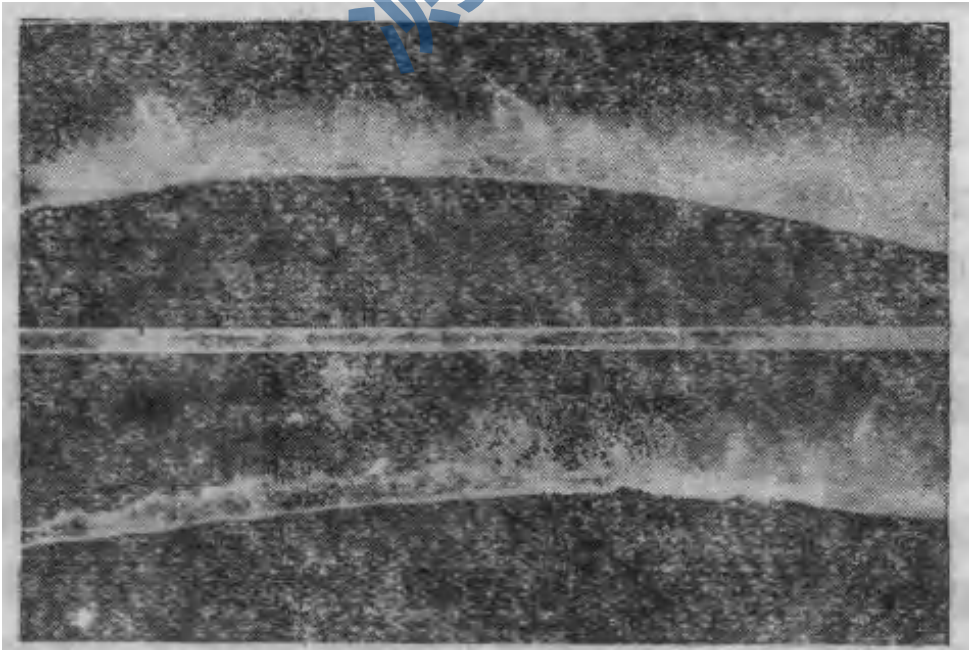


图 5-8 日全食时的色球层

落回日面,或脱离太阳的引力消散不见。这些气柱叫做“日珥”。日珥的形态多样,有的象喷泉,有的象拱桥、草丛(见本章题头图)。有的日珥变化缓慢,可以生存几个月,气流上升的速度较低,约每秒 10 公里;有的则变化剧烈,相隔几十分钟拍摄的照片就显著不同(图 5-9),气流升腾的速度高达每秒几百公里。用电影摄影机可以拍下日珥活动的镜头。

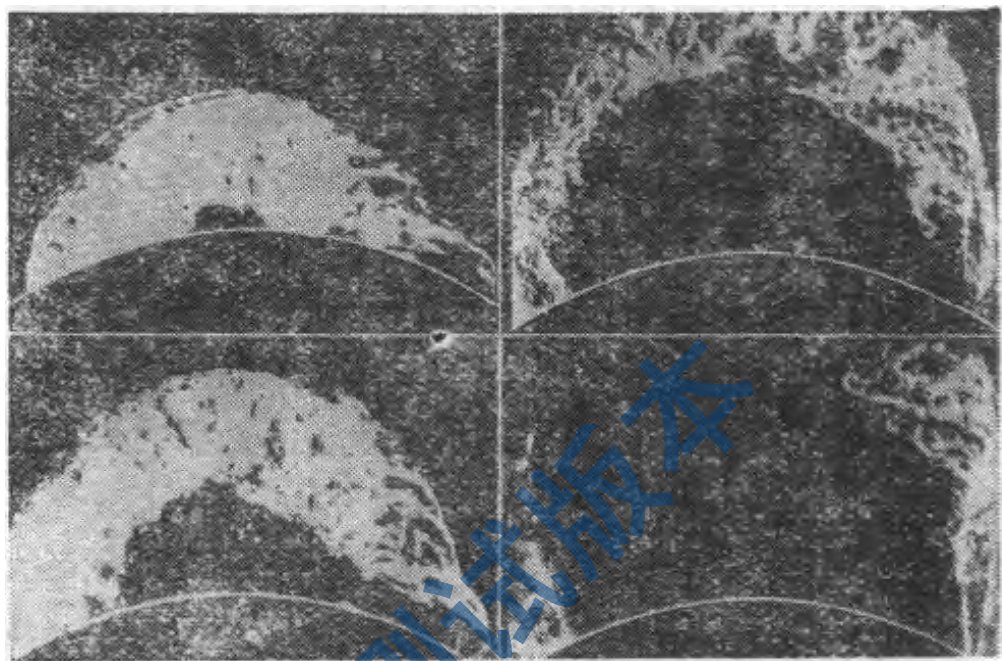


图 5-9 一个爆发性的日珥,四张照片记录了该日珥在 1 小时 20 分钟内的变化

日全食时的另一个奇景是“日冕”崭露头角——一圈白光裹住了日轮。这圈白光叫日冕。它是太阳大气最外面的部分,可伸展到好几倍太阳直径那样远的地方,愈往外愈稀薄,逐渐向行星际空间过渡。日冕的形状同太阳活动有关系。黑子极盛时,日冕近于圆形(图 5-10a);黑子极衰时,日冕较扁,向赤道区延伸(图 5-10b)。日冕的光很微弱,还不如满月明亮,比白昼地球大气的散射光弱得多,因此在平时完全被明亮的天空背景掩盖了。天文工作者不会满足于短短几分钟的“昙



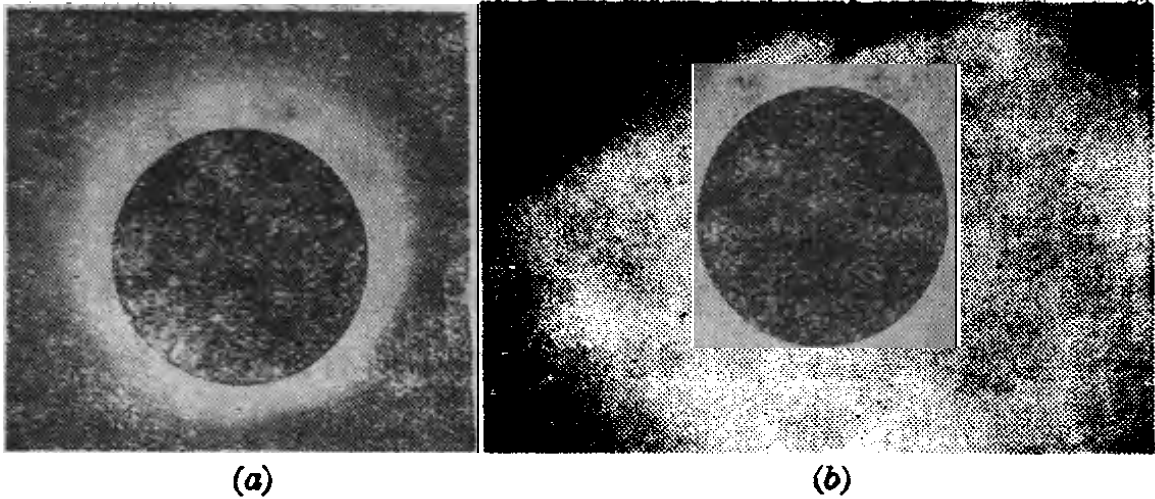


图 5-10 日 冕  
(a) 黑子极盛时; (b) 黑子极衰时

花一现”，坐等难得的日全食来临。天文工作者设计制造了无日全食时观测日冕的仪器——日冕仪。这种仪器需搬到高山上去，置浓密的大气于脚下，待等到雨后初晴，空气中的灰尘被清洗干净，大气散射光大大减弱，仪器又克服了自身对光的散射，造成了人工的日食，就可观测到日冕靠近太阳圆面的部分。至于日冕离太阳圆面较远的部分，由于更暗弱，用日冕仪仍无法看到。

上面，我们看到了太阳大气各个层上的生动现象。至此我们只是用白光来看太阳。如果我们把白光分开，展成光谱，就会更觉太阳无比壮观。

### 三、光谱带来的消息

大雨初霁，天空中出现的彩虹是自然界演示的太阳光谱。阳光透过棱镜也形成了一条彩色的光带。在棱镜前面搁一条狭缝，棱镜后面装一块透镜，透镜将狭缝成象于一个屏上，让阳光通过狭缝，则展现在屏上的是一条彩色光带，上面迭加了一系列的称为吸收线的黑线。自从一百多年前发现了这种现

象以后,光谱成了人类研究太阳的锐利武器,给人们带来了太阳的信息。

我们在第二章中讲过,炽热稠密的气体产生连续光谱,如果在途中有较冷的气体存在,那么就有吸收线迭加在连续光谱上。为了解释太阳的光谱,可以简单地把太阳大气分成上下两层,炽热稠密的下层发出连续的(即所有波长的)光辐射,产生连续光谱;温度较弱的上层在个别的波长上吸收了来自下层的光辐射,于是连续光谱上相应波长处的光辐射被减弱了,形成吸收线。实际的过程要复杂得多。每种元素的原子,其原子核周围的电子只能处在一系列能量不同的分立的状态。原子吸收了一定频率的光,电子便从能量较低的能级跃迁到能量较高的能级。吸收线就是在大量原子吸收一定频率的光的过程中形成的。吸收线的波长取决于电子跃迁前后所处的两个能级的能量差异。每种元素的原子都有自己一系列独特的波长确定了谱线,因此太阳光谱中的谱线其实就是太阳大气中存在的元素打下的印章。谱线黑的程度深浅不一。这由几种因素决定:首先依赖于产生某条谱线的原子的多寡。在同一类原子中,电子又可以占据一系列的能级,只有处在对应于产生该谱线的能级的原子才起作用,而原子被分配到各个能级的比率是由太阳大气中的物理状况,如温度、压力等决定的。于是,分析太阳的光谱(图 5-11),从出现的吸

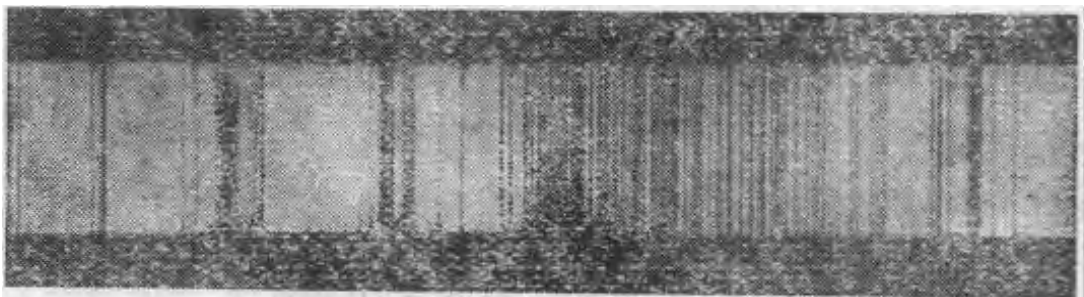


图 5-11 太阳光谱的片段

收线可以确定太阳大气中存在哪些元素；从吸收线的深浅，可以推算元素的含量和太阳大气中的物理状况。

太阳光谱中吸收线非常多，波长从 2935 埃到 13495 埃之间共有 26000 条。对这些吸收线进行分析，已证认出太阳大气中有六十几种元素。最丰富的 12 种元素以及它们相对于氢原子的含量列举如下，并取  $10^6$  个氢原子作为比较的标准：

元 素	氢	氦	氧	碳	氮	氖	镁	镍	硅	硫	铁	钙
原子数	$10^6$	63,000	600	300	200	130	80	40	30	16	8	3

在太阳大气中割取一个立方体，如果该立方体中含有 1 百万个氢原子，那么氦原子有 63000 个，氧原子 600 个……，钙原子只有 3 个。最简单的原子氢是最丰富的元素，远远凌驾于其他元素之上。元素周期表中排行第二的氦，含量也占第二位。

日全食食既之后和生光之前，在短短的不到一分钟的时间内，色球层在日轮边缘呈现狭窄的圆弧形，要拍摄它的光谱，不必再用狭缝了。色球层的光谱全部由发射线组成，谱线呈弧形。由于它稍纵即逝，闪现了一下，故称“闪光光谱”（图 5-12）。色球层的这种闪光光谱是由炽热稀薄的气体在其后面没有产生连续光谱的光源的情况下形成的。1868 年日全食时，在闪光光谱中首次发现了一条橙黄色的谱线，波长为 5876 埃，与那时已知元素的任何谱线都不符合，认为是一种

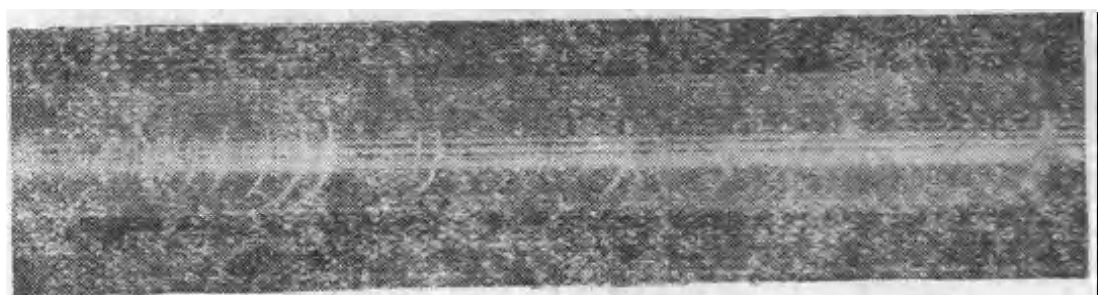


图 5-12 色球层的闪光光谱

未知元素发出的谱线, 并取名为“氦”。直到 1895 年才在地球上的矿石中分析出氦来。氦是至今唯一的不是在地球上首先发现的元素。发射线是原子中的电子从能量较高的能级跳到能量较低的能级发出光而形成的。氦是一种难以“激动”的原子, 欲使它激发到能量较高的能级, 需要几万度的高温才行。氦的谱线出现于色球层的光谱中, 正说明了色球层的温度很高。研究表明, 色球层同光球相反, 温度不是从里向外降低, 而是升高。在色球层的底部, 温度只有 4500 K; 在 2000 公里的高度, 温度达 10 万度, 往外愈来愈高, 最后过渡到日冕区的温度——1 百万度!

在无日全食时, 由于太阳的光辐射绝大部分来自光球, 如果作白光观测, 色球层完全被明亮的光球掩盖了, 就象白昼我们看不见星星一样。如何解脱这种限制, 使色球层经常置于天文工作者的监视之下呢? 又是靠光谱来解决。我们摒弃白光观测, 选择太阳光谱中某条吸收线, 以该谱线的波长作单色光观测。在这种波长上, 光球的辐射被削弱得很厉害, 太阳大气非常不透明, 因此我们观测到的是光球之上的色球层。选择的吸收线愈强, 或在一条吸收线中选取愈靠近中心的部分(吸收线不是无限窄的, 有一定的宽度), 看到的是色球层中愈外面的层。图 5-13 表示实现单色光观测的方法: 在摄谱仪的棱

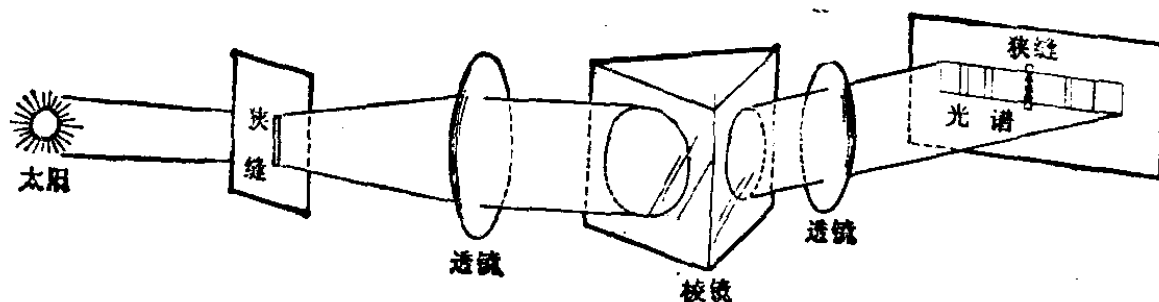


图 5-13 单色光观测的方法



镜后面光谱所在的平面上安装另一条狭缝，狭缝对准所选择的吸收线，只让对应于该谱线的波长的单色光通过。图 5-14 是用氢的一条谱线(波长 6563 埃)拍摄的太阳单色光照片。照片上除了黑子外，还可以看到暗条和明亮的斑纹。随着太阳自转，移到日面边缘的暗条转变为日珥的事实，表明了暗条实际上是日珥在色球层上的投影。明亮的斑纹叫做“谱斑”，同光球上的光斑类似，常和黑子在一起。在用电离钙的一条谱线(波长 3934 埃)拍摄的单色光照片上，谱斑更清晰(图 5-15)。有时，一个亮的斑点在黑子群的上空突然出现，在几分钟甚至



图 5-14 太阳单色光照片，用氢的一条波长为 6563 埃的谱线拍摄

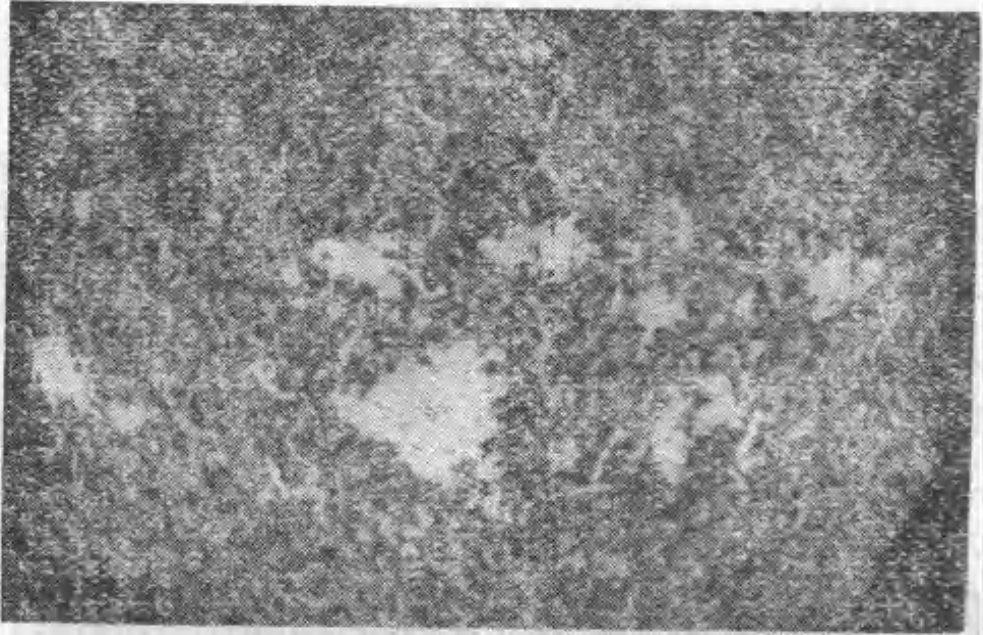


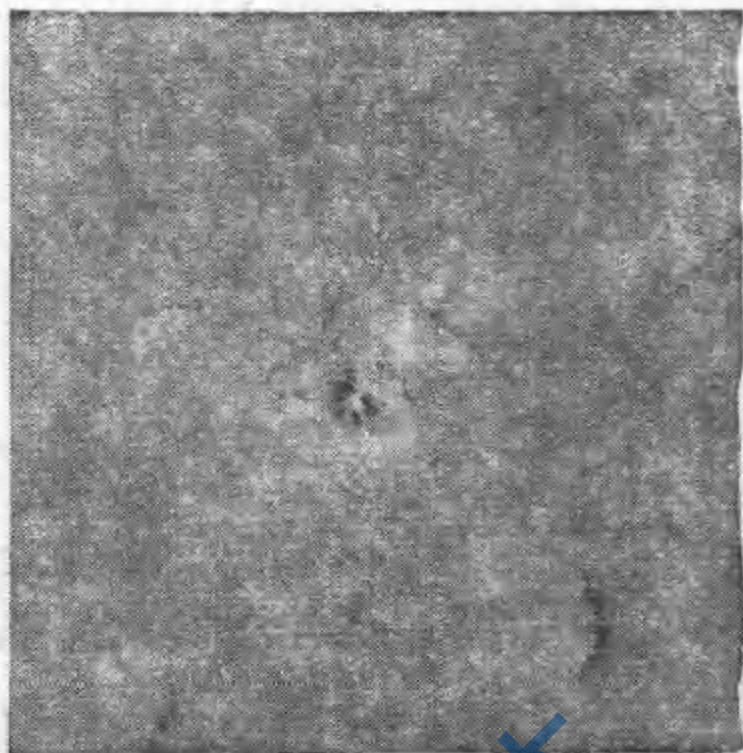
图 5-15 太阳单色光照片,用电离钙的一条波长为 3934 埃的谱线拍摄

几秒钟内亮点扩大成具有纤维状结构的耀眼的一片,以后较缓慢地减弱以至消失。这是色球层内的爆发现象,称为“耀斑”(图 5-16)。

随着黑子极盛时期的来临,出现了一次为期 3~4 年的太阳活动的高潮,耀斑频繁激烈地出现。95% 以上的耀斑产生在黑子群范围内。一个耀斑从诞生到消逝,历时几分钟至 1 小时左右不等,发出的总能量达  $10^{32} \sim 10^{33}$  尔格,相当于 100 亿个百万吨级的氢弹的威力。用射电望远镜观测太阳,经常接收到一种很微弱的无线电辐射,即使在黑子极衰时期也存在,强度几年保持不变,这是“宁静太阳”的射电。当日面上出现耀斑时,射电突然增强几百万倍,称为“射电暴”(图 5-17)。耀斑除了发出很强的无线电波外,还发射大量的紫外光、X 射线、 $\gamma$  射线,抛出高能的带电粒子。这些射线和粒子到达地球,引起了一些异常的现象。

日冕的光谱中有一些发射线,其中最亮的一条呈绿色,波长 5303 埃,于 1869 年日全食时发现。这是一条完全陌生的





(a)



(b)

图 5-16 1972 年 8 月 4 日的大耀斑  
(a) 开始前, (b) 41 分钟后发展到极大



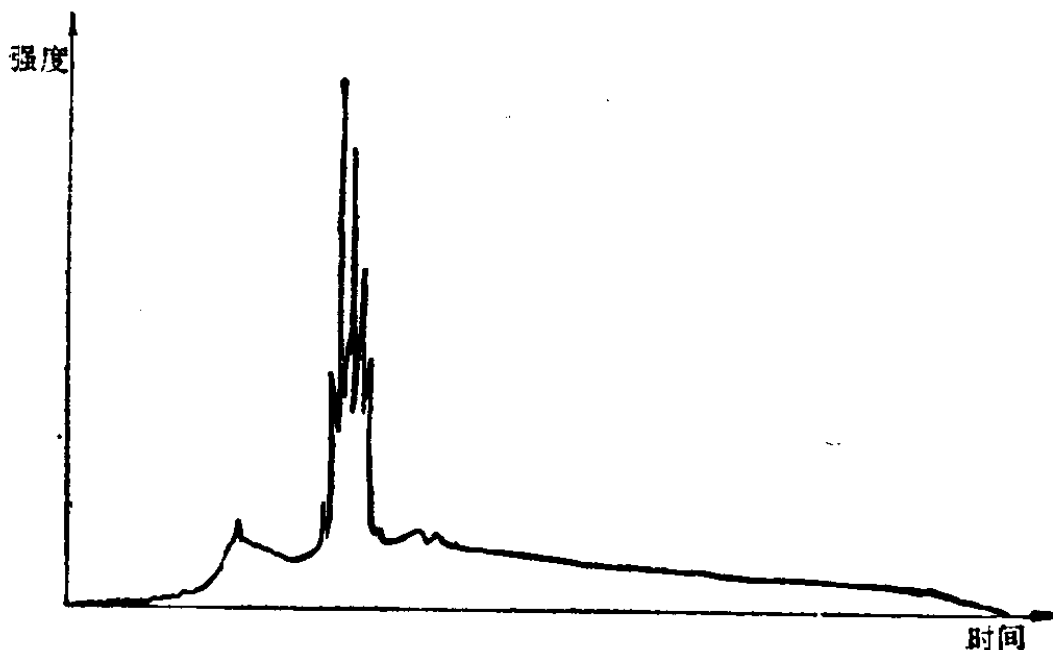


图 5-17 1972 年 8 月 7 日太阳射电(波长 10 厘米)爆发图

谱线,以至于又认为是太阳上某种未知元素的标记,把它命名为“氩”,表示在日冕内发现的新元素。经过了漫长的七十余年,“氩”之谜才揭开了,原来它并不是什么新元素,而是经过 13 次电离的铁离子产生的谱线。日冕光谱中其他的发射线也是属于失去了十几个电子的铁、镍等金属离子的谱线。从此,“氩”这个字没有存在的必要了,只有叙述天文学史时才会提到它。铁原子共有 26 个电子,欲剥掉半数的电子使它严重“残废”可不是轻而易举的事,需要在 1 百万度的高温下由速度很大的粒子撞击才能办到。日冕完全由离子和脱离了原子束缚的自由电子组成。这种完全电离的气体叫做“等离子体”,是物质的第四种基本状态。我们在地球上常见的物质状态只有三种:固态、液态和气态,而在太阳上大多数物质却以等离子体的状态出现。

日冕温度高达 1 百万度是一个令人费解的问题,什么原因使日冕能加热到如此高的温度呢?众说纷纭。根子可能在光球下面的对流区。对流运动产生了噪声,声波向上传播,受

到磁场的作用，当它传至日冕，那里的密度已非常低，声波连同它携带的能量消散在日冕内，致使日冕加热，获得了高温。

日冕离太阳表面较远，受到的引力较小，而它的高温使得组成日冕的气体膨胀，气体压力超过了引力，粒子不断地散逸到行星际空间。这种粒子流好象是从太阳吹出的一股“风”，所以称为“太阳风”。宇宙飞行器探测到了金星、火星轨道附近的太阳风。在地球附近，当太阳宁静的时候，每立方厘米内有5至10个太阳风的粒子，速度每秒3百余公里；当太阳活动的时候，粒子数达每立方厘米几十个，速度从每秒几百到1千多公里。

在单色光照片上，常看到黑子周围呈旋涡的形状（图5-18），颇象磁铁附近铁屑分布的情况，使人联想起黑子可能具有磁场。上世纪末，物理工作者发现位于强磁场中的光源

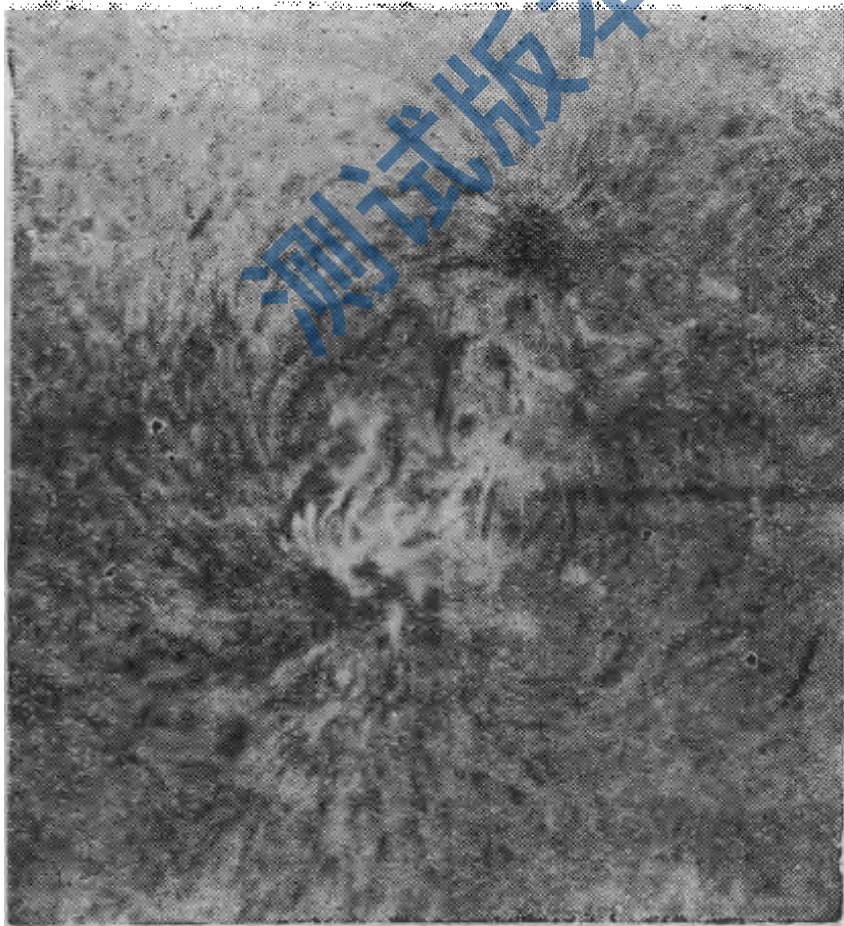


图 5-18 黑子的旋涡结构

产生的光谱线发生了分裂。如果我们平行于磁场方向观测，谱线分裂成两条；如果垂直于磁场方向看，谱线分裂成三条（图 5-19）。谱线分开的程度取决于磁场强度。这样，光谱分析又成了天文工作者研究星球磁场的手段。在黑子光谱中果然发现了谱线的分裂（图 5-20）。黑子的磁场从黑子中心向边缘衰减；在大黑子的中心，磁场强度可达三、四千高斯，甚至更高。

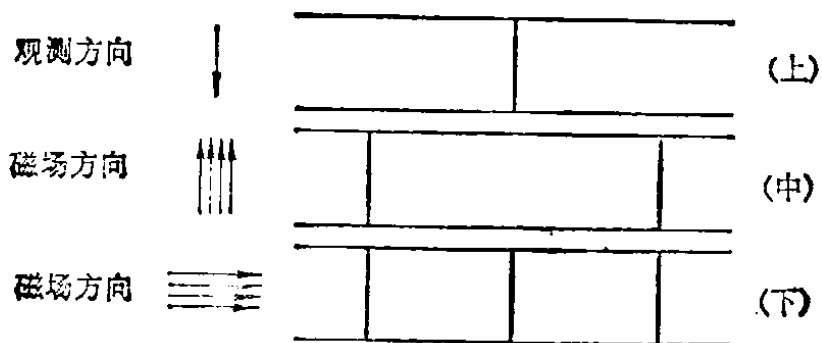


图 5-19 在磁场中谱线的分裂

(上)无磁场时；(中)平行于磁场方向看；(下)垂直于磁场方向看

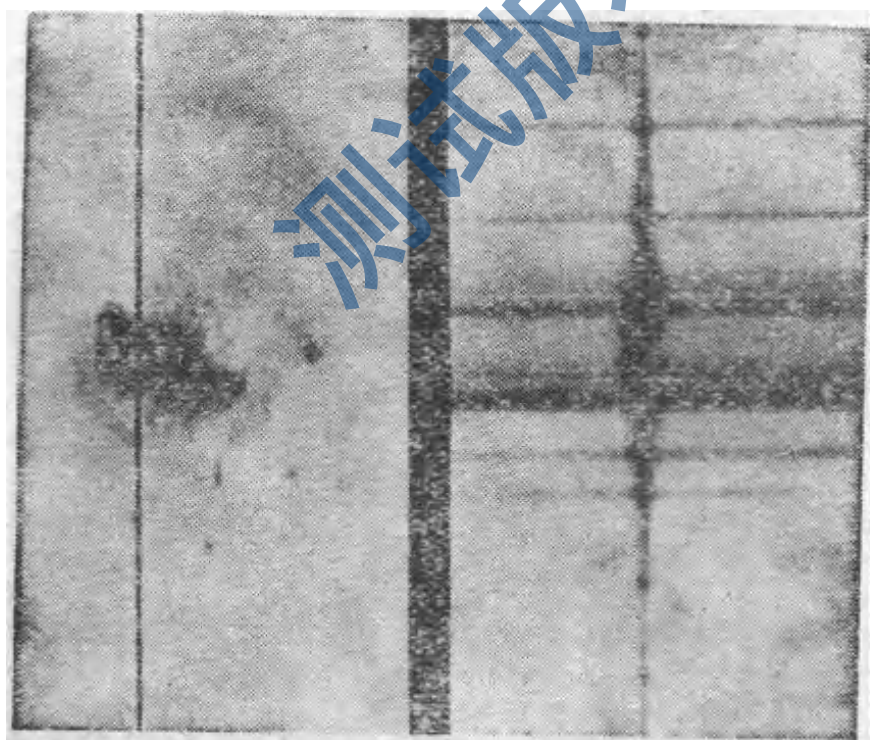


图 5-20

(左)通过黑子的黑线表示摄谱仪狭缝放置的方位

(右)中央是黑子的谱线，已分裂(水平方向的线不是谱线)

而地球磁场的强度不到1高斯。在黑子中心，磁力线垂直于日面；在黑子边缘，磁力线几乎平行于日面。有时在日面上无黑子的地方也测出有比较强的磁场，这种地方往往是黑子即将出现或不久前黑子消失的场所。太阳上还普遍存在一种微弱的磁场，强度约1高斯，称为太阳的“普遍磁场”，而黑子的强磁场乃是局部的。

我们初步描述了光谱分析的威力。星球的辐射，从 $\gamma$ 射线、X射线到无线电波，范围宽广，内容丰富多彩。可是地球大气这个屏障基本上只容许可见光和波长从厘米到几十米的无线电波通过(见第二章)，其余的波段一概拒之门外，不能到达地面<sup>①</sup>(图5-21)。波长2900埃以下的紫外光以及10000埃以上的红外光分别被离地面30公里的臭氧(由三个氧原子构成的分子)层和大气中的水汽所吸收；波长几十米以上的无线电波乃被电离层反射。

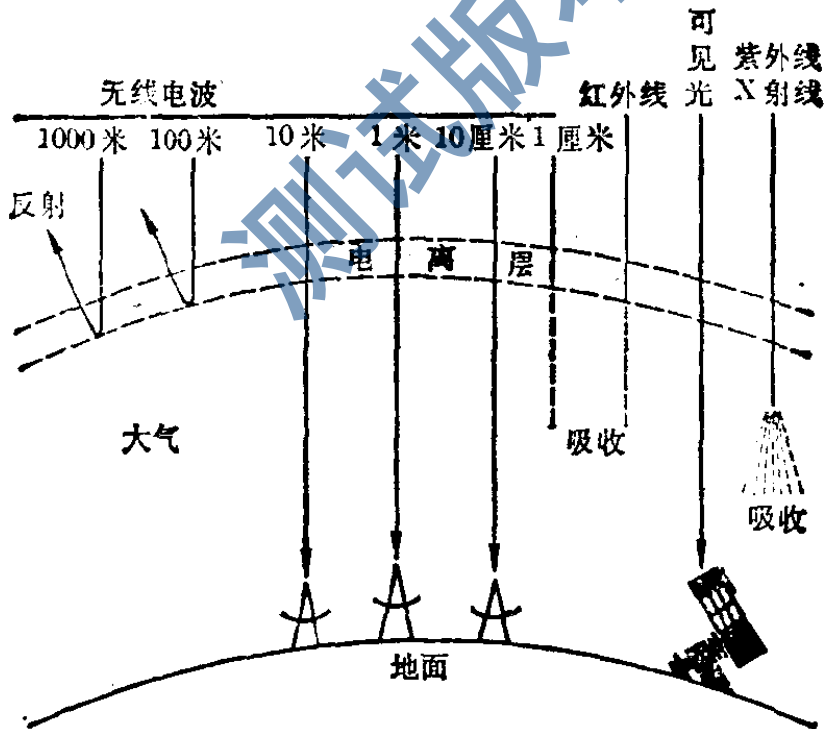


图5-21 地球大气对不同波长的辐射容许或禁止透过的示意图

① 我们不去赘述地球大气的一些小“窗户”，例如红外波段中的一部分以及几种毫米波，也能透过地球大气。



电波被电离层吸收或全部反射。因此，在地面上接收到的星球辐射的范围受到很大限制。要摆脱地球大气的羁绊，必须飞越云霄。在高空气球、火箭、人造卫星和宇宙飞行器上安装对各个波段敏感的仪器。今天已有可能在所有的波段上对星球进行研究。太阳光谱突破了地面观测 2900 埃的“禁区”。从 1700 埃以下，太阳光谱中吸收线完全绝迹，连续光谱很微弱，发射线占统治地位。现已发现二百多条发射线，它们是由色球层和日冕中的氢、氦和许多金属原子产生的。日冕发出的 X 光也已观测到。大气外观测补充了地面观测的不足，对研究太阳和其他星球开辟了新的途径。

#### 四、能量源泉

前面，我们已经给读者交代过太阳内部隐藏在光球下面，无法看到。天文工作者研究太阳内部就只能从理论上进行探讨，以物理学的规律为依据，以太阳的一些数据（质量、半径、表面温度、每秒辐射的能量）以及太阳表面发生的现象为线索。正如地球物理工作者根据有关地球的数据（质量、平均密度等）以及火山爆发、地震、地球磁场等现象，可以分析地球内部的状况。

众所周知，离地面愈高，空气愈稀薄，气压愈低。游泳时会感觉到潜水比在水面上游受到更大的压力。在太阳内部，密度和气压必然是往里升高，因为愈往里受到外面气层的挤压愈厉害。颇象杂技团表演的“集体操”，最下面的演员要支撑住他上面所有的人，最为吃重。气体压力又和温度有关，随温度的升高而增加，气球受热膨胀是明显的例子。在太阳内部温度也向里升高。天文工作者通过几个方程式的求解，可

以计算从太阳中心到表面各层的温度、密度和压力的数值,预报出了太阳中心的“气候”:

温度为 15500000 K(相当于太阳表面温度的 2700倍)

密度为 160 克/厘米<sup>3</sup>(相当于水银密度的 12 倍)

压力为  $3.4 \times 10^{17}$  达因/厘米<sup>2</sup>(相当于 3000 亿大气压力)

可见,太阳内部是一个高温高压的地方。

太阳发出的热量如果平均分摊到它包含的全部物质,那末,每克物质每年产生 1.5 卡的热量。乍看起来,这个数值不大,似乎容易解释。其实不然。地质资料表明,大约 30 亿年来太阳一直稳定地发出如同今天那样多的热量。于是自太阳诞生以来,每克太阳物质平均至少已产生了 45 亿卡的热量。这比任何化学过程所产生的热量大百万倍。

太阳的能源在很长的时期内成为悬而未决的问题。上一世纪曾提出过几种解释,以今天的认识水平来衡量,这些解释大都已毫无价值的了,我们不去赘述。随着质量和能量的相互关系的确立以及原子核物理的发展,在本世纪三十年代末,才揭开了太阳能源之秘密。

质量和能量都是物质的属性,它们之间由关系式

$$E = mc^2$$

相联系。质量  $m$  以克为单位,能量  $E$  以尔格为单位,光速  $c$  的单位是厘米/秒。很容易算得,与 1 克质量相联系着的能量达 20 万亿卡。物质蕴藏着多么巨大的能量!

核反应能使物质蕴藏的能量部分地释放出来。原子核受到高能粒子(质子、中子、氦核以及其他原子核)的轰击发生转变,称为核反应。实验室中用加速器使带电粒子在电磁场中加速到很高的能量,成为轰击原子核的“炮弹”。在太阳内部当然没有人造的加速器,但有一个高温的环境。在一千五百



多万度的高温下，原子失去了全部或大部分的核外电子。最简单也是最丰富的氢原子，赤裸裸地只剩下了它的原子核——质子。粒子的热运动速度如此之大，它们相互碰撞，发生核反应。这种在高温下实现的核转变叫做热核反应。氢弹就是一种热核武器，它用氢的同位素氘（重氢，由一个质子和一个中子构成的原子核）和氚（超重氢，由一个质子和二个中子构成）作热核反应的原料，氢弹内装了一个以铀或钚为原料的原子弹，原子弹起着“雷管”的引爆作用，原子弹爆炸时造成一千多万度的高温，致使氘和氚在百万分之几秒的瞬间进行激烈的热核反应，释放出比原子弹爆炸更为巨大的能量。类似地，在太阳内部进行着四个氢核（质子）聚变成一个氦核的热核反应。四个氢核的总质量为 4.0291 原子质量单位<sup>①</sup>，一个氦核的质量为 4.0015 原子质量单位，因此每一次反应质量亏损了 0.0276 原子质量单位。亏损的质量被核反应中放出的能量带走了。1 克氢聚变成氦质量亏损了 0.0069 克  $\left( = \frac{0.0276}{4.0291} \right)$ ，相对应的能量为 1500 亿卡。这个数字比上面谈到的太阳诞生以来平均每克物质产生的热量 45 亿卡大几十倍。因此氢核聚变成氦核的热核反应足以说明太阳能量的来源。太阳不断地发出能量，它的质量不断地亏损。但这种亏损是非常小的，读者自己可以计算：如果太阳一直按目前的功率发出能量，100 亿年后质量仅损失 0.06%。好象一个体重 100 斤的人，减少了 0.6 两，微乎其微。

氢聚变成氦的热核反应必需在 1 千多万度的高温下才能发生，因此这种核反应并不是太阳内部各处都在进行着，而仅

---

<sup>①</sup> 现在国际上取碳原子质量的  $\frac{1}{12}$  作为原子质量的单位。

局限于中心附近的一个区域内,这个区域叫做“产能核心”。

上面提到,地质资料表明太阳发出的热量几十亿年来没有明显变化,是一个稳定的星球。我们可以推断:太阳核心产生的能量必定全部通过表面逸出,收支平衡。否则,如果太阳内部积累了能量,温度必定升高,太阳就不会稳定。能量如何从产能核心转移到表面呢?我们知道,热的传播方式有三种:传导、对流和辐射。我们日常生活中用的保温瓶就是不让三种传热方式起作用而设计的。在太阳内部的条件下,传导不起作用,对流出现在产能核心以及光球下面的一个区域内,后者表现为光球中的米粒。在对流区内,对流是热量转移的主要方式。在光球下面的对流区和产能核心之间的广大地区,热量靠辐射输送。图 5-22 表示了太阳的内部结构。



图 5-22 太阳内部结构的示意图

在四个氢核聚变成一个氦核的过程中,有一种名叫“中微子”的基本粒子产生出来。中微子不带电荷,质量小到可以当作零,它同其他粒子的相互作用非常微弱,因而具有奇特的贯穿本领。中微子可以毫不费事地穿透太阳、地球,如入无人之境。它是唯一能从太阳里面出来,报导太阳内部消息的“记

者”。因此，中微子颇受大家欢迎。近一二十年来，科学工作者想方设法“捕捉”来自太阳的中微子。把氯的同位素 $\text{Cl}^{37}$ （右上角的数字表示组成原子核的质子和中子的总数）当作“靶子”，它受到中微子的轰击后，变成氩的放射性同位素 $\text{Ar}^{37}$ ，并释放出一个电子，用适当的方法分离出 $\text{Ar}^{37}$ ，就可以算出每秒钟俘获的太阳中微子的数目。探测是在一千多米深的金矿内做的，这样，其他粒子被地壳挡住，只有中微子能穿入。初步的结果表明，探测到的太阳中微子只有理论预言的六分之一。探测结果同理论的矛盾引起了震动。究竟是探测技术的缺陷还是星球结构理论的毛病？目前不能确定。毛主席教导我们：“然而一般地说来，不论在变革自然或变革社会的实践中，人们原定的思想、理论、计划、方案，毫无改变地实现出来的事，是很少的。这是因为从事变革现实的人们，常常受着许多的限制，不但常常受着科学条件和技术条件的限制，而且也受着客观过程的发展及其表现程度的限制（客观过程的方面及本质尚未充分暴露）。在这种情形之下，由于实践中发现前未料的情况，因而部分地改变思想、理论、计划、方案的事是常有的，全部地改变的事也是有的。”科学上出现的矛盾，往往是认识飞跃的起点。对于中微子的探索，必然会使人类对于太阳的认识进入一个崭新的高度。

## 五、人和太阳

对人类来说，宇宙中无数星球没有一个能比得上太阳的重要。没有太阳，便没有人类居住的地球，正如有人比方的“太阳是大地的母亲”。地球围绕太阳永恒地运动，时刻接收来自太阳的热量，才使地面上活跃：疾风劲吹，江水奔流，花

开果熟，生物生生不息。如果没有阳光，地球便沉沦于永恒的黑暗之中，温度将降到摄氏零下二百七十度，变成一个冷寂的毫无生气的世界，人类便无法生存。

人类在生产 and 生活中耗费的大量能量，除原子能等少数几种能源外，追根寻源都来自太阳。原始时代的森林，微生物和动物的遗骸，经历了漫长的地质变迁，被埋在地下，形成了煤和石油。而植物和动物的生长是离不开太阳的。所以煤和石油其实就是几万几百万年前贮藏在地下的太阳能。阳光晒热了海洋和陆地，水汽上升，成云致雨，回落大地，流进江河湖海，才谈得上利用水力来发电。太阳的光和热与人类的关系是显而易见的。

前面，我们花了较多的笔墨，写出了太阳上面那生动活泼的变化场面。太阳永远处在变动之中，而它的每一变动，又深刻地影响人类居住的地球。

我们经常收听无线电广播。同光线一样，无线电波也是直线前进的，而地球是球形的，可是我们照样能收听到远方电台的广播，这是怎么回事呢？我们得感谢太阳。色球层和日冕发出的紫外光和X射线，使离地面一百多公里高的大气层中氮和氧的分子和原子大部分电离了，形成了电离层。电离层能反射短波。广播电台发射的短波，经过电离层和地面的多次反射传到了遥远的地区。在太阳宁静的日子里，色球层和日冕发出的紫外光和X射线是稳定的，电离层就象平静如镜的水面，对无线电波起着反射镜的作用。一旦耀斑出现，紫外光和X射线突然增强，引起电离层扰动，就象水面上起了波涛，短波广播和通讯普遍衰退，甚至全部中断。短波通讯受到干扰，对军事、通讯等部门是严重的事件，需要及早预报，以便改用其他的通讯手段。

耀斑抛出的带电粒子主要是质子和电子。运动的带电粒子会产生磁场。它们到达地球时，扰乱了地球的磁场，引起磁针剧烈颤动，甚至连鸽子飞行也失去了辨别方向的能力，就好象地球磁场突然卷起了“风暴”。这种现象称为“磁暴”。它会影响磁性探矿工作。

磁暴和电离层暴与太阳活动有密切关系。从统计可以看出，当太阳上出现较大的耀斑，并伴有大的米波射电爆发时，出现磁暴、电离层暴的可能性较大。1970年11月5日上午11点过几分钟，太阳上出现大耀斑，发出大量紫外线、X射线和带电粒子流，并伴有大的米波、分米波和厘米波射电爆发。八、九分钟后电离层受干扰，短波通讯立即中断。

电离层扰动和耀斑出现几乎是同时发生的，但磁暴要推迟一两天才来临，这是因为耀斑抛射的粒子不是以光速，而是以每秒一二千公里的速度奔驰着。

太阳活动还为高纬度地区的人们展示一幅少见的奇景——极光。来自太阳的带电粒子到达地球附近，地球磁场迫使它们之中的一部分沿着磁力线集中到地球的南北磁极。当它们闯入极地的高层大气，同大气中的分子和原子碰撞，从而使大气中的分子和原子激发，产生出光辉，引起了极光(图5-23)。极光现象，壮丽动人。它出现时，天空中犹如出现了一张五光十色的银幕，有时又好似一顶五彩缤纷的彩伞。我国只有黑龙江北部在强磁暴时，能见到极光。1957年3月2日黑龙江北部漠河地区的人民曾见过极光，历时达45分钟之久。

我们要指出，耀斑在日面上是常见的现象，但对地球有强烈影响的为数不多。这种耀斑出现在磁场结构复杂的大黑子群范围内。上一次太阳活动极盛在1968年，下一次预计在





图 5-23 极 光

1979~1980 年。

太阳活动对地面天气气候有多大影响，这是大家关心的一个问题。虽然两者的关系密切到何种程度还不十分清楚，但从各种现象的关联可以断言，太阳活动对地面气象常发生突然影响。

近年来研究表明，在太阳活动的十一年周期中，地面气候变化存在着两个 5~6 年的周期。譬如，欧洲的雨量曲线，在十一年中就出现两次高峰和两次低谷。又有人发现太阳黑子群的平均寿命与大气环流的关系很密切。太阳活动极大时期，冬季北大西洋中纬度地区的锋面活动特别频繁，天气多变，同时副热带和冰洋边缘的气旋减少，天气变化相对比较平静；而太阳活动极小期间，则相反，并表现有明显的十一年



周期。这些事实都表明太阳活动和气象变化密切有关。这是因为太阳活动，出现耀斑，发射出大量的紫外线和带电粒子，一旦闯入地球高层大气时，使局部大气温度增加，从而改变高层气压场、气流场的形势。这就会影响到低层大气的水热输送状况，导致近地面层天气、气候的变化。例如，1957年1月21日太阳出现耀斑爆发，几分钟到几天后大量的紫外线和带电粒子到达地球，这时加拿大及冰岛上空气温突然增高到 $40^{\circ}\text{C}$ ；同时，美国西北部气压迅速降低，随后这个低压东移，三四天后就出现狂风巨浪，天气突变。

地震工作者从地震资料的统计中也发现了十一年左右的周期性。这个现象使地震工作者对太阳活动研究的兴趣大增。以后又发现地震的周期中还有一些同太阳活动的其他周期相合；又发现太阳黑子数增多或射电辐射增强时地震也增多，以及太阳活动区转到朝向地球时地震增多的现象。太阳活动为何会导致地震呢？其中的奥秘还在探索。有人认为可能是地壳中某些地区电阻率十分低，因而很容易吸收电磁波；当太阳活动时电磁辐射剧烈增强，这个地区吸收了大量电磁波后，电磁波的能量转化为热能，热胀冷缩，于是地壳膨胀，对邻近地区产生了压力，就会对地震起推动作用；同时岩石温度增高后也就容易形变，形成地震。还有人认为太阳活动发出的大量电磁辐射和带电微粒流到达地球后，地磁场受到剧烈扰动，产生磁暴，磁暴也会在地壳中产生力的作用，这种力可能影响地震。

太阳活动与生物生长、人类健康也有关系。对树木年轮研究表明，树木生长也随太阳的十一年周期而变化。太阳黑子较多的年份，树木生长较快，年轮之间的间隔宽；而在黑子较少的年份，树木生长较慢，年轮之间的间隔较窄。有人曾经

研究过细菌对太阳活动的反应。把数百种细菌在各种培养基、温度、培养方法等条件下进行研究，发现有的细菌对太阳活动反应十分敏感：当太阳活动剧烈时，它们十分活跃。还有人认为太阳活动所引起的地磁扰动对兔和狗的心脏、神经系统有一定影响。更有人认为太阳活动与人体某些疾病有关。血管梗塞和心肌炎与太阳活动所引起的地磁扰动有关。在地磁扰动时期，发病率比地磁宁静时期高，死亡率也高得多。

还要提出的是，利用人造卫星、宇宙飞船进行空间探测时，必须考虑太阳活动时所发射出的高能粒子的危害。这些粒子的贯穿能力极强，这样不仅对宇宙飞船及上面的仪器有很大的破坏力，而且危及宇宙飞行员的生命安全。因此，天文工作者现在要预报太阳的“气象”，并将其结果通知有关部门。

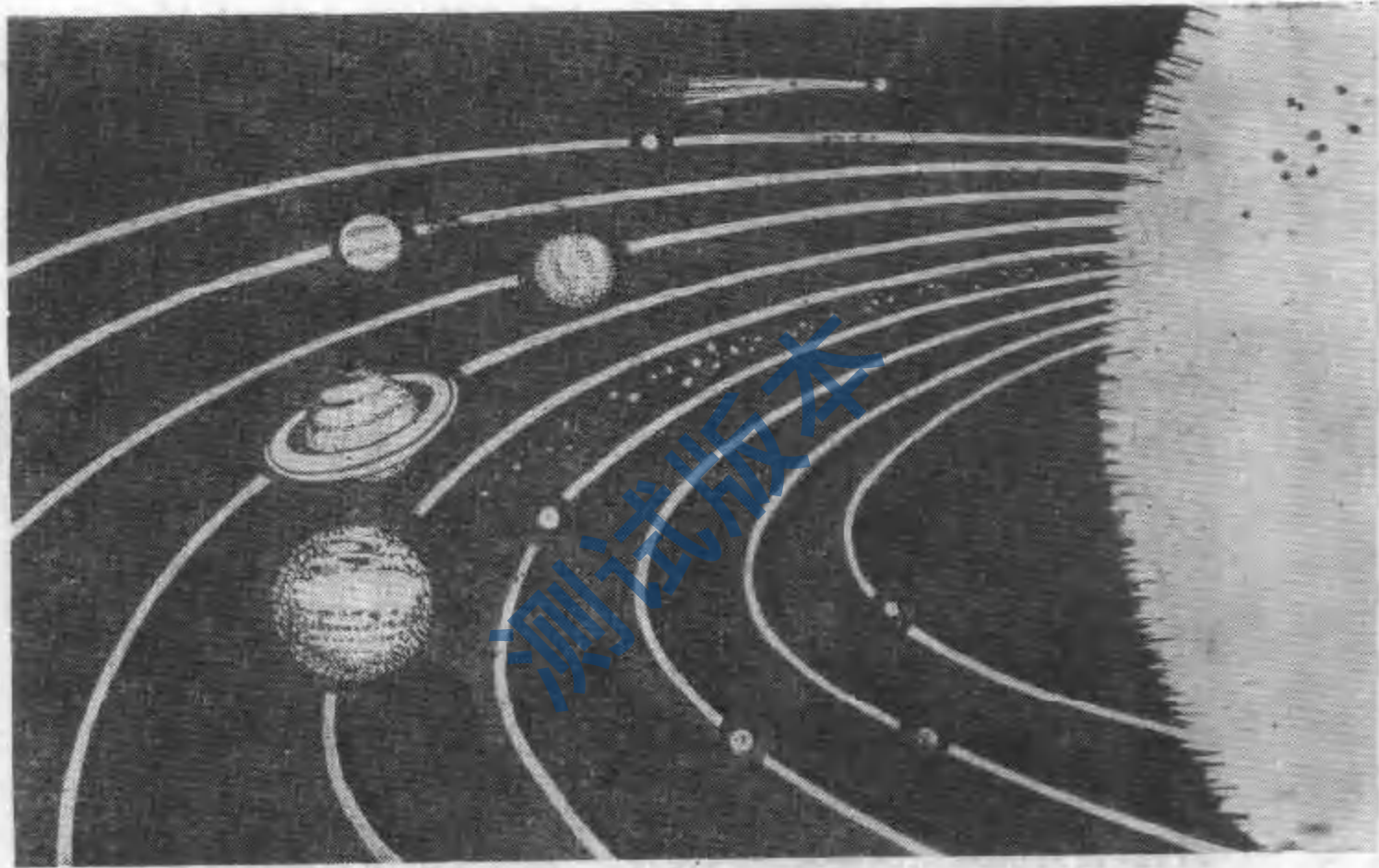
太阳的光辉照亮了天文学发展的道路，天文学的发端，正是古代人对太阳的研究，以后逐步积累资料，并将注意力引向宇宙深处，才建立了近代天文学。太阳是一颗平凡的恒星，它寓居于无数恒星之中；不过，它离我们最近，因而可以对它进行详细的研究。这样，我们不难懂得，了解太阳与洞察更遥远的恒星世界之间的关系何等密切。我们可以把恒星世界的现象同太阳上的现象进行比较，从太阳的光辉中寻找启示，去了解它们。有人把太阳比作一个巨大的物理实验室，这是相当确切的。

研究天，实是为了地。氦这个元素，根据它的辐射特征，人们先在太阳日珥中查出，然后才在地面上找到；热核反应，先是从太阳物理中得到启示，然后才在地面上重现。今天，太阳又把一些新颖而激动人心的问题摆在人们面前。它们的解决，必将有力地推动人类的科学和生产活动向前迈进。



测试版本

## 第六章 太阳的家族



太阳系是由太阳和围绕它运行的行星、卫星、彗星、流星体、行星际物质等组成的。太阳是太阳系的中心，它的质量占太阳系总质量的99.86%。行星、卫星、彗星、流星体等天体都围绕太阳运行。行星际物质是存在于行星际空间的稀薄气体和尘埃。太阳系的大小范围从太阳到冥王星，直径约为39天文单位。

## 一、在太阳的主宰下

太阳——这团光辉耀眼的火球，以它强大的引力，在它周围建立了一个庞大的家庭。在这个大家庭里，除了我们的地球外，还有八个不同大小、各有特色的行星；有数以万计的小行星；有给人印象深刻的彗星；还有无数的流星体和尘埃物质。所有这些大家庭的成员，无一例外，都以太阳为中心，奔腾绕转，万古不息。太阳，是这个大家庭的一家之主。它给这个大家族中每个成员规定了它们各自的地位，绕转的轨道，行走的速度。如果有些成员受了额外的影响，它就毫不迟疑地把这些成员管束得更紧一点，拉到自己身边来，或者赶走一点，甚至把它们从这个大家庭中驱逐出去。在几十万万年的时间内，这团灿烂夺目的火球从不间断地把光和热送到四面八方，倾泻在每个成员的身上，给它们光明，给它们能量，使它们能够活动，生气勃勃。太阳——一个当之无愧的大家庭的主人，既威严，又温暖。

万有引力定律告诉我们，任何两个物体之间的引力和它们的质量的乘积成正比，和它们之间距离的平方成反比。地球的质量是  $6 \times 10^{21}$  吨，它的引力拉住了远在 38 万公里外的月亮，使月亮只能围绕着地球旋转。当然，它的引力还拉住了居住在它上面的几十亿人口和几百公里厚的大气，使得人们在地球上活动的时候，不论他跑得多快，跳得多高，还是要落在地球上。太阳的质量是地球的 33 万倍，在这样巨大质量的引力下，地球带着它的伙伴以及栖息在它上面的各种各样的生物，不停地绕着太阳旋转。

本章题头图：行星围绕太阳运转不息。



地球能不能在它的轨道上不运动呢？不行的。恩格斯指出：“运动是物质的存在方式”。只要它一不运动，立刻就要向太阳坠落，化为乌有，而且“坠落”到太阳上只需要 65 天！

可见，地球之所以成为地球，必须要有一个和太阳的引力相反的斥力存在，这就是地球在轨道上以一定的速度运动产生的惯性离心力。两种力平衡的时候，地球才能存在。不然的话，要么就坠落到太阳上，要么就永远离开太阳。这种吸引和排斥的相互作用，正是宇宙中一切运动得以存在的前提。在第三章中，我们已经给出这个速度达到每秒 29.8 公里。

在表 6-1 中，我们列出了太阳给九个大行星规定的位置，绕转的周期，绕转的速度以及它们的轨道平面和黄道的交角。根据这些数值，我们按比例画出了它们实际的配置情况，见图 6-1。

表 6-1

行星	到太阳的距离		公转周期	公转速度 (公里/秒)	轨道交角 (度)
	天文单位	单位：公里			
水星	0.39	$0.58 \times 10^8$	88 天	47.9	7.0
金星	0.72	$1.08 \times 10^8$	225 天	35.0	3.4
地球	1.00	$1.50 \times 10^8$	365 天	29.8	0.0
火星	1.52	$2.28 \times 10^8$	1.88 年	24.1	1.9
木星	5.20	$7.78 \times 10^8$	11.9 年	13.1	1.3
土星	9.54	$14.3 \times 10^8$	29.5 年	9.6	2.5
天王星	19.2	$28.7 \times 10^8$	84 年	6.8	0.8
海王星	30.1	$45.0 \times 10^8$	165 年	5.4	1.8
冥王星	39.5	$59.0 \times 10^8$	248 年	4.7	17.1



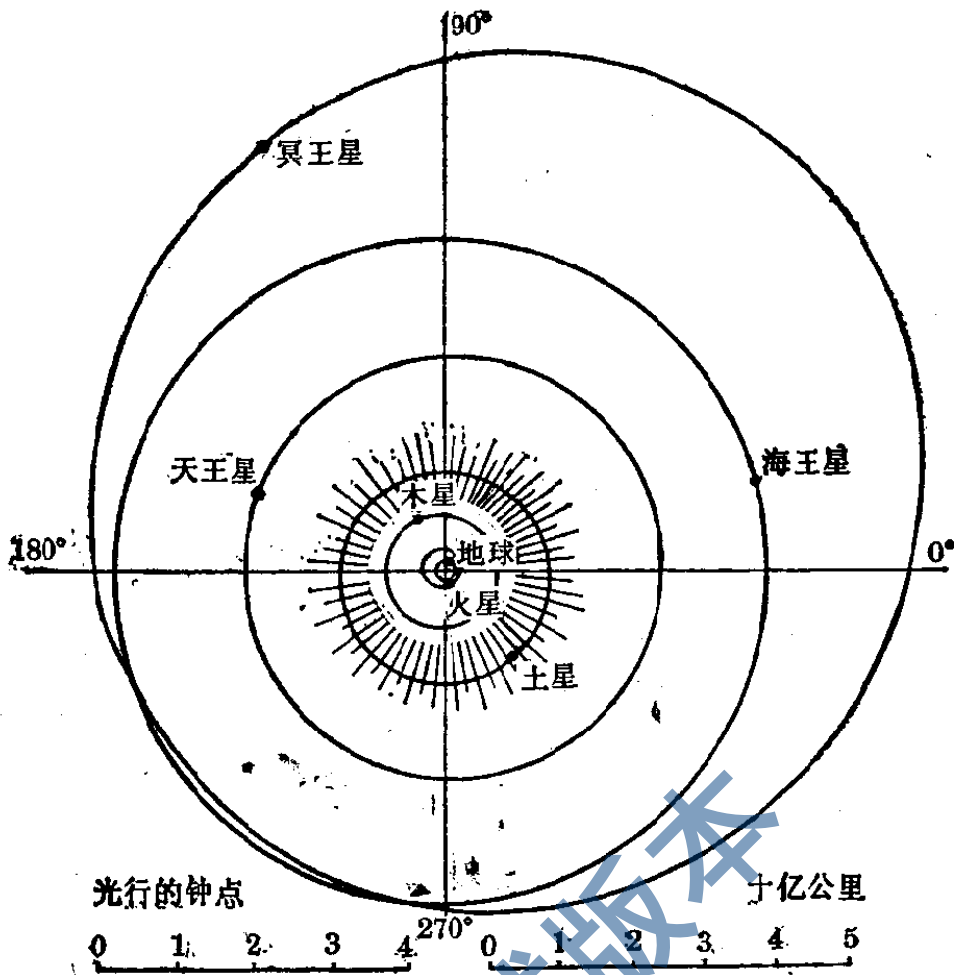


图 6-1 太阳系九大行星轨道

上面，我们几次提到行星以及其他成员的运动情况被“规定”。这并不是说太阳被神化了，更不意味着后面存在一个全智全能的上帝。今天的太阳系，是历史的太阳系演变、发展来的。在太阳系从原始星云中逐渐生成的早期阶段，各个行星之间的距离完全不象现在这样的。这些不同大小、不同质量的(早期)行星，虽然主要是在太阳的引力控制下，沿着早期的轨道运动，但是，它们之间的相互吸引，附加在太阳的引力上，使得行星在早期的轨道上不能稳定，逐渐地改变了它们的位置。这种轨道不稳定的过程，在太阳系演化的一个阶段里，必然会逐渐地向“稳定”变化。我们说的“稳定”，并不是说轨道一成不变了，而是说沿着这些轨道运动行星虽然还

在互相吸引，但是已经不能严重影响彼此的运动了，轨道的变化很慢。这就好象一条河道的形成一样：早期，湍急的水流顺着低洼的地方奔腾咆哮，千回百转，它冲刷着突出的土堆、石块，又在另外的地方淤积起来。天长日久，几经改道，才最后形成了一条比较平稳的河道，一泻千里。这时候，河岸仍被冲刷，河床还有淤积，但是河道的变化是很慢很慢的了。我们今天观测到各个行星的运动表明，它们的轨道变化很慢，也就是说行星运动的轨道稳定了。

在分析了长期的天文观测资料以后，我们可以把这个“规定”写成三个定律的形式，称为刻卜勒行星运动三定律：

第一、行星围绕太阳运行的轨道是椭圆，太阳在这椭圆的一个焦点上。

第二、连接太阳和行星的向径，在相同的时间间隔内扫过相等的面积。

第三、行星绕太阳运行的周期的平方同它们轨道半长轴的立方成正比。

图 6-2 是一个行星椭圆轨道的示意图。太阳在椭圆的一个焦点上。行星在轨道上运动的时候，同太阳的距离不是恒

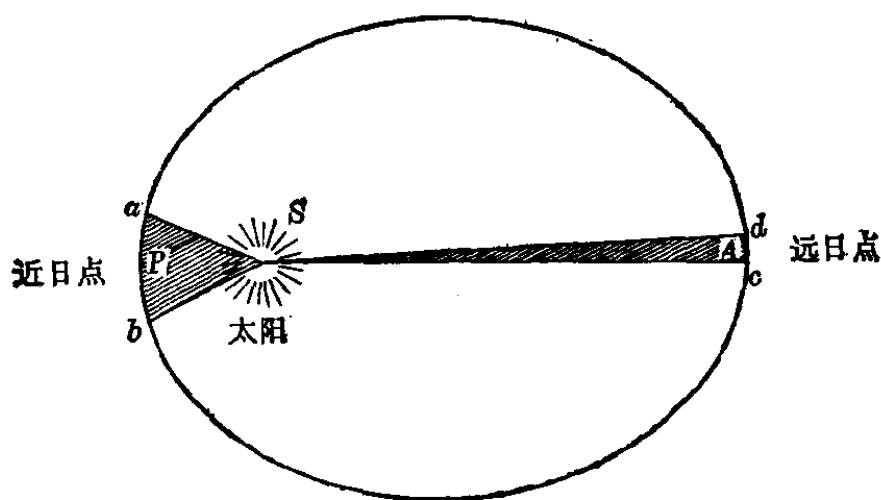


图 6-2 行星运动定律示意图

定的。在  $P$  点, 离太阳最近, 称为近日点。在  $A$  点, 离太阳最远, 称为远日点。因为引力同距离的平方成反比, 所以, 在近日点, 太阳的引力最强。为了和这引力平衡, 行星在轨道上运动的速度也就最快。远日点的引力最弱, 行星运动的速度最慢。象地球, 在近日点时, 离太阳  $1471 \times 10^5$  公里, 速度是每秒 30.27 公里, 远日点的距离为  $1521 \times 10^5$  公里, 速度是每秒 29.28 公里。这样, 在相等的时间间隔内, 行星在近日点附近走的弧线  $ab$ , 比远日点附近走的弧线  $cd$  长, 而面积  $S_{ab}$  和  $S_{cd}$  必定相等。这就是刻卜勒第二定律的内容。

表 6-1 中的另一个明显的事实是: 行星离太阳愈远, 公转的周期愈长。如木星, 到太阳的距离比地球远了 5 倍多, 而公转周期是地球的 12 倍。第三定律把各个行星的公转周期和它们的轨道半长轴联系起来。如果任何一个行星, 它的轨道半长轴为  $a_1$ , 公转周期为  $P_1$ ; 第二个行星的轨道半长轴为  $a_2$ , 它的公转周期  $P_2$ , 它们必定满足下面的关系:

$$\frac{P_2^2}{P_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

例如, 地球的轨道半长轴  $a_1$  取作单位, 等于 1 (即一个天文单位), 公转周期  $P_1 = 1$  年。天王星的轨道长轴  $a_2 = 19.2$

$$\frac{P_2^2}{1^2} = \frac{(19.2)^3}{1^3}$$

可以求出  $P_2$  近似 84 年。我们也容易理解, 既然行星运动定律描述的是两个物体在引力的作用下被“规定”的运动规律, 所以, 象卫星绕行星的运动, 或者任何物体在别的物体的引力作用下的绕转运动 (例如一颗恒星绕另一颗恒星的运动), 也都遵循同样的规律。这种普遍情况下的第三定律的表达式, 可以从万有引力定律推导出来;

$$\frac{P_2^2(M_2+m_2)}{P_1^2(M_1+m_1)} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

即已知一个质量为  $m_1$  的天体，绕质量为  $M_1$  的天体旋转，它的轨道半长轴为  $a_1$ ，公转周期为  $P_1$ ；另一个质量为  $m_2$  的天体，绕质量为  $M_2$  的天体旋转，它的轨道半长轴为  $a_2$ ，那么，它的公转周期  $P_2$  必定满足上述关系。

事实上，如果质量为  $m_1$ 、 $m_2$  的天体就是太阳系中的行星，则  $M_1 = M_2 = M$ ，是太阳的质量。地球的质量只有太阳的 0.000003，可见，行星的质量比太阳小了很多， $M + m_1$ （或  $M + m_2$ ）同  $M$  相差极小。公式左端分子、分母上的质量便可以消去，结果又回到了上面从观测资料的分析中推出来的表达式：

$$\frac{P_2^2}{P_1^2} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

在实用上，并不是用第三定律来推一个天体绕另外一个天体的公转周期的。公转周期，以及轨道半长轴都是可以从观测得到的。这个定律的最重要的用途，是可以相当精确地定出一个天体的质量。这也是目前求一个天体质量的最基本的方法。举一个例子，火星有两个卫星，一个叫福波斯，一个叫德莫斯。福波斯离火星 9000 公里，绕火星一周 7 小时 39 分（0.32 天）。德莫斯离火星 23000 公里，公转周期 30 小时 18 分（1.26 天）。在第三定律中，把火星绕太阳运动和福波斯绕火星的旋转相比，即

$$\frac{P_{火-太}^2(M_{太}+m_{火})}{P_{福-火}^2(M_{火}+m_{福})} = \frac{a_{火-太}^3}{a_{福-火}^3}$$

式中  $P_{火-太} = 779.94$  天， $M_{太} = 3 \times 10^5 M_{地}$ ， $a_{火-太} = 1.52$  天文单位  $= 2.23 \times 10^8$  公里， $P_{福-火} = 0.32$  天， $a_{福-火} = 9000$  公里， $M_{火} + m_{福} \approx M_{火}$ （福波斯是一个形如长椭球的小卫星，见图



图 6-3 火卫一——福波斯(如果你原来以为行星的卫星总是球形的,那么,看了这张照片以后,就可以有一个更加全面的看法——宇宙中事物的形态是多种多样、千变万化的!)

6-3)。其长轴仅 26 公里,和直径 6788 公里的火星相比,假设它们的密度相同,那么福波斯的质量不及火星质量的

$$\left(\frac{26}{6788}\right)^3 = 0.000000055$$

所以,  $M_{\text{火}} + m_{\text{福}} = 1.000000055M_{\text{火}} \approx M_{\text{火}}$

注意,福波斯是太小了,而德莫斯还要小,长轴仅 14 公里,以致于它们自身的重力都不足以使它本身的形状成为一个球形。同样,  $M_{\text{太}} + m_{\text{火}} \approx M_{\text{太}}$ , 最后求出火星的质量为:

$$M_{\text{火}} = M_{\text{太}} \cdot \frac{P_{\text{火-太}}^2}{P_{\text{福-火}}^2} \cdot \frac{a_{\text{福-火}}^3}{a_{\text{火-太}}^3} = 0.11M_{\text{地}}$$

其他有卫星的行星,如木星(有 13 颗卫星),土星(有 10 颗卫星),天王星(有 5 颗卫星),海王星(有 2 颗卫星),都可以用类似的方法求得它们的质量。

象水星、金星这些没有卫星的行星，只能利用它们对其他行星或者其他太阳系的成员的引力作用来推算。这种方法比较复杂，精度也要低一些。这里我们就不介绍了。

在表 6-2 里，我们列出了九大行星的大小、质量、密度的数值。为了比较起见，把太阳、月亮也放了进去。

表 6-2

	半 径		质 量 (以地球质量 为 单 位)	密 度 (以水的密度 为 单 位)
	以地球半径 为 单 位	公 里		
太 阳	109	$6.96 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	1.4
水 星	0.38	2425	0.055	5.4
金 星	0.95	6070	0.82	5.2
地 球	1	6378	$1 (6.0 \times 10^{27} \text{克})$	5.5
火 星	0.53	3395	0.11	4.0
木 星	11.2	71300	318	1.3
土 星	9.4	60100	95	0.7
天 王 星	3.8	24500	14.5	1.6
海 王 星	3.9	25100	17	2.3
冥 王 星	0.50(?)	3200(?)	0.17(?)	?
月 亮	0.272	1738	0.012	3.34

冥王星的数值后面都打了个问号，表示这些值很不确定。在上一个表里给了冥王星的平均距离是 39.5 天文单位，这意味着在那里看见的太阳的视直径，比地球上看到的小了 39.5 倍。我们还记得，在地球上看到的太阳，是一个视直径大约为 32' 的圆面。由此，不难算出在冥王星上看到的太阳，只有不到 49" 的“圆面”。人眼一般只能分辨角度大于 1' 的细节，所以，一个在冥王星上的人(如果有人的话!?)，用肉眼是看不出太阳“圆面”的。他所看到的太阳跟一颗亮星一样，它的亮度比地球上看的满月还要亮 250 倍以上。这样一颗超级亮星肯



定会把冥王星上的“人”照出一个影子。至于冥王星上的“人”会不会象地球上一样,看到一个明亮的白昼(只有太阳在天空照耀),以及这个“白昼”有多长,那还是一个大问号。

昼夜的长短,即太阳在地平线上呆多久,落到地平线下后又隔多久才升起来,一般人都把它说成是行星自转一周的时间。其实这是不对的。象水星,自转一周相当于地球上58.7天,它上面一个昼夜长达176天,太阳连续照射88天,又有88天的黑夜。金星的自转周期是243天,它的一个昼夜却有117天(金星的自转是顺时针的,和公转方向相反)。地球的自转周期是23小时56分,而一个昼夜是24小时,长了4分钟。昼夜的长度不等于自转周期,这是因为地球或者水星、金星在自转的同时还绕太阳公转的结果。

由此可见,要确切地回答冥王星上的“白昼”情况,就要知道冥王星的自转周期以及它上面有没有大气(地球若没有大气,即使太阳在当头照耀,天空还是乌黑的)。但是,冥王星离开太阳太远了,它比地球远了39.5倍,比水星远了100倍。

所以冥王星上单位面积接受的光量只有地球上的  $\frac{1}{(39.5)^2} \sim \frac{1}{1600}$  左右,水星的  $\frac{1}{10000}$ 。这样暗弱的天体,目前只有用世界上最大的望远镜才能看出它的圆面。至于这个圆面的直径究竟有多大?它上面有没有大气?自转周期是多少?有没有卫星?质量多大?都还需要进一步研究。

现在,让我们再回过头来看看表6-2给出的数据和图6-4。很明显,这些大行星分成了两个不同的类型,一类同地球很相似,它们的半径和地球同一个数量级,几千公里。密度都很大,每立方厘米有4.0~5.5克。这一类称为类地行星,包括离太阳最近的四个行星:水星、金星、地球、火星。冥王

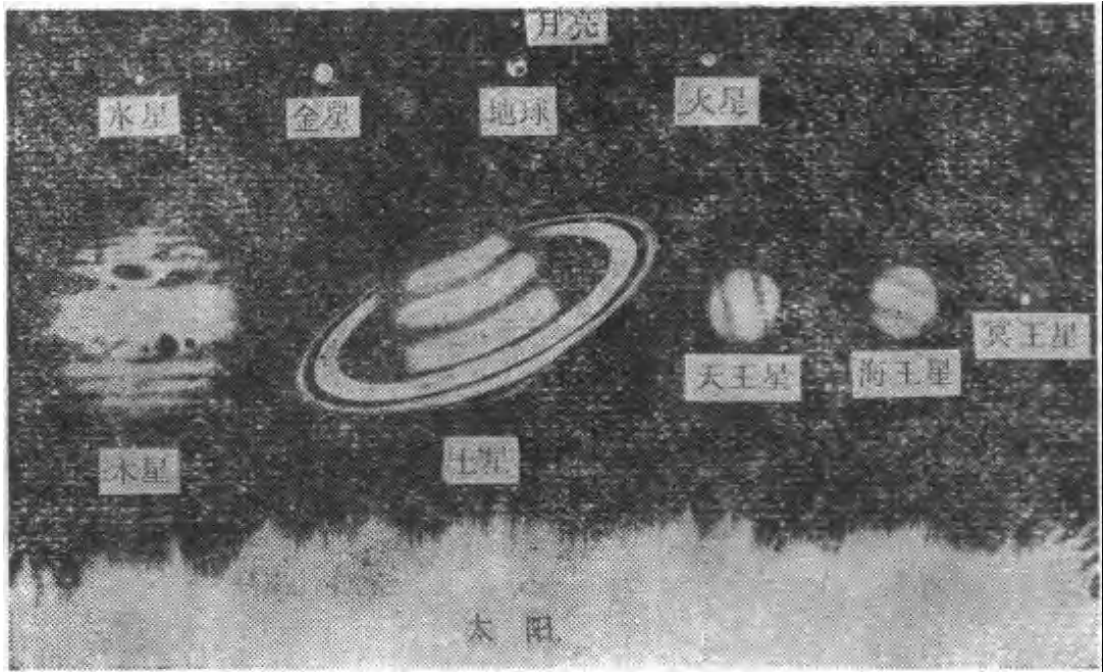


图 6-4 按同一标度画出的太阳系九大行星。  
图中也画了月亮和太阳的一部分

星可能也属于这一类。另一类称为类木行星，包括离太阳较远的四颗大行星：木星、土星、天王星、海王星。它们的半径和木星同数量级，几万公里。密度和太阳相差不多。其中，土星的密度只有每立方厘米 0.7 克，比水还小。如果把它放在一个“大海洋”里，就会象皮球一样，随波逐流。

太阳系的九大行星分为类地行星和类木行星两大类，是一个很重要的特征。类地行星小而密，有一个固体的表面，岩石、金属等重元素居多。类木行星没有固体的表面，氢、氦、碳、氮等轻元素是这类行星的主要成分。除这个重要的物理特征，还有它们轨道运动中的一些特性，譬如：行星绕太阳公转的轨道面几乎都在一个平面上；公转的方向和太阳自转的方向一致；水星、地球、火星、木星、土星、海王星的自转方向也和太阳相同。这些主要的特征，显然都是太阳系从原始星云逐渐形成以来演变、发展的结果，因而也是一个完整的太阳

系起源和演化假说必须说明的。我们将在第十章里专门介绍这方面的一些主要流派。

## 二、两大体系的斗争

太阳在家族中傲然坐镇，众行星围绕它终日运转。这个系统叫“日心体系”。可是，在历史上，不论在西方，还是在中国，地球是宇宙的中心，人是天之骄子，这种思想，这个体系（地心体系），在一个相当长的时期内，占了统治地位。我们现在还要提起它，不只是因为这两个体系的斗争在人类社会发展的历史中的重要地位；也不只是因为我们从日心体系的建立到最后完成这一曲折的过程中，可以得到很多有益的启示；而且还因为这两个体系所代表的两大阵营——唯物的和唯心的——的斗争，正在更大的深度和广度上继续着。就连地球绕太阳旋转这样一个问题，还有一些“学者”，扛起了现代风靡一时的相对论的大旗，在真理的相对性和绝对性的问题上大搞诡辩的手法，胡说什么：运动都是相对的，你说地球绕太阳旋转，相对地球而言，还不是太阳绕地球旋转！？可见，社会发展到今天，资产阶级唯心的形而上学的宇宙观，正以更加隐蔽的方式，在“科学”的外衣下，渗透在各个学术领域里。

究竟是地球绕太阳旋转，还是太阳绕地球旋转，很早就有两种对立的看法。在公元前，一个希腊人，名叫阿里斯塔克，从当时推测出太阳比地球大这样一个事实出发，在人类历史上第一个提出了地球绕太阳运动的观念。可是，这个观念触犯了天是神灵居住的世界这样一些信条，他被控告为亵渎神灵，受到了宗教的迫害。同时代，有另外一个希腊人，叫亚里士多德，提出了地球不能运动，只能位于宇宙的中心这样一个

武断的看法。这个先验的论据，到了希腊的奴隶制城邦日趋衰落的时候，出于统治阶级利益的需要，已经被认为是天经地义的了。由于当时在哲学上唯心论占了优势，认为宇宙只是“数及其关系的和谐的体系”，处在这样的社会背景下，公元二世纪，亚历山大城的天文学家托勒密，囊括了以往天文学上一切唯心的理论，塞进他的著作《伟大论》，创立了以“地球中心说”为基础的天文学理论体系；而地球绕太阳运动这一闪烁唯物思想光辉的理论反被扑灭。

按照托勒密的体系，地球位于宇宙的中心，行星、太阳、恒星都绕地球运行(图 6-5)。在人们的眼里，恒星、太阳每天东升西落，这种运动用它们绕地球旋转是不难解释的。但是，

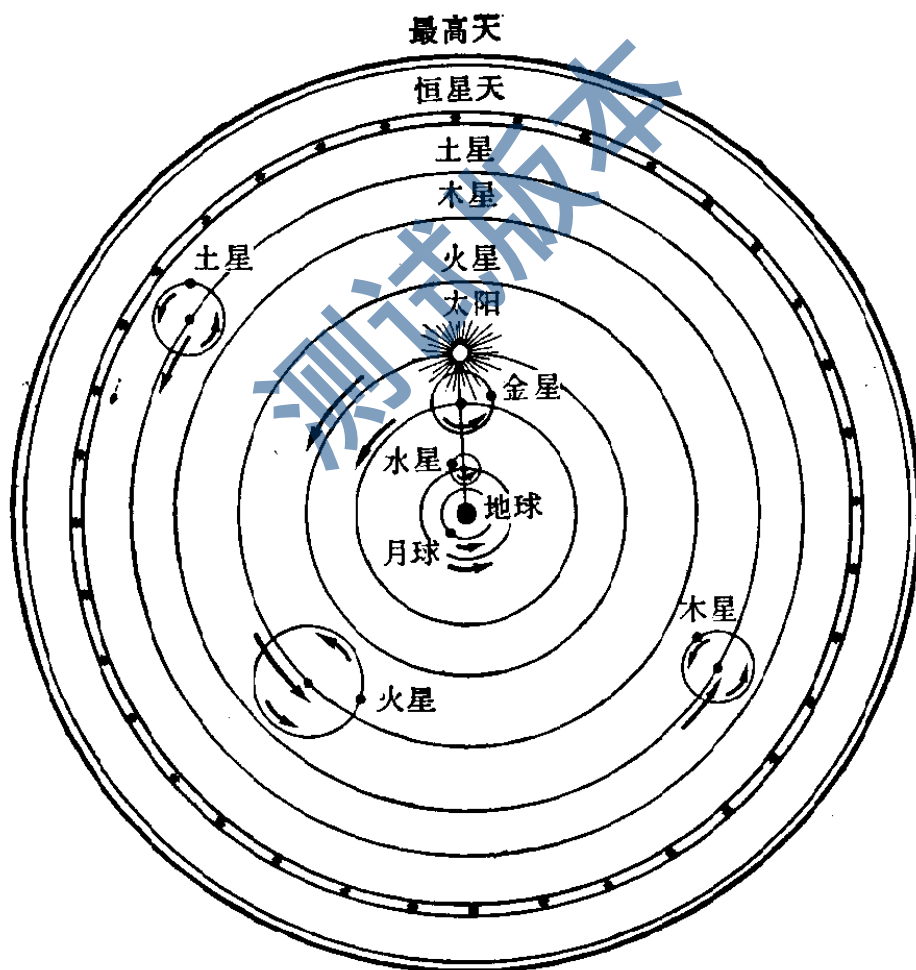


图 6-5 托勒密地心体系

行星的运动是那么奇特,它们就象一个“流浪者”一样,总是在恒星中间穿行,有时候向东移动;有时候会停留一会,回过头去向西退行;接着又停了下来,继续向东运动。象金星,却总是在太阳两边摆动,或者在黄昏的薄暮中映照在西方,或者在黎明的曙光前出现在东方。在我国,这颗美丽的行星,有着好多名称。傍晚在西边看到的时候,叫它太白星,或者长庚星;黎明前在东边看到的时候,叫它启明星。如果每天把它们相对于恒星的位置画下来,可以看到它们在恒星中间画着圈,绕着弯,呈现着一种环圈式的运动,见图 6-6。如果你很仔细的话,还可以发现,它们的亮度也在变化着。古代人把它们叫作“流浪者”,或者“行星”,是十分自然的。

托勒密在承袭亚里士多德的“地球中心说”的宇宙观念的

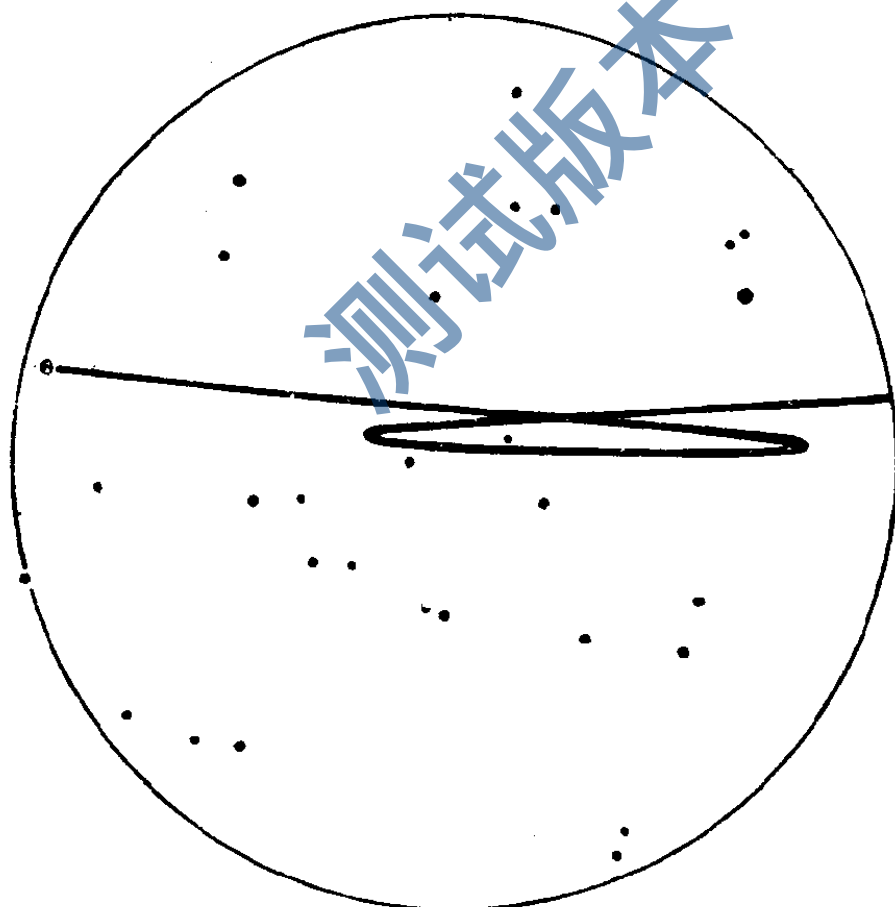


图 6-6 行星视运动



同时，又鼓吹“只有球形最适合于天体畅行无阻的运动”。为了解决复杂的行星运动，他让行星在一个小圆(本轮)上运动，本轮的中心又沿着一个大圆(均轮)绕地球运动(图 6-7)。这两种运动合起来，可以得到象图 6-6 一样的视轨道。

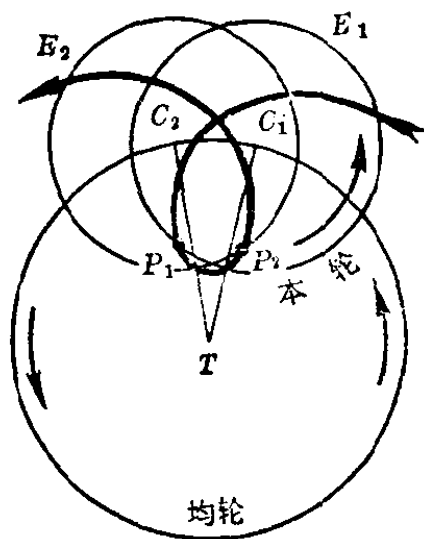


图 6-7 按照托勒密的地心体系解释行星的环圈运动

托勒密的地心体系，既和基督教的人类中心论一致，又不违反天上事物不同于地上事物的信条，就必然为中世纪的封建宗教和僧侣利用，成为他们用来毒害人们的思想，维护神权统治的工具。他们宣称：上帝创造了世界，并选地球为宇宙

中心；这个地球中心说的观念与宗教教义同样神圣，谁要是怀疑它，谁就是大逆不道，亵渎神灵，应作异教徒来论处。

这个时期在欧洲的天文学，虽然在改革历法上做了一些工作，但是，和其他各门科学一样，它只是教会的恭顺的婢女。这些改革历法的工作只是因为历法的不精确，使得确定教会的节日有了困难，才得以进行。中世纪的欧洲，科学只在僧侣的寺院里传授，所谓研究，也不过是用“科学”来证实宗教的教义，一切按照神学中通行的原则来处理。

公元十世纪以后的欧洲，由于东方文明的传入，使用了较为精确的测角器观测行星的位置，得到的结果总是和按托勒密体系编制的星表不符。实践在批判错误的理论，但唯心论者却顽固地用错误的理论来歪曲客观世界。为了使不符合实际的理论和观测的结果一致，一些天文学家们就用尽脑筋在托勒密的体系中增加本轮。他们让行星在第一个本轮上运



动,第一个本轮的中心又在第二个本轮上运动,第二个本轮的中心才在均轮上绕地球运动。如此再三,直到最后,本轮套本轮,增加到八十几个,还是无法使理论和观测一致。以致一个精通天文的西班牙卡提斯国王阿尔丰斯十世也抱怨起来:“如果上帝在创造世界的时候要找人来提意见的话,我可以劝他采取更简单而不用这样复杂的方式。”托勒密地心体系漏洞百出,神学世界观的陈腐的本质已经暴露无遗。这样一个体系之所以不可一世,能维持到十六世纪,那只是因为这时候地心体系已经成为一门宗教的科学,成为宗教神权残酷统治的一部分。象上面提到的那个国王,就因为讲了那句话,就丢掉了王位。既然如此,托勒密体系的崩溃,也就只能跟着它所代表的阶级的衰亡才会到来。而地球绕太阳运动这样一个唯物的体系,也只有随着资本主义的发展才能建立。人类认识史上的一个伟大的革命——哥白尼的日心体系的建立,正是出现在这样一个动荡的革命时代。

五百年前,欧洲社会正处在一个大动荡之中。由于环球航海的成功和美洲的发现,刺激着早期手工工场的发展,新兴的城市资产阶级在封建社会内部孕育发展起来。封建统治阶级和新兴资产阶级各自为了争取和维护政治上、经济上和思想上的阶级利益,展开了激烈的搏斗。当时整个欧洲正经历着一次人类从来没有经历过的最伟大的最进步的变革,到处燃烧着反封建反宗教的熊熊烈火。资产阶级为了发展它的工业生产,需要有探索自然物体的物理特性和自然力的活动方式的科学。而在这以前,自然科学作为神学的一个分支,只是在宗教信仰所规定的框界之内活动着,根本不能适应这类生产发展的要求。它同宗教神学之间的斗争随着社会阶级矛盾的加剧而展开着。在这个斗争中,封建宗教的神学世界观

和烦琐哲学的方法论受到了冲击，从物质世界去探索客观规律的唯物论的世界观和方法论复兴起来。社会已经为宇宙概念的革命准备了条件；环球航海的成功，又把重新认识宇宙构造的迫切要求，尖锐地摆在人们的面前；一个取代托勒密“地球中心说”的新体系的建立，已是势在必行。而这个历史的功绩，正是由波兰天文学家哥白尼完成的。

哥白尼敢于反潮流，敢于同宗教宇宙观针锋相对。他通过长期的观察和对前人积累起来的大量关于行星运动的天文学材料的分析，透过现象，深入到事物的本质，提出了“太阳中心说”。他撰写了《天体运行论》一书，宣告：“我主张地球是动的”“地球除旋转外，还有某些运动，还在游荡，它其实是一颗行星”“在所有这些行星中间，太阳傲然坐镇……。太阳就这样高踞于王位之上，统治着围绕膝下的子女一样的众行星”。

哥白尼的日心体系是建立在继承和发展前人的行星运动理论以及自己亲自观测的基础上的。早在公元前，古希腊的一批哲学家就提出了地球在自转或绕太阳运动的观点。在这前后，我国一些唯物主义的思想家也明确地提出了地动的概念。象商鞅的老师尸佼就讲过：“天左舒而起牵牛，地右辟而起毕昂”《尸子》。《春秋纬·元命苞》上有类似的论述：“天左旋，地右动”。他们都已经注意到天的左旋（即日月星辰的东升西落）可以用地的右转（自西向东的自转）来解释，而且理解到地球的自转必然反映为天球的左旋，用地动的观念来解释昼夜天象的变化。在东汉时的《尚书纬·考灵曜》里，还提出了一幅地动的图象：“地有四游，冬至地上北而西三万里，夏至地下南而东三万里，春秋二分其中矣”，“地常动不止，譬如人在舟中而坐，舟行而人不动”。地球当然没有象这幅图象说的那样，在某一个平衡位置上、下、左、右地摆动。但是企图用地球

在运动这样一个概念，来解释太阳在正南方高度的变化，却无疑是一个进步。中亚细亚的毕鲁尼接受了印度思想家勃拉马古普塔的观点，在中世纪的欧洲和东方学者中第一个克服了地心世界观的狭隘束缚，认为托勒密的体系不符合宇宙的实际构造。但这些只是古代人的一种自然哲学的直觉，或者只是一种假设。而哥白尼，他经过了将近四个九年的时间去研究、观测和核实。他以自己的实践去证明这个理论，从而把日心体系建立在科学的基础上。

按照哥白尼的体系，地球和其他行星全都围绕太阳旋转，这是他们的真实的运动，或者叫真运动。只是有的行星比地球更接近太阳，我们把它称为内行星，运动得更快一点。有的

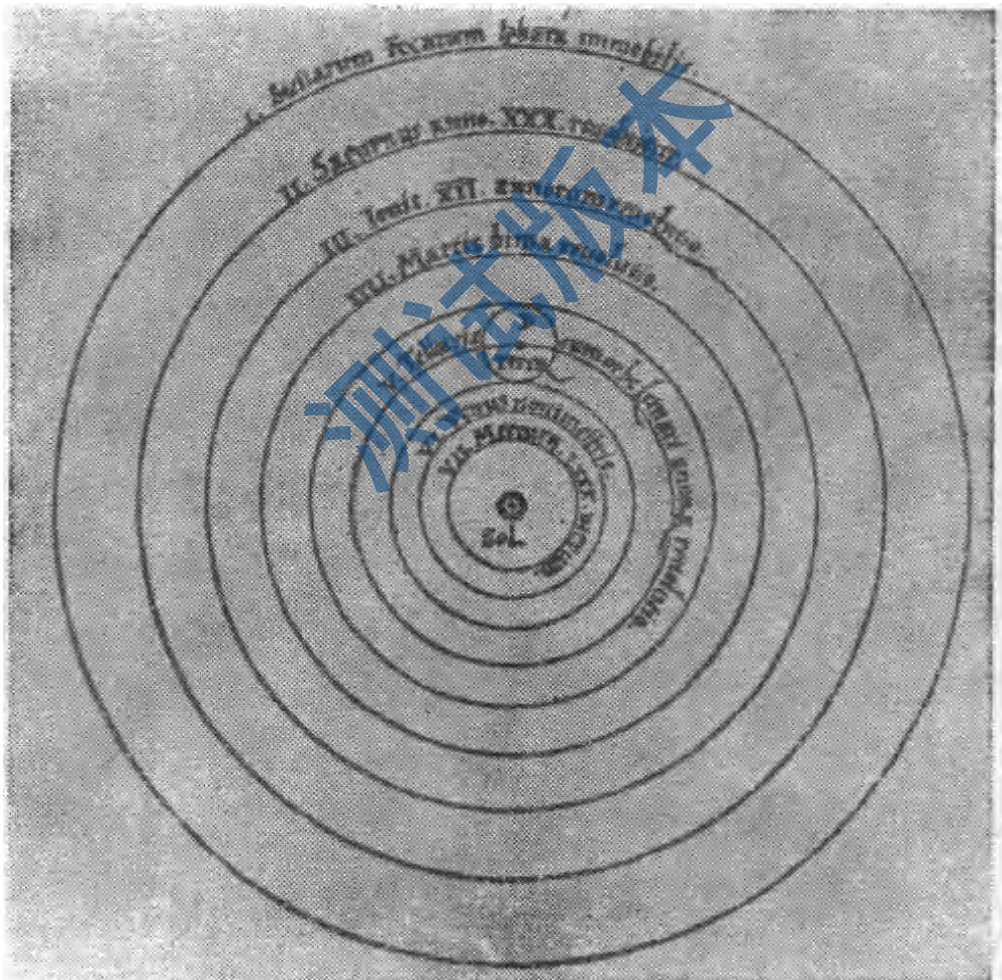


图 6-8 哥白尼体系(1543 年刊印的原版)

离得更远一点,我们把它称为外行星,速度更慢一点。行星在天上的绕圈运动,是从运动的地球上去看同样是绕太阳运动的行星而产生的一种视觉效果。这叫视运动。实际上它们并不在绕圈。我们当然不能把看到的现象当作本质。如果现象形态和事物的本质会直接合而为一,一切科学就都成为多余的了。譬如,有两列并排行驶的火车,甲火车一直用一个恒定的速度在走,乙火车因为出现了一些故障,速度愈来愈慢。这时候,从乙火车的司机来看,好象甲火车愈开愈快了(显然,当他这样看的时候,他是用远方的目标来作比较的)。后来,乙火车排除了故障,加快速度赶了上来,这时候,从乙火车的司机看,又好象甲火车愈开愈慢,最后干脆“停”了下来!当乙火车以更高的速度行驶的时候,甲火车竟然开起“倒”车,朝后“退”了!很明显,甲火车的这种运动只是它对乙火车的“视运动”。行星的视运动也是类似的。

我们先来看看外行星。图6-9是从地球上看见外行星木

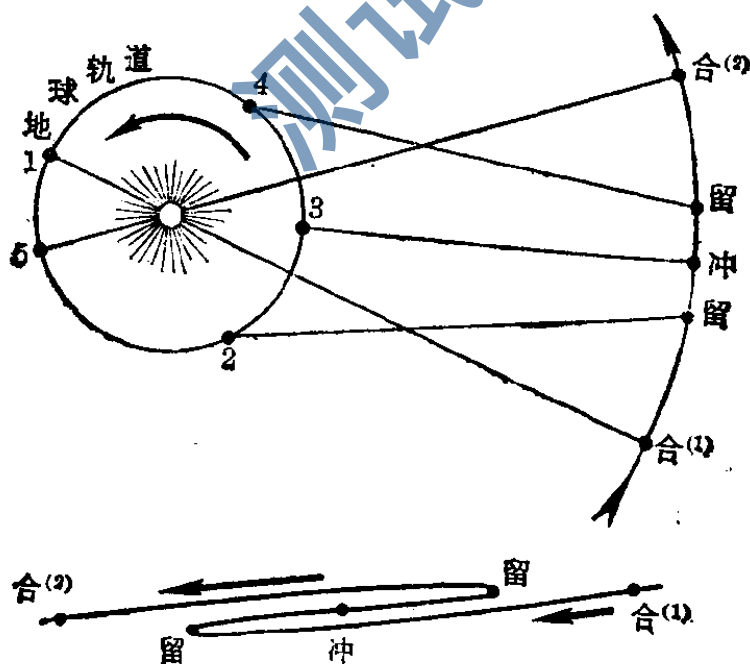


图6-9 外行星视运动分析



星的运动情况。在位置“1”，地球、太阳、木星在同一直线上，从地球上看来，木星和太阳在同一位置，天文上叫做“合”。这时候，木星是看不见的。因为地球的运动速度比木星快，所以，合以后不久，木星在天上由西向东移动的速度愈来愈慢。当地球到了“2”的时候，木星不动了，天文上叫做“留”。接着，木星开始由东向西逆行。在位置“3”时，地球、木星、太阳又在一直线上，但位置排列和“合”不同，这时木星和地球距离最近，称为“冲”。在地球运动到位置“4”的时候，木星停止逆行，开始向东顺行。到了位置“5”，地球、太阳、木星又在一直线上，重复“1”的情景。这段时间内，木星在恒星中间画了一条S形的曲线。

内行星的情况基本上和外行星相似。不同的只是它们没有冲，而代之以另一个合，叫做下合（图6-11位置“4”）。这时候，它们距地球最近。从图6-11还可以看出，内行星总是在太阳附近摆动，不会超过一个最大的角度。不难理解，这个最大角距等于它们绕太阳运动轨道的半长轴在地球上的张角（见图6-11位置“2”或“6”）。对于水星，这个角度为 $28^\circ$ ，金星是 $48^\circ$ 。所以，金星或水星，只能作为晨星见于东方，或者作为昏星而见于西方。

从上面的分析可以看出，在哥白尼的学说里，行星的视运动是十分自然的现象。而在托勒密的体系中，本轮复本轮，七拼八凑，还是不能自圆其说！

哥白尼日心说的发表，给宗教神学以沉重的打击，引起了一场重大的宇宙观革命。日心学说证明了地球只不过是绕太阳运转的普通的行星，改变了它作为上帝安排在宇宙中心的特殊地位。一千多年来被宗教和唯心主义宇宙观窒息的自然科学得到了解放。恩格斯指出：“这时候，自然科学也发布了

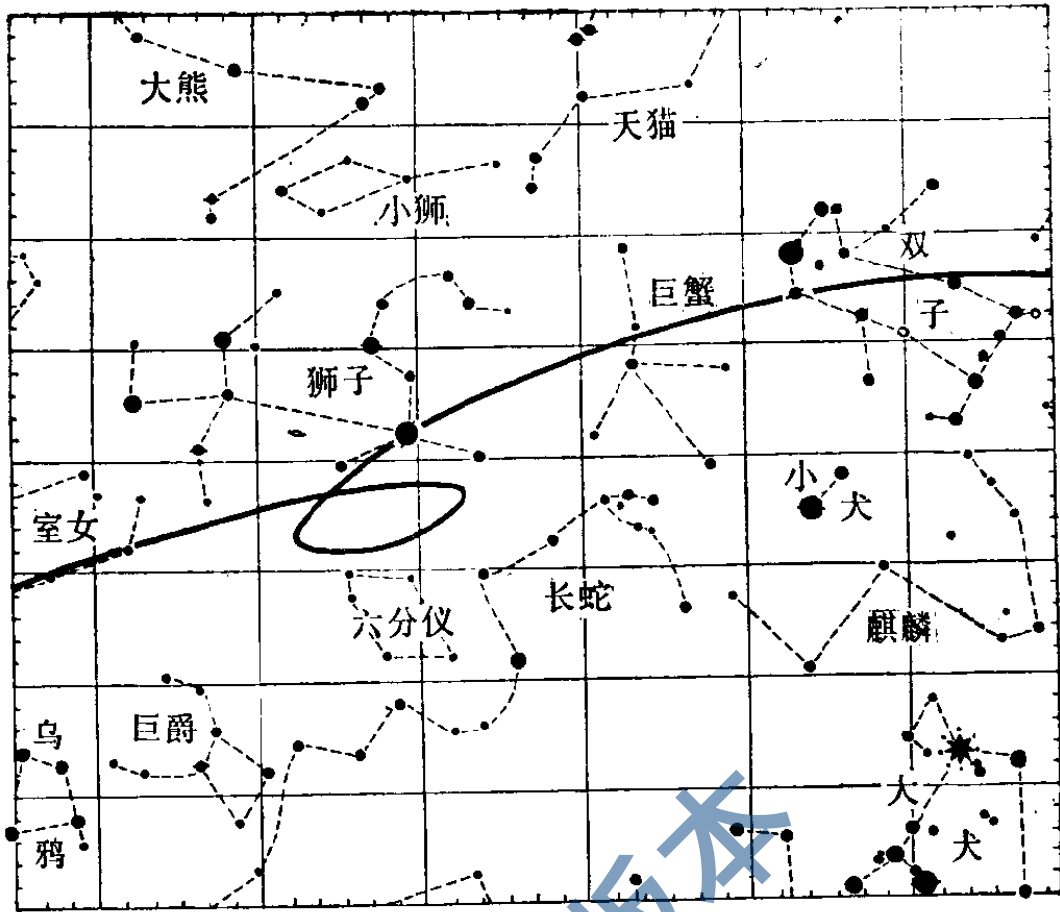


图 6-10 内行星金星 1975 年 (5 月中到 11 月中) 视轨道图

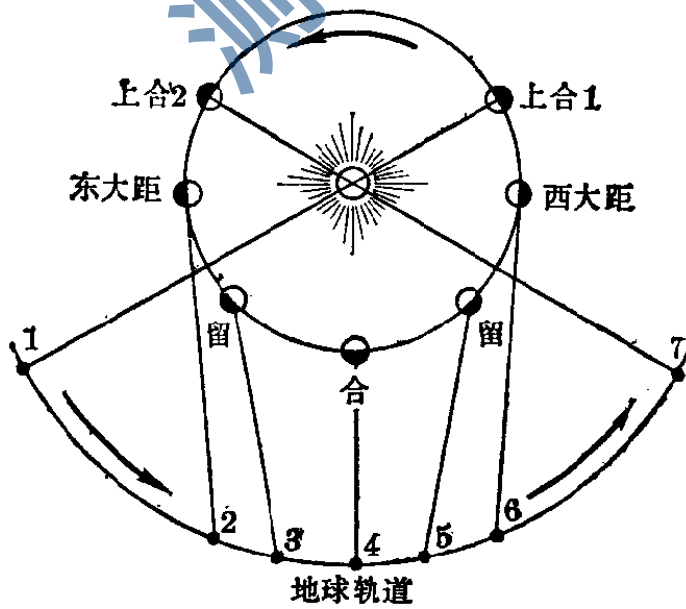


图 6-11 内行星视运动分析



自己的独立宣言，……在自然科学领域内是哥白尼的伟大的著作，在这部著作中，他（虽然还有些胆怯，在三十六年的踌躇之后并且可说是在临终时）向教会的迷信提出了挑战。从此以后，自然科学基本上从宗教下面解放出来了”。这样，科学便开始大步向前。

但是，历史上新的正确的东西，在开始的时候常常得不到多数人承认，只能在斗争中曲折地发展。哥白尼的学说与宗教宇宙观根本对立，那些神学家们咆哮着向日心说反攻。新教首领马丁·路德指责哥白尼说：“这位新奇的天文学家，企图证明旋转着的是地球，而不是天体、太阳和月亮。……只有傻瓜才想把整个天文学连底都翻过来。圣经上明明写着，约书亚喝令其停止不动的是地球而不是太阳。”另一个新教首领加尔文恫吓日心说的支持者，声言：“谁胆敢把哥白尼的权威置于圣灵之上！”意大利天主教弗朗息斯科·马洛列可也在1575年写了一本书，列举了许多数学和神学的事例，想推翻哥白尼的日心说。1600年，宗教裁判所把哥白尼学说的热情的传播者布鲁诺送上了火刑场，而后再审判了另一个日心学说的代表人物伽利略，并且一直到他死，都把他放在宗教裁判所的监视之下。哥白尼的《天体运行论》也被列为禁书。宗教裁判所的残酷迫害，表明了哥白尼的学说不只是天文学上一个宇宙概念的革命，更重要的是它在社会革命中的巨大推动作用，这个学说，直接摧毁了封建宗教统治的哲学基础。它和托勒密地心体系的对立，首先也就是在这个意义上。最早敏感到这一点的，恰恰是居于统治地位的教会僧侣们，他们对“异教徒”的残酷迫害，正是他们对哥白尼学说的革命作用的极度恐慌的表现。

尽管这样，哥白尼的学说还是为愈来愈多的人所了解，

并且得到了愈来愈多的拥护者。这首先是由于日心体系比之地心体系更确切地和观测符合，以至罗马的教皇在拟定历法改革的方案时，都不能不用哥白尼的数据。另一方面，在哥白尼之后，十七世纪到十九世纪的三百年内，一系列重要的天文发现，驳倒了所有反对者的论据，证实了哥白尼学说的正确性。历史宣判了真理是在唯物论和科学这一边，而不是在唯心论和宗教的泥潭里。

1608年，荷兰的一个磨眼镜的工人李普希发明了望远镜。伽利略很快就把这发明用在天文观测上。是他第一次用望远镜对准天体。在1610年，伽利略发现了围绕木星有四个类似月亮——地球的卫星——的卫星在运转(见图6-12)。接着又发现了为哥白尼所预言的金星的位相(见图6-13)。在伽利略的观测中具有特殊意义的是太阳黑子演化的发现。他发现了黑子在太阳圆面上的位置，向一个方向连续变化。这样，就断定了太阳本身有一种旋转运动，类似哥白尼在理论上证明的地球自转。伽利略的这些重要发现的意义，正如他自己以及同时代的一些先进人士所估计的，它们证实了哥白尼的学说。哥白尼学说在反宗教迫害的斗争中传播，在长期进行天文现象观测的实践中得到了证实。

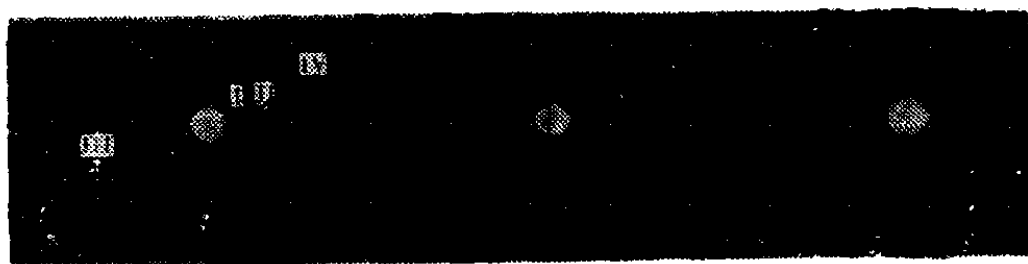


图6-12 木星及其四个大卫星

可是，哥白尼的日心体系既是一个时代的产物，就不能不

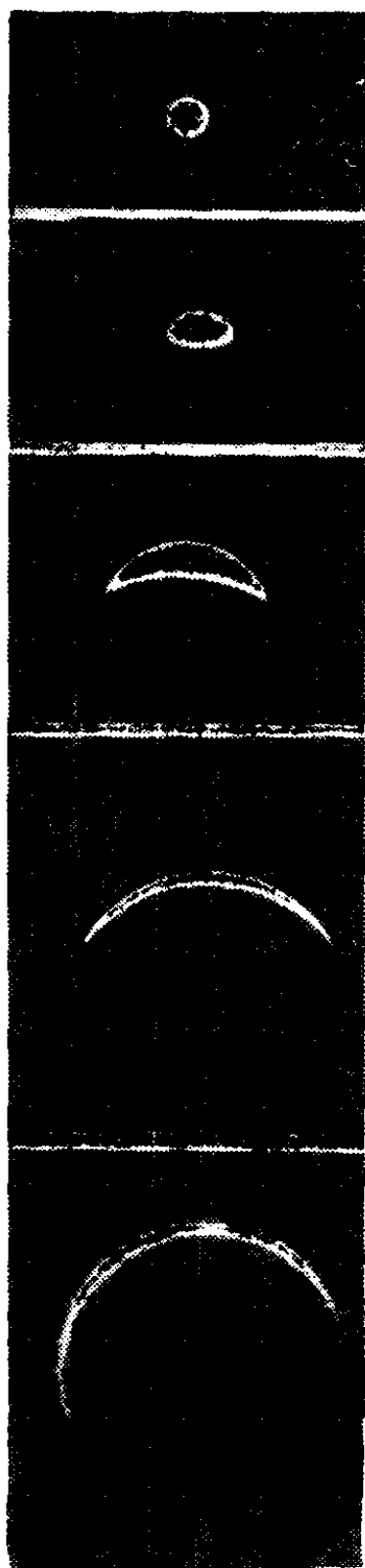


图 6-13 金星位相。可以看出下合时金星视直径较大,上合时较小

受这个时代的局限。当时,资产阶级反对封建制度的每一种斗争,都披上了宗教的外衣。这种反对神学的不彻底性,同样表现在哥白尼不能冲破古代某些唯心主义的论点。在他的体系里留下了所谓宇宙是“球形的”这种宇宙有限论,主张行星运动“永远是圆周运动或是由圆周运动合成的”,数学处理上仍保留了本轮-均轮体系,没有摆脱托勒密体系的束缚。因此随着观测仪器精确度的提高,根据哥白尼的理论编制的行星运动表就暴露出和观测的明显分歧。后来,十七世纪初,德意志天文学家刻卜勒根据长期的天文观测资料,研究了这种不一致的原因,总结出行星运动的三大定律,确定了行星是沿着椭圆形的轨道绕太阳运动,对哥白尼的体系作了重大的发展。刻卜勒曾力图寻找支配这种运动的力量,但因为受到数学和物理学发展水平的限制,他只提出了一个引力的概念。直到十七世纪末叶,微积分的产生,大地测量和物理学的进展,牛顿发现了万有引力定律,才把哥白尼的日心体系建立在更加稳固的物理学的基础上。

虽然人们应用牛顿和刻卜勒的定

律于日心体系上，行星的运动已经得到满意的说明。然而，这个学说还存在一个根本的困难。反对哥白尼的人说，如果地球围绕太阳运动，就应该看到比较近的恒星相对更远的恒星有一个位移。如图 6-14a，地球在位置  $E_1$  时，恒星  $S$  看起来在  $E_1S_1$  方向；6 个月后，地球到了它轨道的另一端  $E_2$ ，再看这一颗恒星  $S$ ，就要沿  $E_2S_2$  的方向。对于遥远的恒

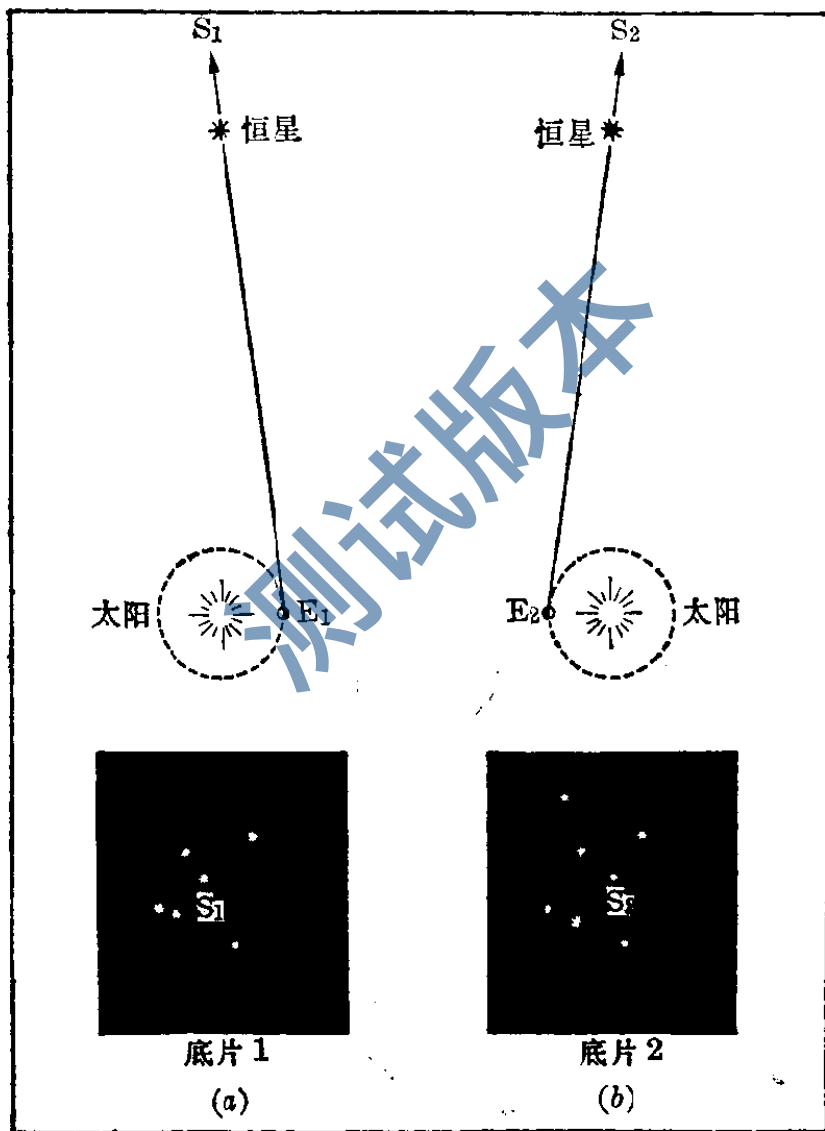


图 6-14 一颗比较近的恒星的视差位移。为了清楚起见，位移的量放大了很多

星来说,这颗星从 $S_1$ 移到了 $S_2$ ,这种现象叫做视差位移。也就是地球轨道半径在恒星处的张角。前面提到太阳的视差,或月亮的视差,道理都是一样的,不过基线不同罢了。但是,自从哥白尼的学说发表以后,很长时间都找不到这种位移。我们现在知道,这也是毫不奇怪的,恒星的视差小到只有零点几个角秒。这个角度有多大呢?打个比方,把一个硬币放在二十公里远的地方,然后睁大眼睛去看这枚硬币,它的角直径大概就是零点几个角秒,在刻卜勒总结行星运动定律的时代,测量角度的精度只有1个角分,过了一百多年,这个精度才提高到十个角秒。用这样的仪器,当然是测不出零点几个角秒的视差来的。那时候,虽然也使用了望远镜进行观测,因为光学玻璃制造工艺上的缺陷,使得望远镜不能充分发挥它的作用。一直到了十八世纪末,一个德国的光学工人奇南达经过二十年的试验,成功地制造出了优质的光学玻璃之后,才制成了几架精度远较以前为高的望远镜,终于测出了恒星的视差,驳倒了这个最顽固的论据,证实了地球确实是在绕太阳运动着。

托勒密的体系直到十九世纪四十年代才不得不最后宣告破产。当时有两个从事理论计算的天文学家,根据日心体系提供的数据,推算出在天王星外面一定还存在一颗尚未知道的行星,而且还推算出这个未知行星在天上的位置。当1846年根据这个理论推算确实观测到这个未知行星——海王星的时候,日心体系得到了最辉煌的证实,哥白尼的学说才最后由假说成为一个无可怀疑的科学的理论。

哥白尼的日心体系从建立到最后完成的这个过程,充满了两种宇宙观的斗争,而这种斗争实际上只是各社会阶级的斗争或多或少明显的表现。

### 三、寻找第十个成员

“太阳系有九大行星”，这句话，更加科学地来讲，应该改为：太阳系目前已知有九大行星。不少天文工作者现在正在搜索太阳系的第十个大行星。“正在搜索”当然不等于“一定存在”。我们在这里先不下断语，只介绍一下问题是怎么提出的，怎么分析的。然后，请读者自己判断，我们这样的改法，是不是恰当。

事情还得从海王星的发现讲起。自从1781年发现了天王星以后，天文工作者象以往一样，计算了天王星在其他几颗大行星的引力影响下，围绕太阳运行的轨道。这个轨道同行星只在太阳引力作用下的椭圆轨道是不一样的。但是，理论计算的位置和实际观测的结果总是不符，时间愈长，误差愈大。到了1845年，这个误差已经大到了 $2'$ 。这是什么原因呢？有一些人认为是由于万有引力定律有一定的适用范围，到了天王星这么远，必须要作一定的修正。大部分天文工作者则认为，天王星轨道的异常是由一个在天王星外面的未知行星引起的。换句话说，理论计算的位置同观测的



图 6-15 天王星在白羊座一颗 7 等星附近逆行



差距，正是因为没有考虑到这颗未知行星对天王星吸引的结果。这样，问题便归结到从这个差值去反推一个在未知的轨道上运动的未知的行星，同时求出这个未知行星目前的位置。这是一个相当困难的问题。当时，两个年青的天文工作者独立地进行了这项工作，并且得到了差不多相同的结果。1846年，果然在他们理论推算的位置上，找到了这颗行星——海王星！

但是，找到了海王星，并没有解决全部问题。在实际测定了海王星的轨道和质量以后，重新计算了天王星的运行轨道。这时候，尽管把海王星的影响也考虑了进去，实际观测的结果和理论预期的位置还有 $2''$ 的误差。于是，很自然地使人们又联想到，这个无法消除的误差，是不是由海王星外面还存在的一个未知行星引起的。解决这个问题，困难要比寻找海王星大得多。导致海王星发现的差值是 $2'$ ，比现在的值大了60

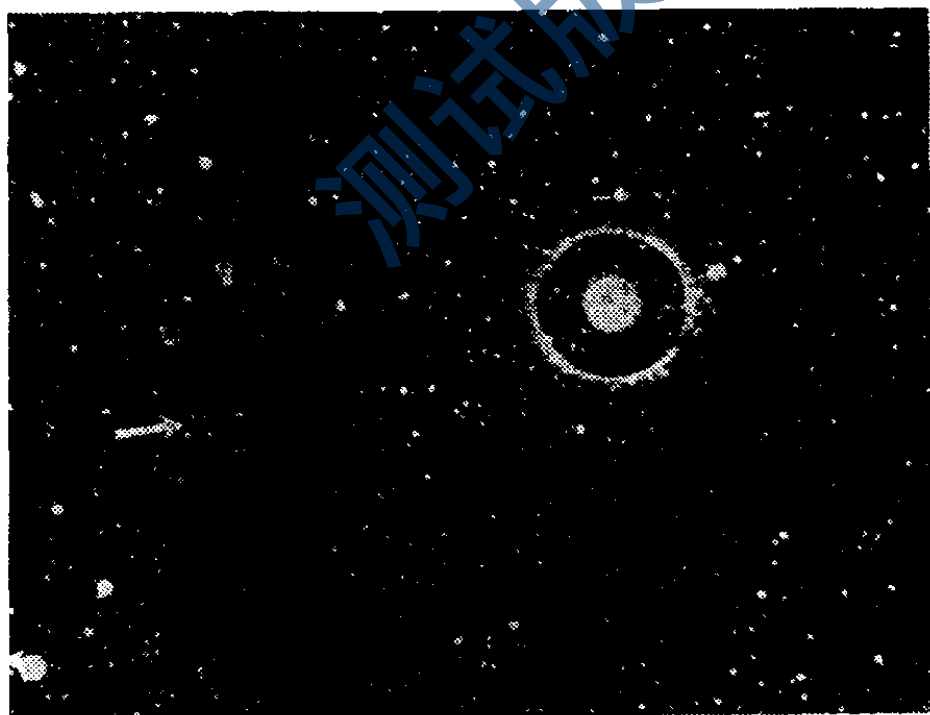


图 6-16 发现冥王星的照片，箭头所指即冥王星，照片上一颗大星为双子座 $\delta$ ，星周围光晕是由光线在底片背面反射形成的

倍,海王星的距离也要近得多。因此,这颗“海外”行星将是十分暗弱的,推算出来的位置的误差也会大得多。要在有几万颗甚至几十万颗星星的一张底片上,找出一颗看不出圆面的“海外”行星,可以想见困难之大了。这个艰巨的工作,终于在1930年,也是由一个年青的天文工作者完成了。这颗未知的“海外”行星叫冥王星。

从此,太阳系就有了九颗大行星。

现在的问题是,有了冥王星,仍然没有解决问题。天王星的轨道还是和观测不符,海王星的计算轨道也同样是符合了近期,就不能表达远期,时间愈长,误差愈大。这些差值虽然不大,却无法用目前已有的九颗行星的作用来消除。这样,新的搜索“冥外”行星的工作又开始了。

当然,争论是十分激烈的。有的断言冥外肯定有大行星,有的则认为目前太阳系的分布状态不容许有第十个行星存在;有的认为继续用以前的方法是不可能找到冥外行星的,有的则认为只有按照老的方法,提高精度才能解决问题。

第十颗大行星究竟存在不存在?恩格斯说:“我们只能在我们时代的条件下进行认识,而且这些条件达到什么程度,我们便认识到什么程度。”所以,我们把“太阳系有九大行星”这句话改为:“太阳系目前已知有九大行星”。这里,当然包含了存在第十颗行星的强烈的倾向,或者说“假说”吧。自然科学只要在思维着,就必然要取这样的发展形式。我们相信,进一步的观测,终将下一个断语的。

#### 四、探索火星的生命

除地球之外,其他行星上有否生命存在?这是一个十分

诱人的问题。

1877年，一个天文学家宣布了一件轰动的新闻，在地球的近邻——火星上，发现了“运河”。从此，关于火星上有人的议论就开始沸腾起来，不少以“火星人”作主角的文学作品也相继问世了。为什么不可能呢?! 火星和地球有那么多相似的地方：地球自转一周需要23小时56分，火星是24小时37分，所以它们几乎有相同的昼夜；地球的自转轴和轨道平面有 $23^{\circ}27'$ 的倾角，而火星是 $24^{\circ}$ ，所以在它上面形成了同地球一样的四季变化。不过火星的一年(绕太阳一周)比地球差不多长了一倍，它的春夏秋冬每一个季节也同样要比地球上长那么多。地球的两极是冰封雪裹的世界，火星的两极也有白雪皑皑的极冠；从望远镜中看火星，随着季节的交替，同样有山川变色，风云变幻。这一切本来就使火星成了太阳系里最为诱人的一颗行星，以致有人干脆把它称为“小型的地球”。如今又在它上面发现了“运河”，这一下，人们对火星的探索当然更是



图 6-17 火星“运河”图

兴奋。许多人立志要寻找这些“火星”，至少也想找到“火星”的痕迹吧！

但是，要在望远镜里看到这些“运河”，也不是一件容易的事情。火星绕太阳运动的轨道，是一个比较明显的椭圆。离太阳最近时有二亿七百万公里，最远时有二亿四千九百万公里。火星在这样的轨道上运动，同地球的距离变化很大。最近的时候，发生在火星和太阳相冲的时刻，只有五千六百万公里，这个时候，火星的视直径有 25 个角秒。最远的时候，有四亿公里，看起来，只是一个  $3''.5$  的小星。我们平时看星星的时候，常常看到星星在那里眨眼睛，有时候，就象跳舞一样，闪烁得很厉害（当然，眨眼睛的，并不是星星，拿天文上的话来说，叫做大气抖动得很厉害）。结果，星星一会儿在这里，一会儿又跳到另一个位置上去了。这种位置的变动可以大到  $3\sim 4$  个角秒，甚至更大。要在这种情况下去找出只有几个角秒的火星圆面上的细节——“运河”，是根本办不到的。所以，天文工作者总是要把望远镜放到一个天气特别好，大气抖动很小的地方去，而且还要选择最有利的观测时期。象火星，就要选择它和太阳相冲的时间去观测。1975 年 12 月 9 日正是火星冲日的时间。那时候火星位于金牛座内。它的视直径有  $16''.6$ ，是一次观测的好时机。

因为火星和地球都在绕太阳运动，而且公转的周期是不一样的，所以火星下一次冲，既不是在 1976 年 12 月 9 日——地球绕太阳转了一圈，也不是在 1977 年 10 月 28 日——火星绕太阳转了一圈之后。从火星、地球的公转周期，可以很容易地求出它们连续两次相冲的时间间隔（称为会合周期，图 6-19）。

“会合”的问题，在我们日常生活中是很多的。譬如甲乙

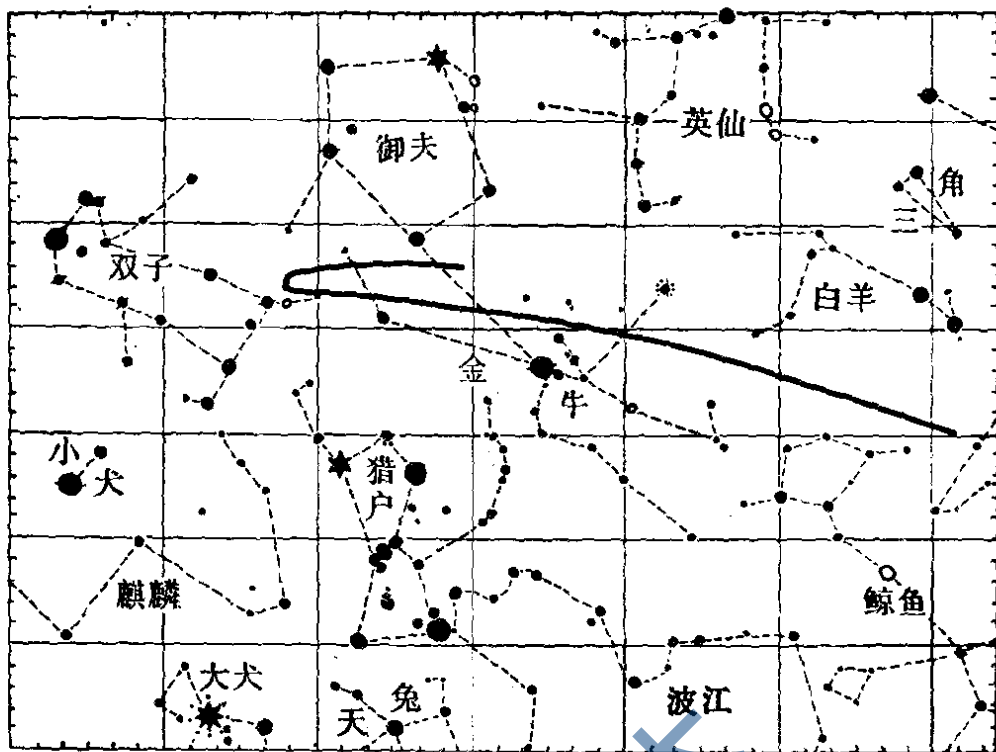


图 6-18 1975 年(下半年)火星视运动图

两个赛跑的运动员，甲跑得快一点，从两人同时出发，到甲超

出乙一圈，两人又并排跑，这段时间，也就是会合的周期。很明显，这个周期等于甲和乙的速度差去除跑道的长度。在我们的情况下，因为火星与地球在不同的轨道上运动，所以要把线速度(每天多少公里)换成角速度(每天转过多少度)，跑道的长度也用度数表示，为  $360^\circ$ 。如图 6-19， $E$  为地球， $M$  为火星。它

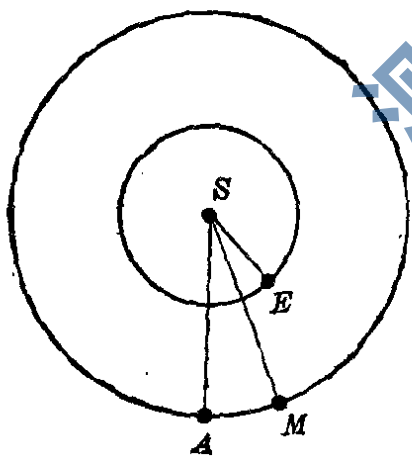


图 6-19 会合周期图解

们的角速度分别是  $\frac{360^\circ}{T_1}$  ( $T_1$  为地球的公转周期，365 天) 和  $\frac{360^\circ}{T_2}$  ( $T_2$  为火星的公转周期，687 天)。会合周期  $S$  为：

$$S = \frac{360^\circ}{\frac{360^\circ}{T_1} - \frac{360^\circ}{T_2}} = \frac{T_1 \times T_2}{T_2 - T_1}$$

把  $T_1$ 、 $T_2$  值代进去，求出火星连续两次相冲的时间间隔为 780 天。

图 6-20 给出了火星在 1999 年之前每次冲日的位置。可以看到，每次冲日，火星同地球的距离是不一样的。只有在火星近日点附近距离最近，称为大冲。这是观测火星最有利的时机。

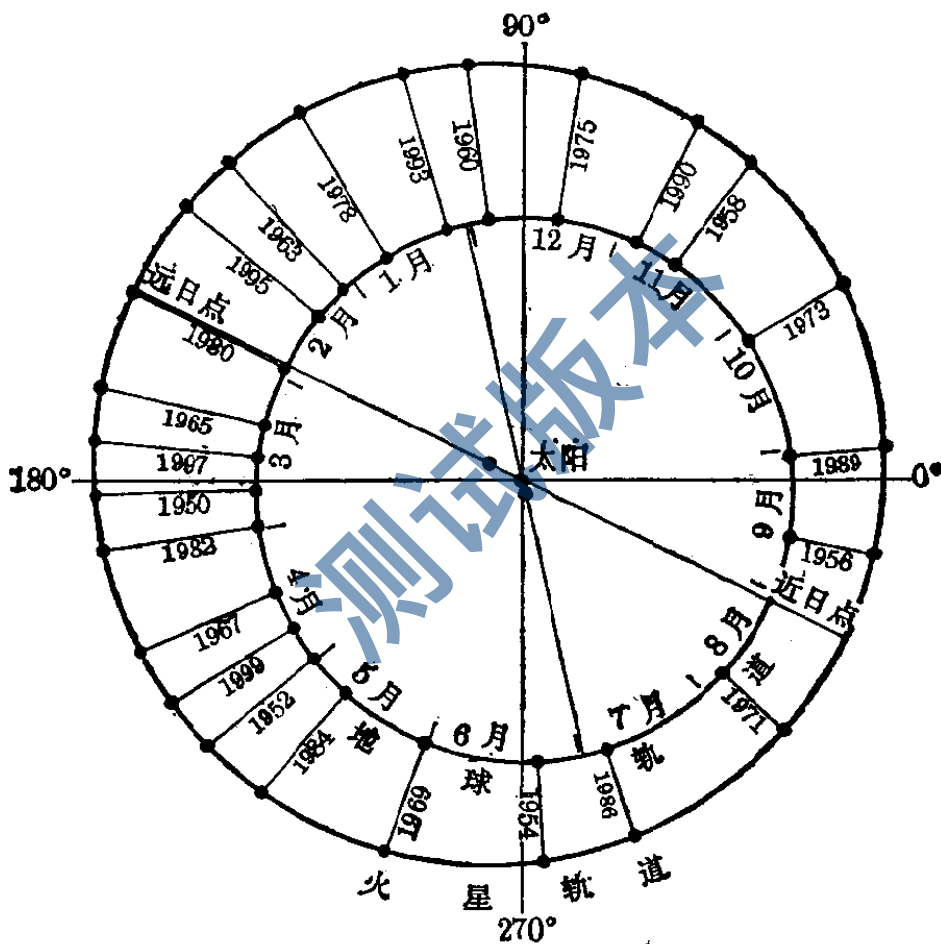


图 6-20 公元 1999 年前火星冲日位置

一些热情的观测者，利用这些有利的时机，给火星描绘了整幅地图——该称为火星图！上面布满了“运河”。一开始我们就提到，火星的表面，随着季节变化，颜色不同。仔细的观



测发现，春天来临的时候，那个半球的极冠逐渐缩小，极冠外面的暗的区域也变得更暗，而且渐渐向赤道移动。秋天以后，极冠又慢慢增大，暗区变淡。在这些观测者看来，这种现象是十分自然的：火星的极冠同地球两极一样，是由冰雪组成的，化冻以后，水沿着“运河”流向赤道，一路上，滋润土壤，苏醒越冬的植物，形成了向赤道移动的暗区。“运河”，正是“火星”建造的冰川利用网。如果真的是这么回事情，那么，这样大型的工程，确是显示了“火星”的高度智慧，也难怪有人会把围绕火星运转的两颗卫星——福波斯和德莫斯——看作是“火星”发射的人造火星卫星了。

但是，他们画的“运河”，却是一人一个样，有的象从沙漠里的绿洲向四面发散出去；有的简直是规则的运河网；而在更大的望远镜里，这些规则的线条却成了模糊的斑点。“运河”究竟是什么东西呢？



图 6-21 又一种火星“运河”图

上面我们已经讲到，地球大气扰乱了行星上的细节。如

果我们跑到地球大气外，摆脱它的影响，会是怎么样呢？图 6-22 到图 6-27 就是这样拍到的一组照片。图 6-22 照的是以前被称做运河的地区。哪有什么线条呢！有的只是大大小小的环形山，以及一些模糊的斑痕，只是由于大气的扰动和仪器分辨本领的限制，才把它们看成了规则的线条。那么，极冠总存在吧！是的，极冠是有的，但是你看看图 6-23，这层“冰”是那么薄，透过它我们还能清晰地看到那儿的 terrain，密密麻麻的环形山，依然赫然在目！就连这层薄冰，也不是水冻结的，而是二氧化碳的结晶——干冰。因为在它的红外光谱中，只见二氧化碳的分子带，几乎找不到水分子的迹象。同样，在火星的大气中，主要的成分也是二氧化碳，只有很少的氧气。



图 6-22 火星“运河”真貌



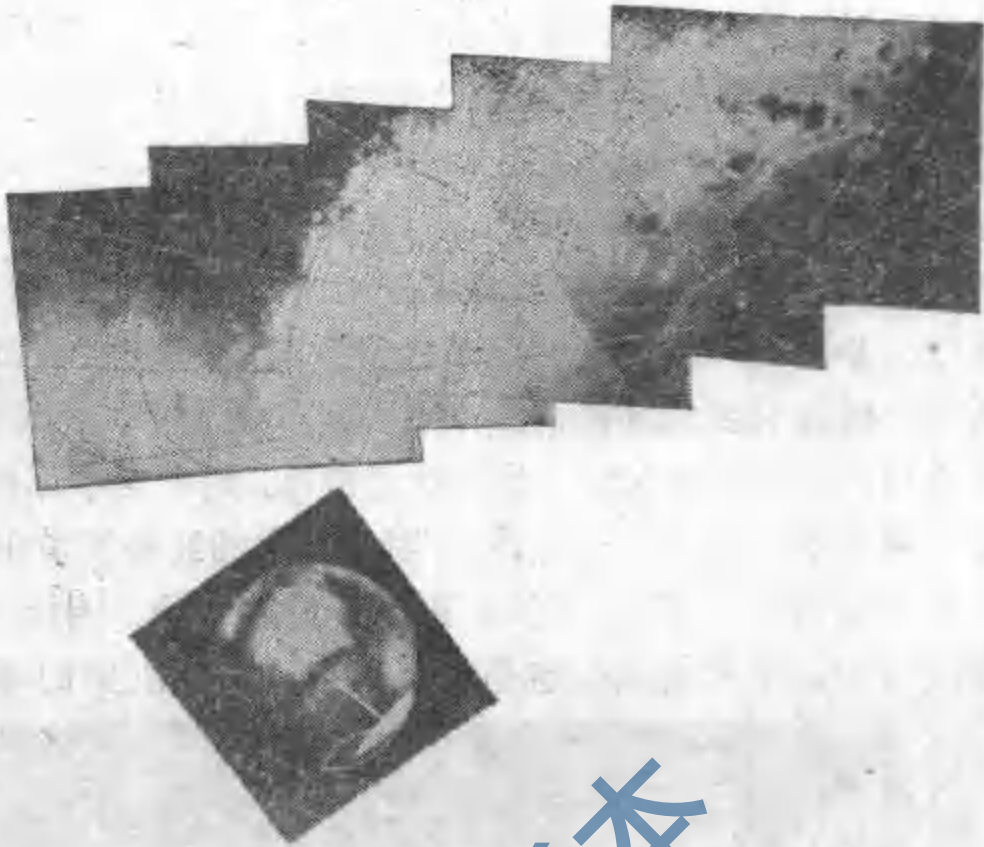


图 6-23 火星的极冠



图 6-24 火星上的“河网”结构

它的大气压力大约是地球上的二百分之一，相当于地球上四万米高空的气压。

近年来，在火星上发现了一些同河网相似的结构(图6-24)，似乎至少表示了水的侵蚀。但是，一些科学家相信，这种外貌的相象只是很表面的。要确定它们的真正成因，还需要进一步的观测资料。同时，在火星的大气中找到了水汽。它的量比原先预期的要少得多。如果把火星大气中全部水汽凝结在它的表面，也只有0.01毫米厚。而在地球上的沙漠地带，把它上面的水汽凝结起来，都还有1毫米厚呢。干燥的沙漠，常常使人望而止步；而火星，比它还要干燥一百倍。缺水、干燥使它的表面盖满了粉末状的尘埃，这就是火星世界。同月



图 6-25 火星上“最近活动”的火山



亮一样, 坎坷不平, 满目荒凉, 找不到文明的痕迹, 也没有植物在生长!

但是, 在火星上, 有迹象表明, 至多在几百万年前, 还有火山爆发。图 6-25 是火星上的一个大火山口, 在它周围凝固的熔岩中, 并没有发现大量的陨石撞击坑。这个现象表明, 这座大火山在最近的地质年代里是活动的, 也可能现在还在活动!

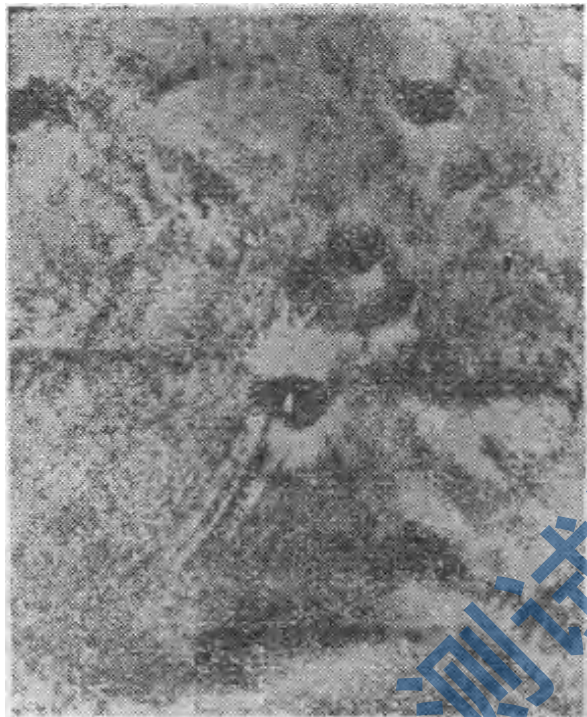


图 6-26 火星上强大的尘暴

因此, 从地质学的眼光看, 火星决不是一个冰冷的世界。而从气象的角度来看, 火星更是一个富有生气的行星。在它上面不时地掀起一阵阵的尘暴, 有时候这种粉末状的尘埃时常席卷整个火星, 时间长这个把月, 甚至更长。图 6-26 就是一张强大的尘埃风暴的照片。天文工作者曾经严密地监视过火星表面的一些区域, 发现在

地面上看到它有亮暗的季节变化时, 从大气外观测, 正是尘暴起落的时刻。是什么样的“季候风”会刮起这样大规模的, 又延续这么长时间的尘暴的呢? 不清楚。直到现在, 还没有找到答案。但是, 有一点看来是清楚的, 亮暗的季节变化, 更可能是由尘暴引起的。

尽管火星并不是那么死气沉沉, 可对于生命来说, 这种环境毕竟是过于严酷了。稀薄的大气, 又严重缺氧, 再加上没有磁场, 使火星完全裸露在紫外辐射、流星体和高能粒子的面前,

成了一颗“不设防”的行星。而在我们地球上，致命的紫外辐射已被高空的臭氧层吸收，陨落的流星体绝大部分也在浓厚的大气层中化为灰烬了。象太阳风、宇宙线等等高能粒子，又大部分被地球磁场捕获，或者反射，或者阻挡，只有一部分具有足够能量的粒子，才能冲过磁场的防卫圈，打到地球的大气层以至地球的表面。所以，一个毫无保护装置的地球人，跑到火星上去，且不说火星的寒冷、缺水吧，就是在流星体的频繁“轰炸”，紫外线连续照射以及高能粒子的猛烈打击下，也会很快死去的。其实，别说是人，今天地球上的绝大部分生物，要在火星这样的环境中生存下去，也是办不到的！

由此看来，我们可以断言，火星上是不可能有什么生命的。这个结论对不对呢？诚然，高级形式的生命，以至“火星人”的存在是可以否定的。但是，生命难道就不能以低级的形式出现在火星上吗？这当然只是一种假想，到目前为止，没有任何事实可以来证实它。不过，根据近年来对月亮和陨石的考察来看，这个假想虽然不能证实，但也得到了一些有力的支持。1969年9月，在澳大利亚坠落的一块陨石（在地球外面围绕太阳运动的石头，和地球相遇，掉到地球上，称之为陨石）上，发现了十八种氨基酸。1971年，又在另外一些陨石中发现了氨基酸、嘧啶等复杂的有机物。在月亮的岩石中也找到了六种氨基酸。我们知道，氨基酸和嘧啶是组成蛋白质和核酸的基本原料。所谓生命，不过是蛋白体的存在方式。既然在月亮和陨石这样几近僵死的世界里都有生命的种子，那么，在更加有生气的火星上，有氨基酸之类的有机物，更是无可非议啦。当然，氨基酸的存在，并不能证明地球外面有生命。早在五十年代，就有人做了一个试验，他用甲烷、氨、氢和水汽组成一种混合气体，放进真空的容器中，然后连续通以电火花，



经过了八天时间，最后在完全无生命的体系中得到了五种构成蛋白质的重要氨基酸：甘氨酸、谷氨酸、丙氨酸、天冬氨酸和 $\beta$ -丙氨酸。其后，更多的氨基酸以及组成核苷酸的嘌呤、嘧啶等物质，也都在一定的能源条件下(如电火花、紫外线、X射线或其他高能粒子束)，同样在无生命的混合气体中人工合成了。这些实验一方面说明了氨基酸不一定由生物的途径产生，因此地球外的复杂有机物的存在，并不能直接说明生命的出现。另一方面，也是更重要的，它说明了生命的产生只不过是物质发展的必然产物，并不需要任何神秘的外力。只要具备一定的条件，无机物和简单有机物，必然要向复杂的有机物转化。同样，氨基酸出现以后，又会在新的条件下进行新的量的积聚，直至几十个、几百个氨基酸组成肽链，量变产生质变，转化成蛋白质。在这里，条件是重要的。由无机物或简单有机物向氨基酸转化的过程中，巨大的能源是一个重要的条件。而非生物终于向生物转化的重要条件，则是适当的温度和适量的水分。没有这些条件，也就不可能发生这种转化。

现在一般认为，太阳系各个行星的原始大气同类木行星的大气组成差不多，主要是氢、氦以及甲烷、氨、水汽等。今天的明显差别，是各个行星演化的结果。类木行星由于它们的大质量和远离太阳造成的低温(大约 $-120^{\circ}\text{C}\sim-170^{\circ}\text{C}$ )，使得它们基本上保持了原来的组成。在类木行星上即使存在氨基酸之类的有机物，处在零下一百多度的严寒和冰冻的水中，也就不可能再进一步向生物转化。

类地行星又怎么样呢？水星，是最靠近太阳的一个行星，在被太阳照亮的一面温度高达 $400^{\circ}\text{C}$ ，更由于它的质量只及地球质量的百分之六，所以水星早已失去了它的全部大气，更没有一点水的痕迹。只有来自太阳风的质子和电子不时被

水星俘获，组成了氢，但又很快逃离水星，结果形成了很少量的又不断变动着的氢“大气”。观测还发现，水星的表面很类似于月亮。显然，从生物学的角度看，这是一个死寂的世界。

金星是一个有浓密的大气的行星，它的主要成分是二氧化碳，还有少量的氮、水汽、氧和氨等。造成这颗行星上最终不能向生物转化的主要因素，又是它的高温、缺水。金星离太阳几乎比水星远了一倍，它的表面温度应该只有水星的十分之七左右。可是它的浓密的二氧化碳，起了一种特殊的“温室”的作用，容许光线透过，却阻止了热辐射向外散逸，结果使金星表面的温度达到  $400^{\circ}\text{C}$ ，和水星一样。

火星表面的温度在  $13^{\circ}\text{C}\sim-93^{\circ}\text{C}$  之间，最高达  $28^{\circ}\text{C}$ 。温度虽然还算适宜，只是昼夜变化太大。加上火星表面上又缺水，条件也很不利。但是，有不少人认为，在火星的地表下面，有着大量的冰的堆积，地热足以使它们融化或蒸发。他们认为象图 6-27 显示的那种奇特的洼地，就可能是地下冰融化产生的。如果真是这样的情况，生命会以低级的形式在火星上形成、延续、发展，也就不能说是毫无根据的臆想了。



图 6-27 火星上的奇特地区

最近,有一个“有名”的苏修院士,毫不掩饰地追随西方资产阶级,鼓吹生命起源的“定向胚种论”。什么是“定向胚种论”呢?就是说地球上“最初的生命是偶然产生的”,是以“孢子”形式从天外飞来的。一句话,生命不是物质自身发展的产物,而是邻近星球上的“一种理智文明”播种似的传播过来的。既然如此,那就还得问:邻近星球上的“理智文明”又是从哪里来的?如此再三,追根寻源,决不可能得到一个最后的回答。宇宙太空,茫茫无垠,现在不知道,将来也不会知道上哪儿去寻找这种杳无踪影的“理智文明”的来龙去脉的。其实,说穿了,所谓的“定向胚种论”只不过是“上帝播种论”的并不巧妙的化身而已。苏修院士鼓噪上阵,只能赤裸裸地暴露出他们在科学上的堕落,哲学上的背叛,一副马克思主义叛徒的丑恶嘴脸。

地球上以及其他星球上的生命究竟是怎么起源的?恩格斯指出:“生命的起源必然是通过化学的途径实现的。”当然,目前的科学发展水平对于确定生命究竟是通过哪些环节,一步一步地从非生命转化而来,查明地球以外哪一个星球上有生命存在,这些生命同我们地球上的有什么不同等等一系列问题,还相距很远,在很多方面几乎可以说是近乎空白。正因为如此,所以在生命起源的问题上,还将继续存在两种宇宙观、两条认识路线的长期斗争。

## 五、自己发光的行星

历来的天文教科书上,在谈到行星和恒星的区别时都是这样说的:恒星自己产生热能、发光,而行星只是反射从外面来的光。它自己并不产生热能。这就是说,行星同恒星之间,

有一条不可逾越的鸿沟，自己发光的，要划到恒星一类去；不发光的才算行星。

按照这种分类法，照射到一颗行星上的太阳光，一部分被行星反射回去，另外一部分被它吸收了。因为行星自己是不发光的，所以这两部分光量的和，当然应该等于落到行星上的总光量。被行星反射的光和落到行星上的光，我们可以从观测和计算得到。譬如，水星反射了入射光的6%，月亮反射了7%，火星反射了16%。反射了入射光的多少部分，这个量称做反照率。表6-3列出了各个行星的反照率。因为各个行星表面的物质各不相同，所以反射的情况就不一样。看起来，各个行星的颜色也不一样。象水星，或月亮，反射红光多，吸收红光少；对蓝、紫光是反射得少，吸收得多。所以，看起来，月亮或水星的顏色就比太阳要黄一点。至于火星，因为对红光反射特别强，于是火星就总象代表着铁血的战神一样出现在天穹。

表 6-3 行星反照率

行 星	反 照 率	行 星	反 照 率
水 星	0.056	土 星	0.75
金 星	0.72	天 王 星	0.90
地 球	0.39	海 王 星	0.82
火 星	0.16	冥 王 星	0.145
木 星	0.70	月 亮	0.067

求出了行星的反照率，我们就可以知道行星吸收了多少太阳光。象水星，吸收了入射光的94%，火星吸收了84%，木星只吸收了30%。吸收的这部分光使行星表面温度升高，而被加热的表面物质，又会以红外光以至无线电波的形式把吸收的这部分能量重新辐射出来。很容易理解，重新辐射出



来的光能量,同被它吸收的光能量总是相等的。要不然,辐射出来的小于吸收的,行星表面就会被无限止地加热起来。而事实上,只要行星表面热到足够程度,由它辐射出来的能量正好等于被它吸收的能量时,也就不可能再加热了。另一方面,因为行星自己不发光,所以由它重新辐射的光能量又不可能大于被它吸收的一部分太阳光的能量。否则,多余的一部分能量从哪儿来呢?

重新辐射出来的能量的大小,显然同行星表面被加热的程度有关。温度愈高,能量愈大。这个规律可以具体地表示为:辐射的能量同开尔文温度(K)的四次方成正比。现在既然从计算求出了由行星表面重新辐射出来的能量(即扣除了反射的一部分后,被行星吸收的入射光能量),就很容易推算出行星表面的温度。譬如,金星的温度大约在 325 K~375 K,火星为 250 K,木星为 102 K,等等。这种温度是理论上推出的。

除了这个理论计算的温度,我们还能从观测直接定出各个行星的表面温度。一个行星,两种温度,有什么意义呢?我们不要忘了,在理论计算行星的表面温度时,有一个前提,即行星自己是不发光的。这个前提是否符合行星的真实情况,是没有被完全证明的。于是,由观测直接定出的温度,就提供了一个检验的标准,凡是理论温度同观测的结果一致,这颗行星可以确定是自己不发光的。两种温度不符,就需要进一步的分析。

现代的观测结果表明,象水星、地球、火星以及月亮,它们的理论温度同观测是很一致的。而类木行星和金星的观测结果都高于理论值。金星的观测结果是 700K,远远高于理论估计的温度。类木行星的观测温度,象木星是 150K,土星

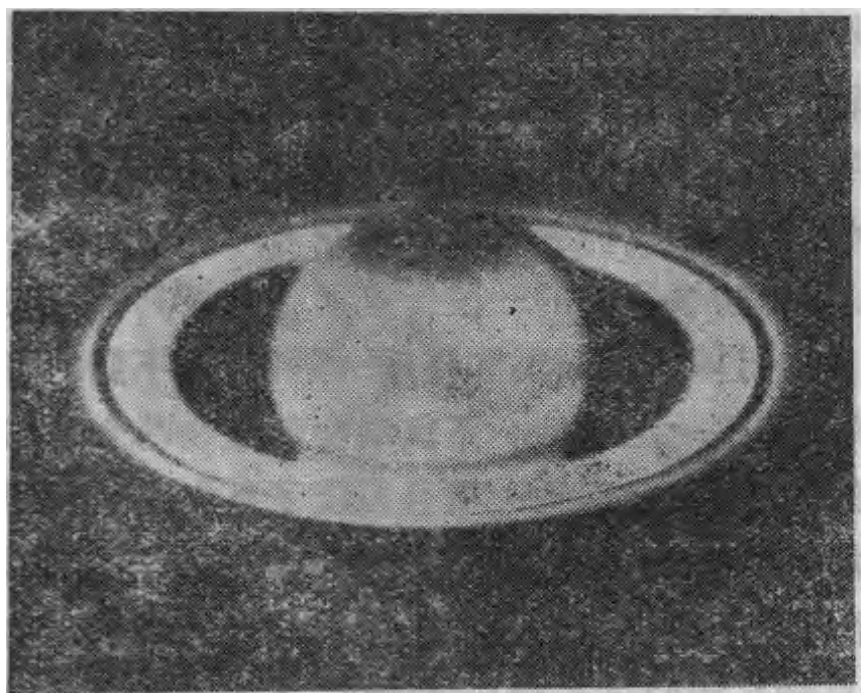


图 6-28 土 星

是 120K，都比理论值高。从目前最好的观测结果来看，木星辐射的能量比它从太阳接收到的能量大两倍，土星、天王星和海王星也大了一些。

金星的观测温度高于理论推算的温度，这是由于金星大气中的浓厚的二氧化碳所起的“温室效应”作用的结果。类木行星没有金星那样的二氧化碳，那么，大的这部分能量当然只能由行星本身产生。也就是说，类木行星是自己发光的。不过它们产生能量的方式同太阳不一样，不可能是热核反应。现在一种普遍的看法认为，类木行星在慢慢收缩，气体分子在从高处向中心收缩的过程中，势能的差值转变成动能，并以热能的形式释放了出来。这就好比打夯，夯从高处落下，势能的差值转变成夯的动能，最后对松散的土块做功，把它们夯实了。

既然类木行星自己也发光，按照老的“行星”、“恒星”的分类法，就应该把它们划到很冷的、模糊的、很小的恒星的一类

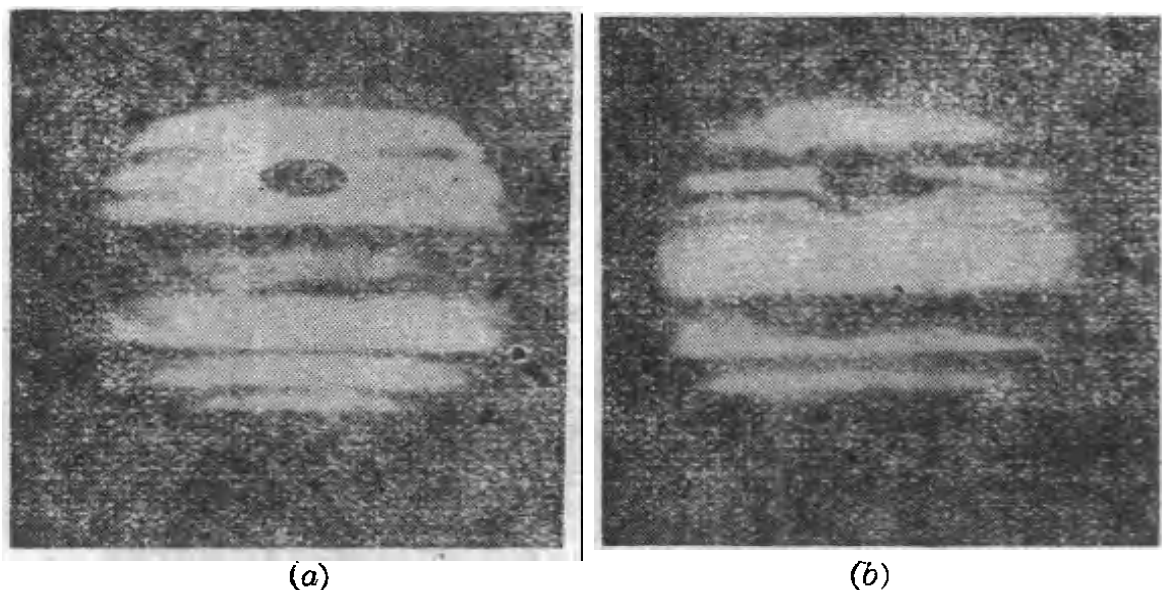


去。可是，它们毕竟又和我们地球以及其他类地行星处在同一种位置上，绕着太阳旋转。把它们称作自己发光的行星，似乎更加恰当一点。然而，恒星也有互相绕转的……

这种情景，使我们想起了恩格斯在《自然辩证法》中对十八世纪以来生物学研究的一段历史所作的极其精采的描述：“这种研究进行得愈是深刻和精确，那种固定不变的有机界的僵硬系统就愈是一触即溃。不仅动物和植物的个别的种日益无可挽救地相互融合起来，而且出现了象文昌鱼和南美肺鱼这样的动物，这种动物嘲笑了以往的一切分类方法；最后，人们遇见了甚至不能说它们是属于植物界还是属于动物界的有机体。”事情在我们这儿也正是这样，一切差异都在中间阶段融合，一切对立都经过中间环节而互相过渡。“行星”同“恒星”之间的鸿沟缩减到了最小的程度。旧的分类法瓦解了。这是辩证法的胜利。

究竟怎样来划分行星同恒星？有的认为行星不产生热核能，但是可以由引力收缩产生热能。而大多数天文工作者认为行星可以产生热核能，只是它们表面发射的能量总小于中心由热核反应产生的能量。按照这种划分法，行星的质量小于0.07太阳质量。不管怎么划分，有一点是共同的——承认某些行星本身有一个产生能量的机构，它们是“发光”的！

长期来，木星、土星等类木行星常常表现出一种使人迷惑不解的特征。它们的温度低到零下一百多度，但是在它们的大气中却存在着猛烈的扰动。图6-29是两张相隔一年多的木星照片。上面椭圆形的大红斑看得十分清楚。这个红斑自从公元1660年发现以来，形状和大小(10000公里×40000公里)没有多大变化，而颜色和亮度却不断地改变，时而彤红，时而苍白，时而又消失了。由于木星的快速自转，形成的亮的暗



**图 6-29 木星云层剧烈变动**

(a) 1964 年 10 月 23 日拍的木星照片,赤道带是暗的

(b) 1966 年 2 月 21 日拍的照片,赤道带是亮的

的云带,也同样经历着急剧的变化。一些红色或者黄色的云块不时“升起”,又很快“沉没”在变幻无穷的云层中。在另一个类木行星土星的云层中也观测到类似的扰动。

这里问题不少。譬如,大红斑是什么?这时“沉”时“浮”的云块又是什么?颜色为什么会变化?等等。而最使人感到困惑的,则是在零下一百多度的低温下,又哪来这么大的能量引起这种迅速而又剧烈的扰动呢?今天,既然发现了类木行星本身在发光,有一个能量的源泉,揭开类木行星的奥秘,也就为期不远了。

## 六、能够看到的虚空

彗星,俗称扫帚星。由于它披头散发的奇特外貌,拖着一条摇曳不定、时长时短的尾巴,发出血红的、金黄的或者灰白色的光芒,突然地“降临”在人们的头上,又神秘地消逝在宇宙

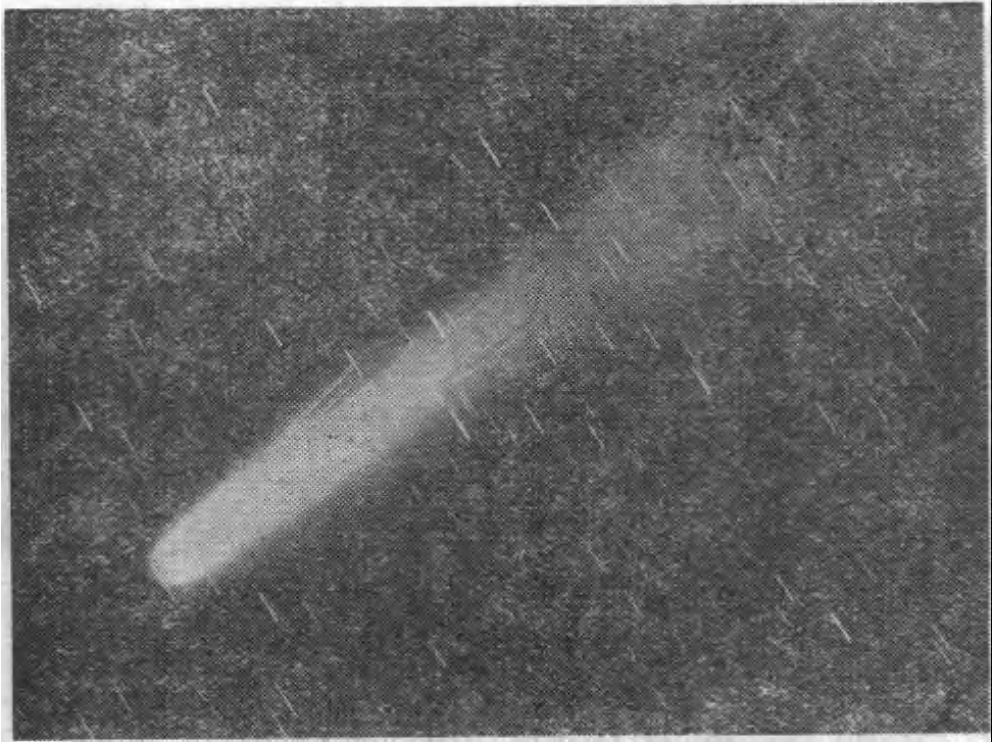


图 6-30 1969 年大彗星。因为彗星有自己的运动，照象的时候需精密瞄准彗头中心密集的一点，才可拍得清晰的照片。视场里的星因在底片上移动，留下拖影

的深处，因而在人们的心目中留下了不可磨灭的印象。在过去一个相当长的时期里，反动统治阶级总是利用这个怪物的出现，给人们造成一种恐惧的心理，以为是神的谴责，灾祸临头的征兆。其实，过去在地球上要找出一个地方赤地千里，饿殍遍野，或者另一个地方瘟疫流行、万户萧疏，来附会上某一种自然现象的出现，实在不是一件困难的事。把世界上一切都说是上天的意志，让群众一切听天由命，正是历来的剥削阶级，为了维持自己的统治所需要的一种社会的职能，或者说是牧师的职能吧。所以，尽管这种反动的天命论不断地受到一些唯物主义思想家的无情的揭露和辛辣的嘲讽，尽管科学的发展早在十八世纪已经证实了彗星其实同行星一样，也在一定的轨道上以一定的周期绕太阳运动，可是，对于彗星的迷信和恐惧却一直象腐尸一样地散发着臭气，



毒害着人们。譬如，1910年5月，一颗著名的哈雷彗星(图6-31)回到太阳附近。根据预测，当它最靠近地球的时候，正好位于地球和太阳之间，相距只有二千四百万公里，而它的尾巴长达二千五百万到三千万公里。因此，彗星的尾巴肯定要扫过地球。当天文工作者带着迫切的心情，期待着观察和研究这件罕见的现象时，社会上却有人乘机掀起了一阵歇斯底里的叫喊：地球将要被彗尾打翻，世界的末日来临了，妄图以此来制造人们思想上的混乱，削弱被压迫人民起来革命的斗志。而教堂和修道院，也同样期待着上帝的最后审判，以便收下有钱的贵族为了赎罪而捐献的丰厚的田产和财物。但是，到了这“最后一天”，当地球正在彗尾当中时，人们既没有看见，也没有觉察到它，我们的地球安然无恙地穿行而去。

哈雷彗星绕太阳运动的周期大约76年。1986年，它将再次回到太阳附近(图6-32)，同我们再见。这颗彗星有记载的最早一次出现在公元前611年。从公元前611年到公元1910年，哈雷彗星有三十一次出现的记录。其中最早的几次都是我国记载的，其精确和详细的程度也为其他国家所不及。这是



图6-31 哈雷彗星。  
右边的亮星是金星

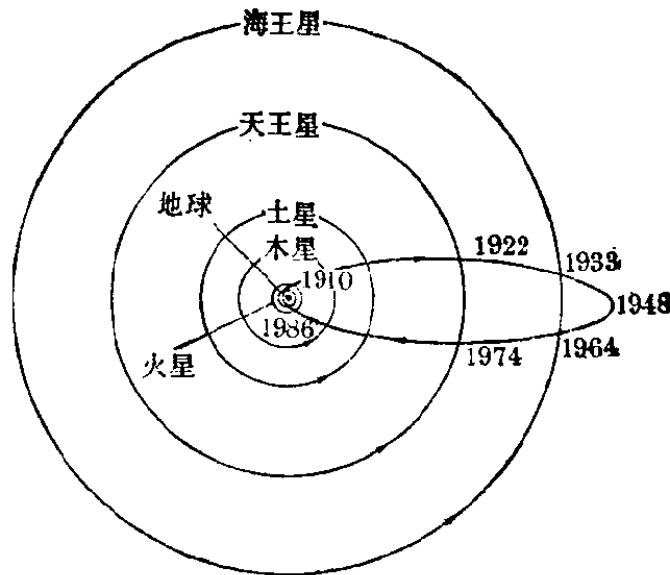


图 6-32 哈雷彗星轨道。作为比较, 图上也画了行星的轨道, 它们几乎是圆形的。哈雷彗星的轨道是一个很扁的椭圆

研究彗星运动的一份宝贵的资料。事实上, 断定彗星同行星一样, 也是在太阳的引力作用下, 以一定的周期绕太阳运动, 就是从这颗彗星的资料研究得出的。

在《晋书·天文志》中有这样一段话:“彗本无光, 反日而为光, 故夕见则东指, 晨见则西指”。它明确地指出了彗星本身不发光, 尾巴永远背着太阳。天上的彗星, 在离开太阳的时候, 是尾巴在前, 头在后, 蹒跚而行。这究竟是怎么回事呢?

彗星在轨道上运动, 并不总是有尾巴的。当它远离太阳的时候, 只是一团似星似云的东西(图 6-34)。从它反射太阳

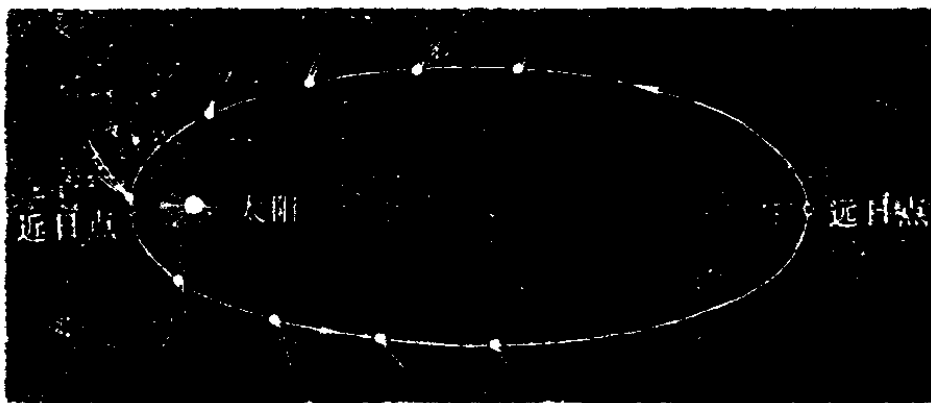


图 6-33 彗星的尾巴总是背向太阳



图 6-34 1956 年彗星。这颗彗星有两个似星似云的核

光的连续光谱,可以知道,这可能是一个固体的核,中间掺杂着不少尘粒以及冻结的水汽、甲烷、氨、二氧化碳等等。当彗星逐渐接近太阳的时候,在组成太阳风的粒子流(电子、质子、轻元素的核等)作用下,冻结的气体开始蒸发,发光,形成了一团包围着彗核的云雾状结构,称作彗发,并被推向背着太阳的方向,有了一条尾巴(图 6-35)。所以,彗星的尾巴总是背着太阳。彗星愈接近太阳,蒸发并被推出的气体就愈多,彗尾就愈大。显然,当彗星慢慢远离太阳时,它的尾巴就不是拖在后面,而是顶在前面,并且愈来愈小了(见图 6-33 及图 6-36)。近年来,大气外的观测还发现了包围着彗发有一个  $10^7$  公里大小的氢云(图 6-37)。彗发的直径可以大到  $10^5$  公里。

如果在彗核中有较多的大小在 0.0001 厘米数量级的尘粒,那么光对尘粒的压力会有效地超过太阳对它们的引力,尘埃就被光压推出,形成一条光滑而弯曲的尾巴。图 6-38 中的两条尾巴,带纤维结构的直的一条是由太阳风造成的,中间都是一些电离的分子,象  $\text{CO}^+$ 、 $\text{N}_2^+$ 、 $\text{CO}_2^+$ 、 $\text{OH}^+$ 、 $\text{OH}^+$  等等。





图 6-35 1943 年彗星。注意它的发和纤细的彗尾



图 6-36 哈雷彗星 1910 年接近太阳时彗尾的变化

其中大部分是电离的一氧化碳( $\text{CO}^+$ ), 所以看起来带蓝色。另一条光滑而弯曲的则是由尘埃被光压推出形成的, 它反射太阳光而带黄色。1744 年, 还曾出现过六条尾的彗星。象这样同时有两条以上尾巴的彗星, 是不多的, 一般只有一条尾巴。当然, 也有象图 6-34 那样, 始终没有尾巴的。

彗尾的长度达到几千万公里, 甚至更长, 里面又充满了各种气体或者尘埃, 地球碰到它怎么会不受影响呢? 十九世纪, 曾经有一个天文学家观测到一颗彗星挡住了一颗恒星。起初, 他把这颗恒星误认做彗星的核。这彗星的头部足足有 50 万公里厚, 可是恒星的亮度并没有因此变暗。从这个现象, 我们可以计算出彗头的密度, 大约是空气密度的  $2 \times 10^{-17}$ 。这

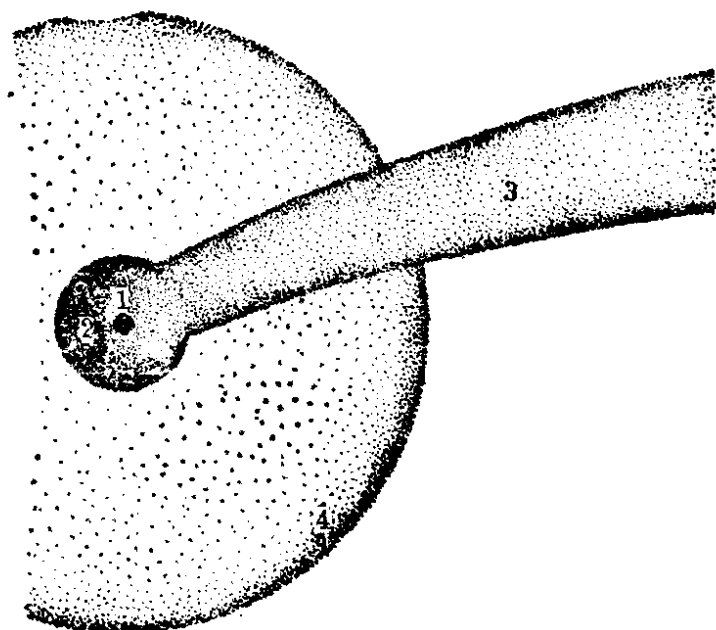


图 6-37 彗星的主要部分

1—彗核；2—彗发可见部分；3—彗尾；4—氢云

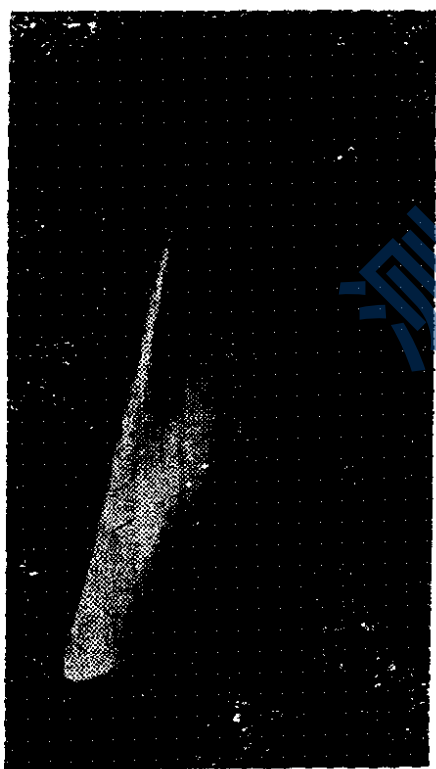


图 6-38 双尾彗

个密度有多大呢？举个例子，为了在反光望远镜的玻璃镜面上镀上一层铝膜，需要把镜子放在一个抽真空的钟罩内，然后让铝箔在真空中蒸发，沉积在镜面上。这个被抽成真空的钟罩内的密度，大约是空气密度的  $10^{-9}$ 。也就是说，我们看见的彗星，尽管它貌似巨大，其实是色厉内荏，空虚得很。比地球上一般的真空还要真空得多。所不同的是，彗星是一个“看得见的虚空”；至于彗尾，当然比彗头还要“真空”，那对地球又谈得上什么影响呢！

如果有那么巧，一颗彗星闯进地球的大气，又会怎么样

呢？我们说，也没有啥。最多只是给我们地球增添一幅光彩夺目的画面，而对人类很少危害。历史上也不止一次地出现过这种情况。1846年，人们在追踪观测一颗彗星时，发生了一件出乎意料的事，这颗彗星分裂成两颗了！它们继续在空间运行，各有自己的核和发，并且慢慢地分离开来。1852年，这对彗星又回来了，但是它们之间已经隔开了二百四十万公里(图6-39)。自那以后，就再也没有见到它们。人们忘记了这对失踪了的彗星，而它们却以一种更加奇特的方式使我们直到现在还不时回忆起它们来。1872年11月27日的晚上，正当地球穿过这颗彗星的轨道时(见图6-40)，天上下了一场名符其实的“流星雨”。一直下了几个钟点。我们的地球碰上了这颗彗星分裂的核的一部分，才出现了流星雨，这是毫无疑问的。有记载的同彗星有联系的流星雨，最早要推《竹书纪

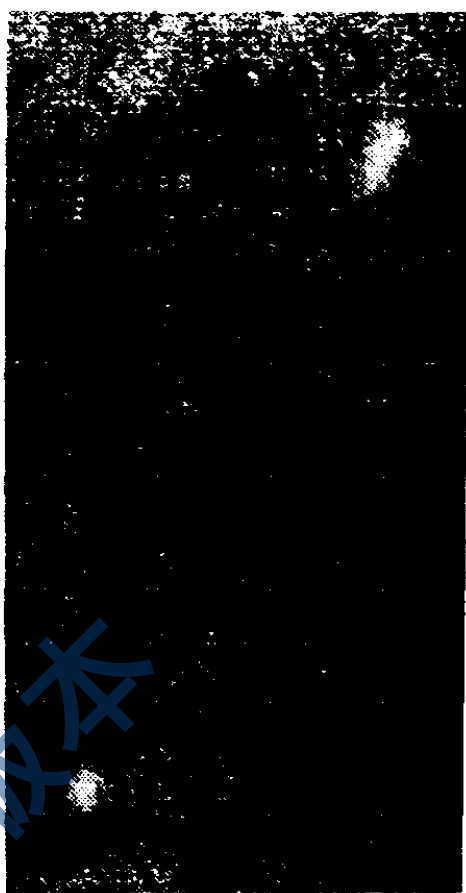


图6-39 彗星分裂

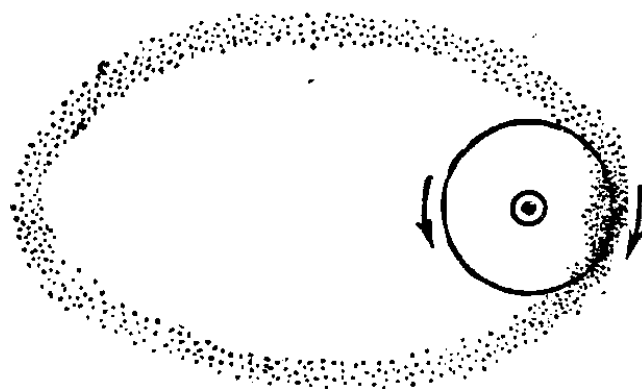


图6-40 流星雨的成因——地球穿过流星群

年»中夏朝末期的一次：“帝癸(即桀)十五年(公元前十六世纪)夜中星陨如雨。”《宋史·天文志》中的一次记载则更加详细：“咸平五年九月丙申(公元1002年10月12日),有星出东方,西南行,大如斗,有声若牛吼,小星数十随之而陨。戊戌(10月14日)又有星数十,入舆鬼,至中台,凡一大星偕小星数十随之。其间两星如升器,一至狼,一至南斗灭。”目前,已知同彗星有联系的流星雨中,比较肯定的有八个,列在表6-4中。

表 6-4 同彗星有联系的流星雨

流 星 雨	出 现 日 期	相 关 的 彗 星
天 琴 流 星 雨	4 月 21 日	1861 年 I 彗星
天 鹰 $\eta$ 流 星 雨	5 月 5 日	哈雷彗星
英 仙 流 星 雨	8 月 12 日	1862 年 III 彗星
雅 科 比 尼 流 星 雨	10 月 9 日	雅 科 比 尼 - 济 内 尔 彗 星
猎 户 流 星 雨	10 月 20 日	哈雷彗星
金 牛 流 星 雨	11 月 7 日	恩克彗星
狮 子 流 星 雨	11 月 15 日	1866 年 I 彗星
比 拉 流 星 雨	11 月 23 日	比拉彗星

除了这种阵雨形式的流星而外,还有一种散兵游勇似的流星,不时划过寂静的夜空(见图3-2)。叫它“星”,实际上一般都是一些很小的尘埃,被地球俘获,在几十公里的高空,燃烧发光,化为灰烬了。少数大的石块,几十公斤,几吨,上万吨的,闯进地球大气,就会象一团火球似的,划破长空,带着啸音,发出隆隆的响声,最后爆炸陨灭了(图6-41)。这种火流星,常常会留下没有燃烧完的石块,掉在地球上,撞出一个大坑(图6-42),同月亮上以及火星、金星、水星上的环形山十分相似,叫作陨星坑。我国新疆北部,就曾经掉下一块很大的陨



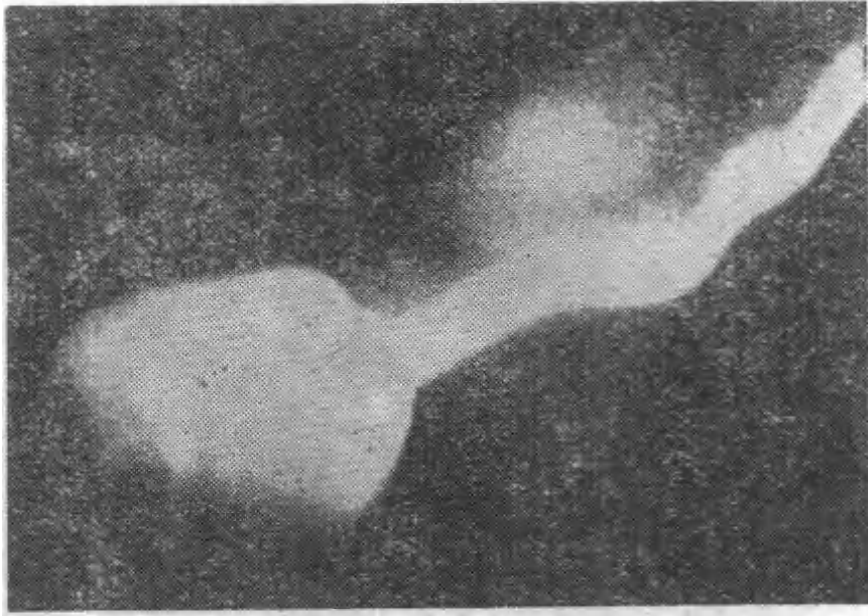


图 6-41 火流星

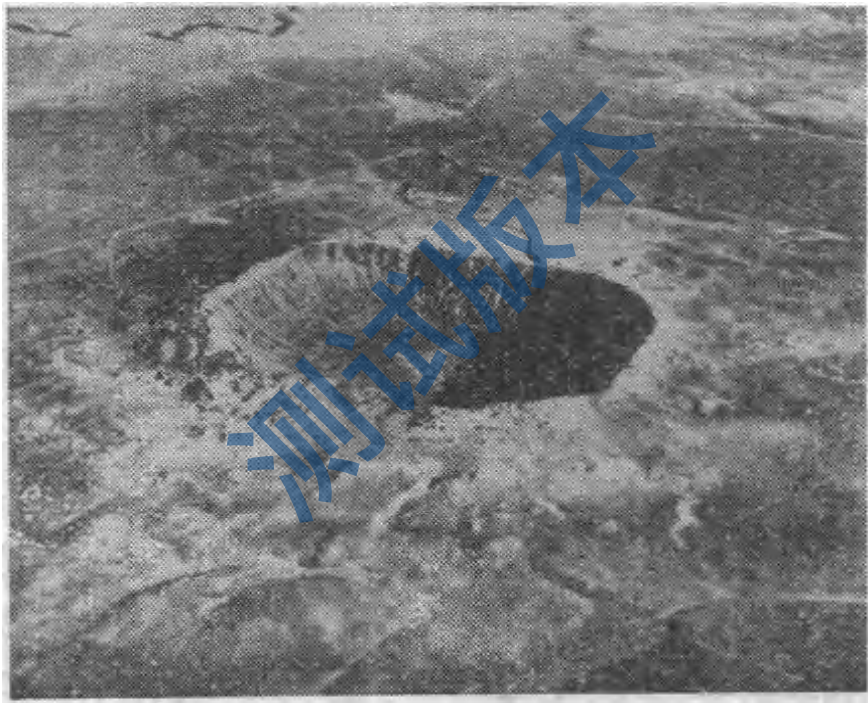


图 6-42 陨星坑

石,它的主要成分是铁,重约 30 吨(图 6-43)。1976 年 3 月 8 日在吉林市郊、永吉县、蛟河县下了一场世界上罕见的陨石雨。这次共收集到大小陨石 100 多块,最大的一块重 1770 公斤,是目前世界上最大的石陨石(图 6-44)。

在火星上的生命一节里,我们提到了陨石中发现的氨基



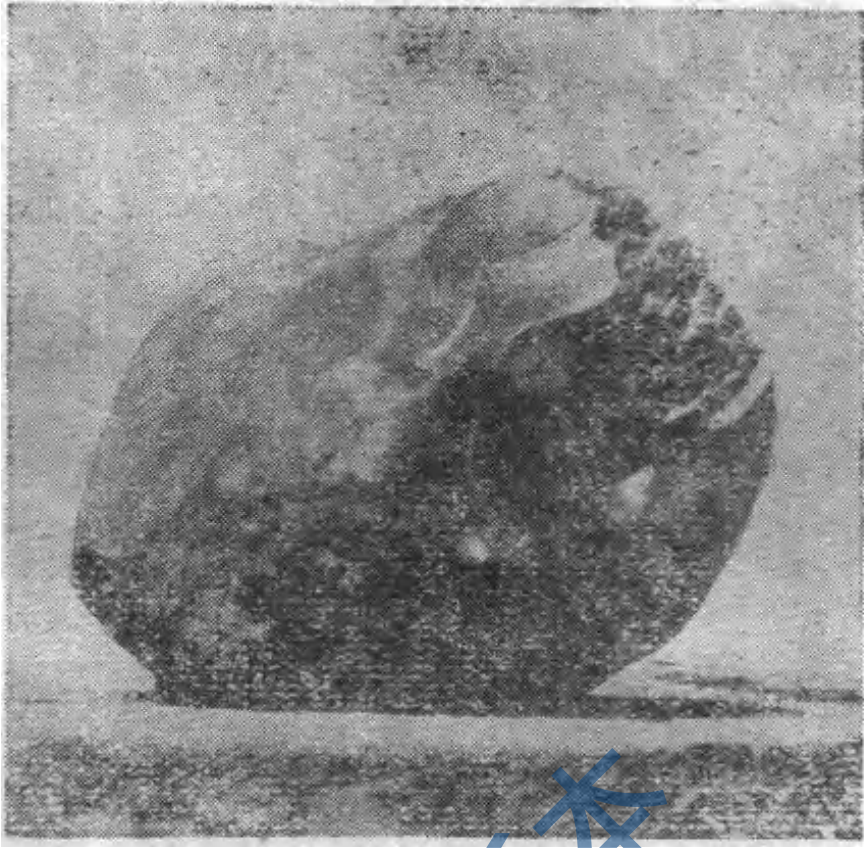


图 6-43 新疆陨铁石

酸之类的有机物,这对研究宇宙中的生命问题,是一个十分宝贵的情报。另外,我们还发现天上的石头同地球上的石头有一个明显的差别:天上石头的化学组成几乎和太阳一样,而地球上至今还没有找到类似的石头。同时,这些石头的年龄也较大,最老的有 45 亿年,甚至更大。地球上目前已知的最老的岩石大约只有 35 亿年。年龄小,并不直接表明地球因此就生成得晚。年龄大,化学组成相近,倒是说明了在它们上面保留了很多在太阳系起源早期的历史资料。如果考虑到象地球这样的大行星上频繁的地质活动,很可能已经磨灭形成了初期的所有痕迹。那么,为了解决太阳系的起源和演化的问题,对陨石以及同它有关联的一些小天体,显然应该给以足够的重视。现在,在这个领域里,呈现出极其复杂的局面。有的认为陨星同彗星有联系,有的认为陨星同小行星有联系。

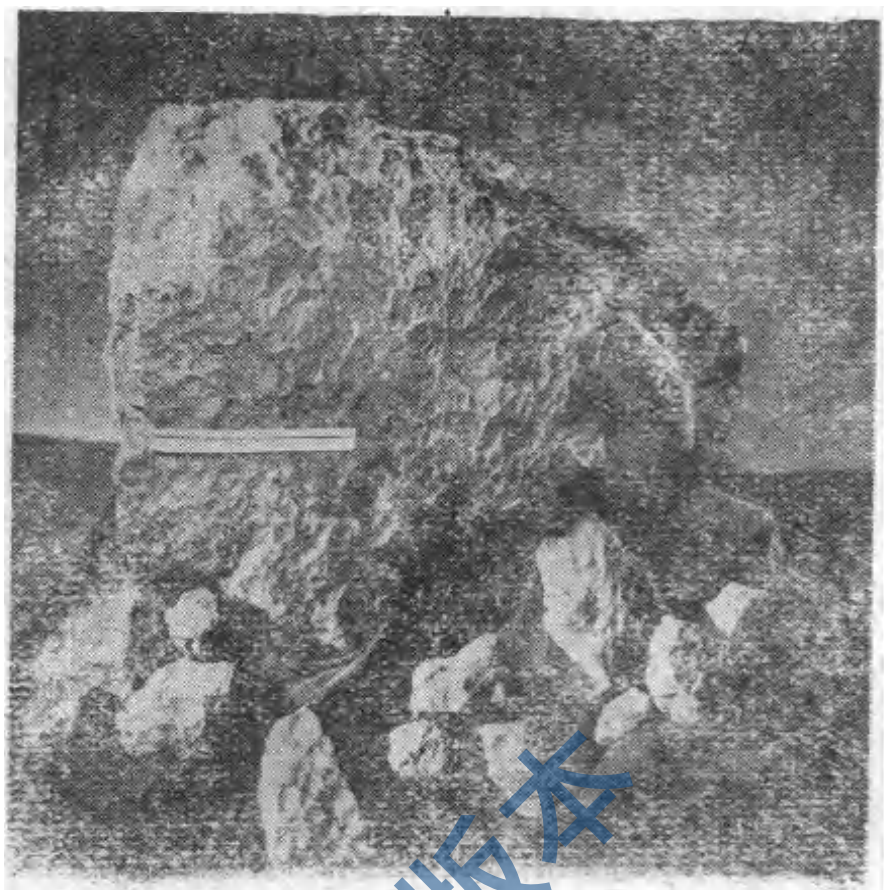


图 6-44 吉林陨石雨中最大的一块石陨石,重 1770 公斤

我们在第一节已经讲过,九大行星在太阳系中的轨道分布有一定的规律<sup>①</sup>,但是这种有规则的分布在火星同木星之间却有一个间断。因此,早在刻卜勒的时代,已经预言过火星同木星之间应该有一颗行星。可是实际上,不是在这个区域发现了一颗“大行星”,而是接连发现了四颗“小”的行星:谷神星、智神星、婚神星、灶神星。最大的一颗谷神星,直径为 770 公里,婚神星小到只有 190 公里直径。后来,又接连不断地发现了许多位于这个区域的“小”的行星,大部分只有几十公里直径,还有几公里,甚至几百米直径的。从个儿来说,无疑是月亮大。不过从太阳家族中的辈份来说,小行星却是同

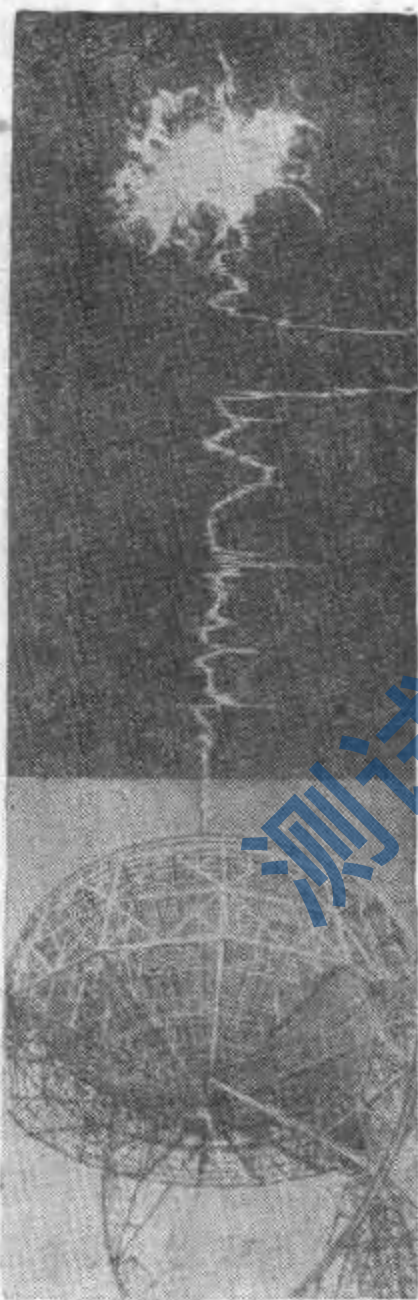
<sup>①</sup> 关于太阳系中行星轨道分布的规律,详见第十章。

我们地球平辈的。或者说，它们至少也是月亮的“表叔”辈。目前已经发现的小行星有一千八百多个，大都在火星和木星之间运动，其中只有不多几个，才常到我们地球这儿来“串门”，在太阳一章中提到的爱神星就是其中的一个。月亮的“表叔”究竟有多少？据估计至少有几万个。至多呢，很难说。

本来预言在火星、木星之间有一颗“大行星”，结果发现了上千个“小行星”。有人就认为这些小行星是一颗大行星瓦解的产物。还有人把小行星同太阳系中的其他小天体联系起来，认为小行星是由彗星变的，也有认为彗星是由小行星演化来的。互相对立的假说，各有自己依据的事实，又各有自己难以解释的现象。回顾一下自然科学发展的历史，就可以看到，对各种相互联系作系统了解的需要，总是一再迫使我们在最后的真理周围造起茂密的假说之林。正如恩格斯说的：“如果要等待构成定律的材料纯粹化起来，那末这就是在此以前要把运用思维的研究停下来，而定律也就永远不会出现。”假说，给下一步的观测指出了方向，进一步的观测资料，又会使这假说取消一些，修正一些……。人类的全部认识，不正是沿着这样一条错综复杂的曲线发展的吗！



# 第七章 恒星世界



测试版本

## 一、打开星辰世界的大门

1543年，哥白尼创立了日心说，地心说面临着“无可奈何花落去”的局面。可是，任何新生事物的成长都是要经过艰难曲折的。在上一章，我们叙述了经历三百年的漫长岁月，日心说才取得胜利。在这场斗争中，地心说节节败退，最后还剩下了一道“护身符”：在那时没有发现恒星的视差位移。

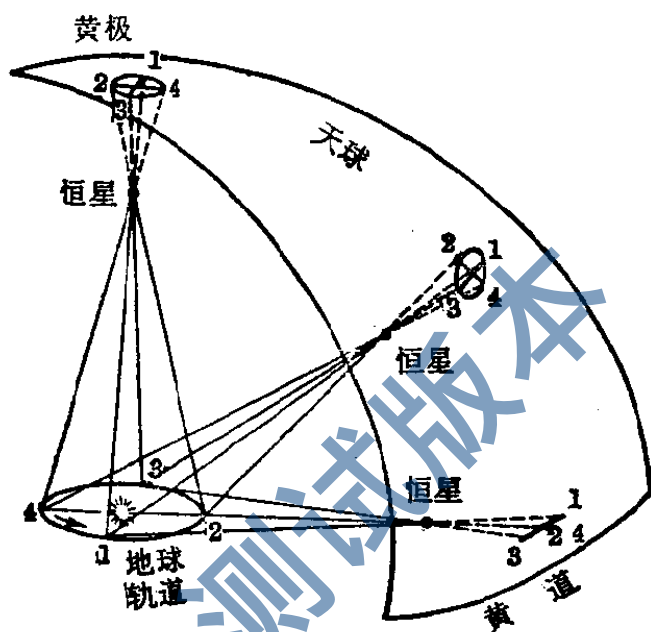


图 7-1 地球绕太阳旋转，引起恒星的视差位移

既然地球绕太阳转动，从地球上看来恒星应该以一年为周期打圈圈，在垂直于地球公转轨道平面上(黄极)的恒星打的圈最圆，离垂直方向愈远的星，圈愈扁，在地球轨道平面的延伸方向，位于黄道上的恒星，圈退化成直线(图 7-1)。圈的角半径就是从恒星看地球轨道半径的张角，这个角度叫做恒星的视差，记为  $\pi$ (图 7-2)。它同恒星到太阳的距离  $d$ 、地球轨道半径  $a$  之间有如下的关系：

本章题头图：接收蟹状星云的无线电波。

$$\sin \pi = \frac{a}{d}$$

恒星愈远, 视差愈小。

地心说的这道护身符确实头头是道。哥白尼、伽利略以及尔后的一些天文学家深深地明白, 不解开这个疙瘩, 就不能最后战胜地心说, 同时, 恒星距离的数据对于认识恒星世界是绝对必需的, 乃是打开星辰世界大门的钥匙。他们严肃认真地对待这个问题, 为测出恒星的视差而奋斗。那时, 他们测量的方法, 和测量月亮距离的三角法原理相同, 但选

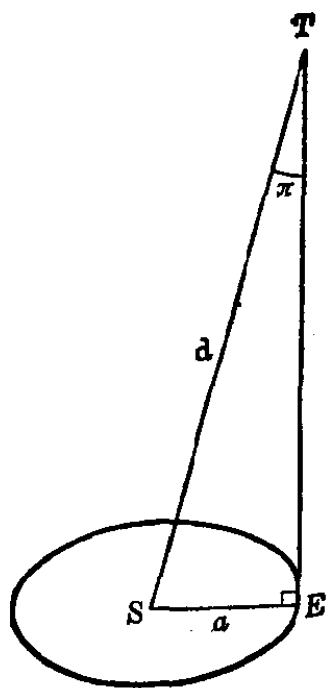


图 7-2 恒星的视差

取了一条地球上的居民所能选择的最长的基线, 即地球公转轨道的直径。在相隔半年的时刻, 利用地球绕日运动把人们从轨道直径的一端带到另一端的机会, 观测恒星位置的变化(见图 6-14)。光阴荏苒, 年复一年, 敲击着星辰世界大门的天文学家却一次又一次地尝到了“闭门羹”。难道说地球果真不动吗? 恒星果真是镶嵌在水晶球上的吗? 坚信日心说的天文学家并不理会这些, 他们把自己的失败归结为恒星太遥远, 视差太小, 观测精度还达不到。他们继续努力。在改进天文望远镜以及望远镜上附属仪器的基础上, 终于在十九世纪三十年代后期, 有三个天文学家分别测出了织女星(天琴座  $\alpha$ )、天鹅座 61 星和南门二(半人马座  $\alpha$ ) 的视差值:

星 名	最初测定的视差值 (角秒)	近代测定的数据 (角秒)	距 离 (秒差距)
织 女	0.26	0.12	8.3
天鹅座 61	0.31	0.29	3.4
南 门 二	1.16	0.75	1.3



虽然织女星和南门二当时测定的视差数据和近代精确测量的数据相比出入较大，但只要想一想其难度相当于测量二十公里之外的一枚硬币的角半径，便不会加以挑剔了。恒星视差的测定无疑是十九世纪天文学的最大成就之一，整个天文界欢欣鼓舞，阻碍人们探求恒星世界的大门已被突破，地心说的最后一道护身符终究顽而不固，化为乌有。

人们惊讶恒星距离之巨大，最近的恒星南门二距离为日地距离的 27 万倍，天狼星距离为 56 万天文单位，北极星为 4900 万天文单位。

在恒星世界，用天文单位的“尺子”来量度距离还嫌太小，天文工作者采用了更大的“尺子”：光年和秒差距。光年是每秒跑 30 万公里的光 1 年经过的距离（1 光年 = 63240 天文单位 =  $9.46 \times 10^{12}$  公里）。

光年这个距离单位不仅容易理解，还使人们便于联系历史去想象。譬如，织女星的距离是 26 光年，在第四届全国人民代表大会胜利召开的 1975 年，我们看到的是织女星的星光乃是在我们伟大的社会主义祖国诞生的那年发出的。

秒差距是相应于视差  $1''$  的距离，即在离太阳 1 秒差距的地方看地球轨道半径的张角等于 1 角秒。由于

$$\sin 1'' = \frac{1}{206265}$$

从联系视差和距离的式子得：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 秒差距} &= 206265 \text{ 天文单位} = 3.26 \text{ 光年} \\ &= 3.09 \times 10^{13} \text{ 公里} \end{aligned}$$

恒星的视差都是非常小的角度， $\sin \pi$  可以表示成  $\frac{\pi''}{206265}$ 。

如果距离  $d$  以秒差距为单位，则

$$\frac{\pi''}{206265} = \frac{1}{d}$$

$$\pi'' = \frac{1}{d(\text{秒差距})}$$

视差的角秒值和距离的秒差距值互为倒数。因此，用秒差距这把“尺子”是很方便的。

恒星世界犹如一个万花筒，丰富多彩，我们将逐步把它揭开。先提一点：在恒星世界中，两颗在引力作用下互相绕转的双星以及好几颗聚集在一起互相绕转的聚星是司空见惯的，它们的总数同象太阳那样的“单星”（不算行星）不相上下。离太阳最近的南门二肉眼看来是一颗星，但望远镜把它分解成三颗。其中两颗很亮，相距 $18''$ ，以80年的周期互相绕转。1913年，在角距约2度以外的地方发现了另一颗暗万倍的星，它在一个巨大的轨道上以几十万年的周期绕两颗亮星转动。这颗暗星现在的位置比它的两个伙伴更靠近太阳，视差为 $0''.762$ ，是太空中最靠近太阳的恒星，因而获得了“比邻星”的名字。比邻星发出的光要经过4.3年才能射入我们的眼帘。

地球轨道的直径实在是一条很短的基线，用三角法测量恒星距离受到很大限制，只有对距离近的星才行之有效。用这种方法大约测定了6000个星的视差，其中20秒差距之内的大约700个星测量精度较高。距离超过50秒差距，即视差小于 $1/50$ 角秒，三角法的测量误差同视差本身的数值差不多，已不可靠了。

为了探求更远的恒星，必须另想办法。我们不一一介绍，而只讲一种很重要的方法，它建立在估计星的真亮度的基础上。星的真亮度称为光度，表示星每秒钟辐射的能量，它代表

了星的发光本领。而我们看到的星的亮度是视亮度。星有明有暗,亮星未必一定比暗星的发光本领强,因为里面包含着距离的因素。我们知道,一个光源的视亮度是和到观测者的距离的平方成反比的。星的视亮度可以用照相底片和光电管测得,如果知道星的距离,就可换算出星的光度;反之,如果能用某种办法估计星的光度,距离的数据便迎刃而解了。为此,我们话分两头说,先来谈谈星的亮度问题。

和物理学上亮度的系统不同,天文学上表示星的亮度,由于历史的传统,形成了一套独特的“星等”系统。两千年前,希腊天文学家喜帕恰斯把肉眼可见的星按亮度分成六等,最亮的一些星称为1等星,肉眼刚能看出的星为6等星,其他的星按视亮度内插。星愈亮,星等愈小。后人沿用了这套星等系统,并经过仪器的检验加以精密化,规定星等相差5等,亮度相差100倍。因此,星等增加1等,亮度变暗 $100^{1/5}=2.512$ 倍。望远镜和照相术发明后,星等扩展到更暗的星。现在用最大的望远镜经长时间露光能拍摄到暗达23等的星。喜帕恰斯凭肉眼错误地判断了一些亮星的星等,在经过精密化的星等系统中,有几颗亮星比1等星更亮。为了避免大规模的修改以往的星表,便向零等、负的星等扩充。例如,全天最亮的恒星——天狼星的星等是 $-1.45$ ,它的视亮度比23等星亮 $(2.512)^{23-(-1.45)}=6\times 10^9$ 倍。金星最亮时达 $-4.22$ 等,满月是 $-12.73$ 等,太阳是 $-26.82$ 等。

上述的星等是和星的视亮度相关联的,称为视星等。为了表示星的真亮度,必须把星统统“移到”相同的距离处,才能对星的真亮度比出个高低来。天文上比真亮度的标准距离规定为10秒差距。一颗星“移到”标准距离处具有的视星等叫做“绝对星等”。由于消除了距离的因素,绝对星等是仅同星

的光度关联着的。既然一个真实距离为  $r$  (以秒差距为单位) 的星视星等是  $m$ , “移到” 10 秒差距处视星等变成  $M$  (绝对星等的符号), 按照星等的定义和视亮度同距离的平方成反比的规律, 应有:

$$(2.512)^{m-M} = \frac{r^2}{10^2}$$

两边取对数, 便得联系  $M$ 、 $m$  和  $r$  的式子:

$$M = m + 5 - 5 \log r$$

太阳的距离  $r = \frac{1}{206265}$  秒差距, 由上式算出绝对星等为 4.75。就是说把太阳“移到” 10 秒差距处, 太阳是一颗肉眼尚能看到的较暗的星。太阳的光度, 如在第五章叙述过的, 已通过太阳常数的测量而精确知道。天文上常以太阳的光度作为衡量恒星光度的单位。如果知道一颗星的绝对星等, 它的光度等于太阳光度的多少倍就可以从星等的定义算出来。在恒星世界, 星的光度相差非常悬殊, 光度最大和最小的两个极端大约分别为太阳光度的 1 百万倍和 1 百万分之一。

我们将全天最明亮的 20 颗星列成表, 给出视星等、绝对星等、距离和光谱型<sup>①</sup>。这些星在星空中是极为引人注目的。

现在, 我们再回到估计星的光度定距离的问题上来。如何估计星的光度呢? 对不同的对象有不同的方法, 其中极为重要的是“造父变星”。大部分恒星, 象我们的太阳, 在可见光波段亮度是不变的。但有少数恒星亮度在变化, 称为“变星”。变星种类繁多, 五花八门。有的光变有严格的周期, 周期短的只有几小时, 长的逾年; 有的光变不规则。光变的幅度差别很大。按照光变的原因, 变星可以归纳成三大类。一类是食变

<sup>①</sup> 关于光谱型见下一节。

表 7-1 二十颗最明亮的星

星 名	视星等	绝对星等	距 离 (秒差距)	光 谱 型
大犬座 $\alpha$ (天狼)	-1.45	1.41	2.7	A1
船底座 $\alpha$ (老人)	-0.73	-4.7	60	F0
半人马座 $\alpha$ (南门二)	-0.1	4.3	1.33	G2
牧夫座 $\alpha$ (大角)	-0.06	-0.2	11	K2
天琴座 $\alpha$ (织女)	0.04	0.5	8.1	A0
御夫座 $\alpha$ (五车二)	0.08	-0.6	14	G8
猎户座 $\beta$ (参宿七)	0.11	-7.0	250	B8
小犬座 $\alpha$ (南河三)	0.35	2.65	3.5	F5
波江座 $\alpha$ (水委一)	0.48	-2.2	39	B5
半人马座 $\beta$ (马腹一)	0.60	-5.0	120	B1
天鹰座 $\alpha$ (河鼓二)	0.77	2.3	5.0	A7
猎户座 $\alpha$ (参宿四)	0.8	-6	200	M2
金牛座 $\alpha$ (毕宿五)	0.85	-0.7	21	K5
南十字座 $\alpha$	0.9	-3.5	80	B2
室女座 $\alpha$ (角宿一)	0.96	-3.4	80	B1
天蝎座 $\alpha$ (心宿二)	1.0	-4.7	130	M1
双子座 $\beta$ (北河三)	1.15	0.95	11	K0
南鱼座 $\alpha$ (北落师门)	1.16	1.9	7.0	A3
天鹅座 $\alpha$ (天津四)	1.25	-7.3	500	A2
南十字座 $\beta$	1.26	-4.7	150	B0

星, 它们实际上是双星, 也称为交食双星。两颗星在引力作用下互相绕转, 从地球上有时会发生掩食的现象, 即一颗星把另一颗星全部或部分遮住, 亮度就发生变化。第二类是脉动变星, 星体周期性地膨胀和收缩, 好象一只气球在交替地充气 and 放气。第三类是爆发变星, 后面要谈的新星、超新星属于这一类。迄今天文工作者编入星表内的变星有 2 万 2 千余颗, 其中食变星占 20%, 脉动变星占 67%, 爆发变星占 8%, 其余的尚待分类。





图 7-3 造父变星的脉动

造父变星是脉动变星的一种。“造父”这个名称听起来怪。原来这种变星的典型是仙王座  $\delta$  星,我国古时候叫它“造父一”,因而和这颗星同类型的变星获得了造父变星的称号。仙王座  $\delta$  星的视星等变化于 3.6 和 4.3 之间,肉眼可见,星等改变 0.7 等,亮度的变幅将近 2 倍;它的光变很有规律,周期 5 天 8 小时 46 分 38 秒。随着亮度的变化,造父变星光谱中的谱线作周期性的位移,在平均位置的左右摆动。天文工作者分析这种现象,认为星体在脉动,由于多普勒效应,星球表面向着观测者的部分周期性地接近和后退,引起了谱线的紫移(谱线向紫外光波段方向移动)和红移(谱线向红外光波段方向移动)。造父变星的光变周期就是星体的脉动周期,从最短的 1 天到最长的超过 50 天。理论和观测都表明:脉动变星的脉动周期同星体平均密度的平方根成反比,平均密度愈大,脉动周期愈短。换句话说,脉动变星中星体结实的比虚胖的脉动得快。1912 年,有一个天文工作者分析了小麦哲伦云<sup>①</sup>内的一些造父变星,把这些星的光变周期从短到长排起来,发现它们的视亮度竟也从小到大依次排列。在以周期为横座标,视星等为纵座标的图上,构成了一条直线。小麦哲伦云系位于银河系之外的河外星系,它离我们的距离比它本身的直径大得多,以至可以认为它里面的造父变星的距离是等同的。根据前面  $M = m + 5 - 5 \log r$  这个式子,既然  $r$  是固定的, $M$  和  $m$

① 关于小麦哲伦云见第九章。



之间只差一个常数( $5 - 5 \log r$ ), 因而视星等和周期的关系实际上反映了光度(绝对星等)和周期的关系。欲从前一关系化成后一关系, 校准一下“零点”就行。这好比一只零点不对的磅秤, 磅秤上空无一物时, 指标不是指着零, 譬如说指着 10 斤, 我们只要知道这点, 在秤东西时扣除 10 斤就可, 这只磅秤照用不误。但如果零点不知道, 那末这只磅秤就不能用。原则上只要定出一颗造父变星的距离, 即定出一颗造父变星的绝对星等, 就决定了零点。可是造父变星没有一颗距太阳较近能用三角法测出视差, 天文工作者是用一种统计的方法来解决这个问题的, 这点我们不叙述了。图 7-4 表示造父变星光变周期和绝对星等(即光度)之间的关系, 简称周光关系。

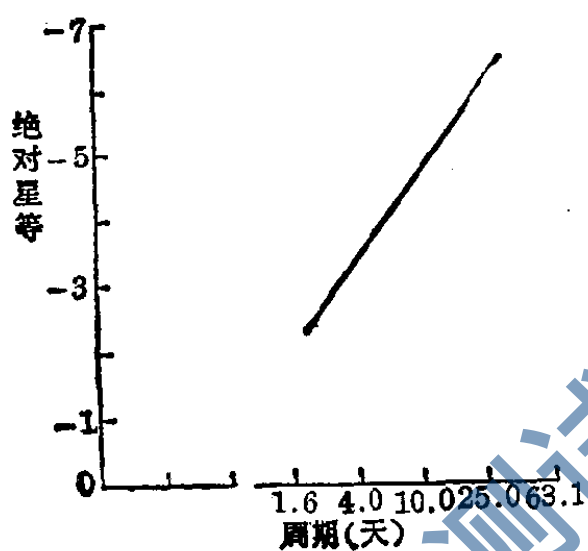


图 7-4 造父变星的周光关系

周光关系一经确立, 便发挥了巨大的威力。一个距离不明的造父变星, 光变周期和视星等容易由观测定出, 利用周光关系查得绝对星等, 距离的数据立即获得。造父变星都是光度大的星, 从太阳光度的几百倍至几万倍, 周期愈长的光度愈大, 因而在很远的地方, 甚至一些河外星系内的造父变星也能观测到。它们好象是太空中孤岛上特殊的灯塔, 以变幻着的光芒为讯号向天文工作者暗示孤岛的距离。由于造父变星对天文测距的贡献, 人们喜欢称它们为“量天尺”。

天琴 RR 型变星是另一类脉动变星。这类脉动变星光变周期大约从 1.5 小时至略长于 1 天, 它们是快速脉动着的星

球。天琴座 RR 这颗变星是它们中最亮的一个。天文工作者发现这类变星的光度差别很小，绝对星等在 0 和 1.2 的范围内，平均 0.6，光度相当于太阳的 50 倍。因而天琴 RR 型变星也是一种能通过亮度决定距离的天体。

从恒星距离的数据不仅获得了恒星世界广度的概念，而且有关恒星的光度、半径、质量、运动等数据的测定都离不开距离，因此距离的测定实在很关键。让我们通过已打开着的大门看一下太阳系以外的各种世界吧。

## 二、揭示恒星身世的密码

一缕淡淡的星光看起来多么微不足道，然而它却是人们认识宇宙的“桥梁”。星光虽弱，却包含着丰富的内容，它隐藏着星球向外界倾诉自己的“身世”的密码。人类在一百多年前才揭示了星光的奥秘，开始侦破了星球的“密码”。那是人们在发现了恒星视差，打开了恒星世界大门之后二十年的事，光谱分析创立了。星光原来并不如肉眼感觉的那样晶莹纯洁，它由各种波长的单色光混杂而成。这种混合的光将许多真事隐去。当星光经过摄谱仪后，单色光依照波长次序被分解开了，排列成一条光谱。星球的“密码”就寄寓于光谱中各种单色光的相对强度以及由各类原子产生的谱线之中。科学工作者通过大量的科学实践，实验和理论相结合，总结出了一套“翻译”星球“密码”的方法，这便是光谱分析的方法或称分光方法。这套方法在天文上所起的作用，我们在讲述太阳时已在“光谱带来的消息”一节中作过一番描述，以后仍将继续看到它的重要作用。

天文工作者在获取太阳光谱时，利用阳光强的特点，制造

大色散的摄谱仪,把太阳光展开成几米长的光谱,以便仔细研究。星光和阳光相比,暗弱到难以形容的程度。在获取恒星光谱时,人们就不能象对待太阳那样大手大脚,必需珍惜星光的点点滴滴。如果也把它展成几米长的光谱,那么在照相底片上将什么也看不到。因为本来就很可怜的一点儿光,被分散在那么长的带上,试问还能使底片感光吗?因此,恒星摄谱仪的色散程度比太阳摄谱仪小得多。一条恒星的光谱一般长几厘米至几十厘米。为了拍摄一条恒星光谱,天文工作者往往彻夜不眠,操纵着望远镜,经几小时的曝光才能获得。对于特别暗的星,有时甚至整夜曝光还不够,第二天夜晚仍将望远镜瞄准同一颗星,让底片继续曝光。凭借短短的光谱,天文工作者获得了恒星世界的丰富知识。

极大多数恒星的光谱是连续光谱和吸收线光谱的重迭,

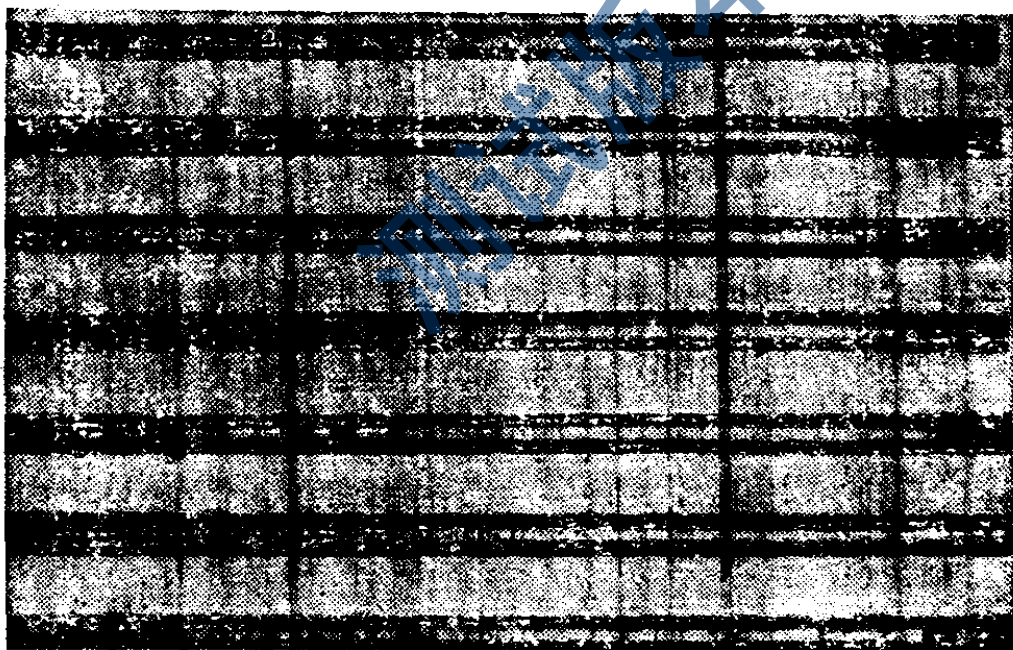


图 7-5 几颗恒星(从上到下依次为仙王  $\lambda$ , O6 型; 御夫  $\eta$ , B3 型; 天鹅  $\delta$ , A0 型; 仙后  $\beta$ , F2 型; 飞马  $\eta$ , G2 型; 天龙  $\gamma$ , K5 型; 武仙  $\alpha$ , M5 型)的光谱,它们属于不同的光谱型。每条光谱上下两排的明线是为了证认谱线而在实验室中拍摄的比较光谱

少数恒星的光谱中还有发射线。天文工作者已拍下了几十万颗星的光谱，发现恒星的光谱可以按照谱线的种类和强度归纳成数目不多的几种。好比全世界虽有人口几十亿，但血型一般只有四种。每种光谱型用一个拉丁字母表示，它们是：O、B、A、F、G、K、M、R、N和S。图7-5中列出了几颗属于不同光谱型的恒星的光谱。只要仔细地看一下谱线的分布和强度各不相同的这些光谱，你便会得到确实存在着不同的光谱型的印象。下面我们列举了每种光谱型的最主要的特征。

**O型：**有电离氢的谱线，氢线微弱。

**B型：**中性氢的谱线出现，氢线增强。

**A型：**氢线特强，电离钙的两条谱线（波长3968埃和3934埃）较弱。

**F型：**氢线减弱，电离钙线及其他金属线增强。

**G型：**电离钙线很强，氢线较弱，金属线强。

**K型：**电离钙线特强，其他金属线也很强，氢线很弱，出现了分子CH和CN的吸收带<sup>①</sup>。

**M型：**氧化钛(TiO)分子带很强。

**R、N和S型：**系K、M型的变种。R和N型没有TiO的分子带，但有碳分子(C<sub>2</sub>)和氰(CN)的吸收带。在S型中出现氧化锆(ZrO)的吸收带。

这样的恒星光谱分类包含着什么意义呢？起初，人们是不知其所以然的，以为各种光谱型的区别是由恒星上元素的相对含量不同造成的，光谱中氢线很强的星主要由氢组成；铁线占主要的星，铁蕴藏量丰富。后来，研究了温度和压力对原

<sup>①</sup> 分子的能级结构复杂，谱线成带状。



子电离的影响之后，上述的臆想被推翻了。在一颗星的光谱中有一系列中性铁原子的吸收线，而另一颗星不存在同样的谱线，这并不表示后者缺铁，而是表示后者温度可能比前者高，中性的铁原子已一次电离，成了铁离子，而离子有其特有的不同于中性原子的谱线。恒星大气中化学成分的差异，以及其他的因素如压力、磁场的不同，固然会引起光谱的变化，但温度通常是决定光谱总貌的主要因素。

恒星具有不同的颜色：O型星呈蓝色，A型星呈白色，G型星是黄星，M型星是红星。这已给了我们启示，恒星的表面温度差异甚大。原来，一个因具有一定的温度而发光的物体，它发出的光其强度在不同波长处是不同的。以波长为横座标、强度作纵座标，绘图，就得一条辐射强度随波长分布的曲线，该曲线有一相应于强度极大的顶峰。物理上有一条规律：对于完全不透明的物体，物体的温度和辐射强度曲线顶峰对应的波长成反比关系。于是，温度较低的恒星，它发出的光主要成分是红光，星就呈红色；温度较高的星，便呈白色、蓝色。因此，按照这条规律，只要获得了一颗星的辐射强度曲线，求出与极大的辐射强度对应的波长，便可推算出该星的表面温度。这是求恒星表面温度的一种方法。天文工作者后来搞清楚，上述的光谱型序列实质上是温度的序列，从O型到M型，温度在递减，见表7-2。每种光谱型的温度实际上有一定的范围，例如G型星，温度高的约6000K，低的约5000K，表中列出的是平均值。温度的范围引起了同一光谱型恒星的光谱中细节的差异。于是，每种光谱型又分成一些次型，如B0、B1、B2……B9，B0星比B1星热些，B9星比它后面的A0星热些。属于B、A、F、G、K和M型的恒星占99%以上，其他光谱型的恒星极少。太阳是一颗G2型星。

表 7-2 光谱型和表面温度的关系

光 谱 型	表面温度 (K)	光 谱 型	表面温度 (K)
O	40000	K	4000
B	15000	M	3000
A	8500	R	} 3000
F	6600	N	
G	5500	S	

根据光谱型序列的温度变化以及各类原子的能级结构便能解释各种光谱型的特征。譬如,在O型星的大气中,温度很高,极大多数的氢原子已电离,剥掉了仅有的一个电子,尽管氢是最丰富的元素,由氢原子产生的谱线是很弱的。氦原子是一种很难电离的原子,只有在O型星的高温环境中,很多氦原子才能失去一个电子,因而电离氦线在O型星光谱中才出头露面,在其他光谱型中销声匿迹。分子是很容易离解的,只有在诸如K、M型那样的低温恒星中存在,在温度较高的光谱型中不会出现分子吸收带。

对各类光谱型恒星作了大量的光谱分析后,我们可以得出结论:大多数恒星,包括太阳在内,化学成分差别不大;只有少数恒星化学成分较特殊,例如R和N型星碳特多,有碳星之称。

我们已经知道了恒星的光度和表面温度是如何确定的。如果以绝对星等(或光度)为纵座标,光谱型(或表面温度)为横座标作图,每一颗恒星在图上就有相应的一点。这样的图首先由赫兹普隆和罗素两人绘制,在天文学上称作“赫罗图”。恒星在赫罗图上不是均匀地散布,而是集中在几条带上(图7-6)。90%的星落在从左上至右下的“主星序”上,位于主星序上的星称为主序星。落在图右上方的星光度很大,它们是



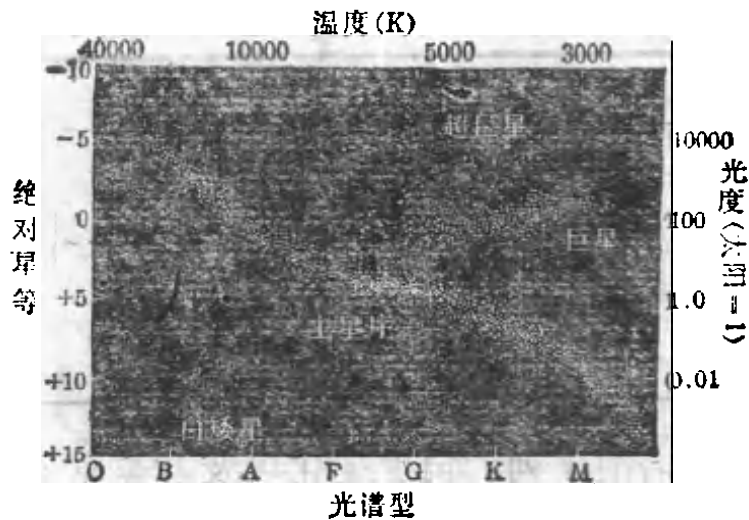


图 7-6 赫 罗 图

“巨星”和“超巨星”，左下角有光度很小的“白矮星”。赫罗图在恒星演化的研究上占有重要的地位，我们放在最后一章谈。在赫罗图绘制的早期，曾认为 O、B……M 的光谱型序列代表恒星演化的序列，从 O 型演变到 M 型，因而称 O、B、A 型星为“早型星”，称 K、M 型星为“晚型星”。后来知道，这样的称呼并不妥当，但“早型”“晚型”已习惯地沿用了下来，成了天文学上常用的没有严格科学意义的术语。

恒星的表面温度决定了恒星表面每平方厘米面积辐射能量的多寡。属于同类光谱型的主序星和巨星，表面温度相同，光度却相差悬殊，例如 M 型巨星比 M 型主序星亮 10 个星等，M 型超巨星光度还要大百倍。而表面温度相当高、呈白色的白矮星却非常暗弱。究竟是怎么回事呢？这只能是恒星大小相差非常悬殊的结果。巨星体积庞大，虽然表面温度不高，但整个星面辐射出的能量巨大，它们是恒星世界的巨人。矮星体积很小，是恒星世界的侏儒。恒星的光度、表面温度和半径不是互相独立的三个量，其中任何两个量可以决定第三个量。对于太阳，由于半径能从已精确测定的角半径和距离的数据

推出,我们曾以太阳的光度和半径推算表面温度。对于恒星,我们可以反过来由光度和表面温度推算半径。恒星半径的范围通常从太阳半径的1/10至几百倍。参宿四(猎户座 $\alpha$ )是一颗红色的超巨星,半径约为800个太阳半径,如果把它放在太阳的位置上,星体可伸展到火星轨道之外(图7-7)。还有比这更大的,例如剑鱼座S和仙王座VV,半径估计为太阳半径的一千多倍。作为另一个极端,恒星世界中的超级矮子——白矮星和中子星,我们将在下面谈到。

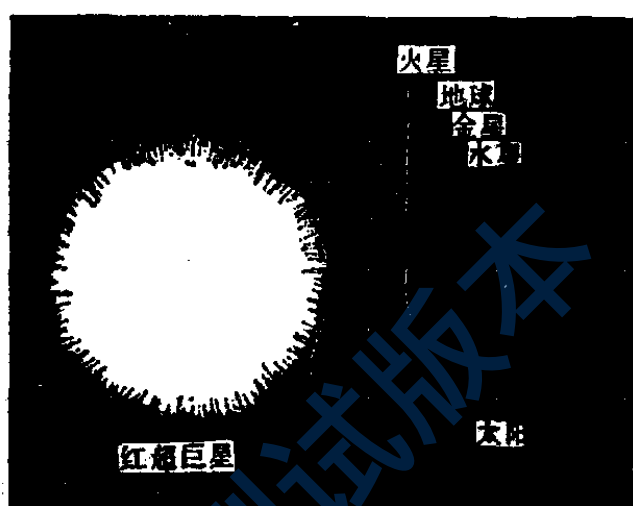


图7-7 红超巨星、太阳和四个类地行星轨道大小的比较

### 三、从天狼伴星谈起

不少重大的发现,往往是从一些小的“偏差”开始的。

公元八世纪,我国唐朝的天文学家一行把他的观测同古时候的记录对照,发现星星的位置改变了。一千多年后,十八世纪,英国的哈雷也独立地看到了同样的现象。原来,所谓不动的、不变的“恒星”,叫错了。天上的星星是在运动的、变化的。

1834年,有一个天文学家注意到天上最亮的恒星——天

狼星的运动比较奇怪,它的路径波浪起伏(图7-8),不象一般的

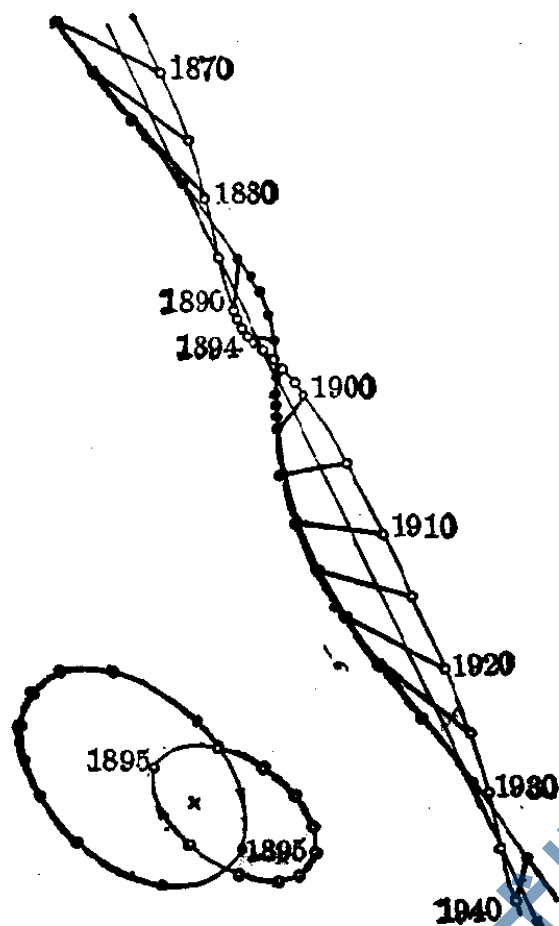


图7-8 天狼星同它的伴星的运动。天狼星用圆圈表示,伴星用点表示。左下图为天狼及其伴星绕它们的质量中心运动的视轨道。

的恒星总是沿着一条直线均匀地移动。这位天文学家由此断言,天狼星不是一颗星而是一个双星系统,另外一颗星是一个“看不见”的伴星;波浪起伏的路线,正是天狼星一边移动一边绕转的结果。后来,又有一些天文工作者研究了天狼星的运动,并且根据万有引力定律,预言了天狼伴星的位置。这个工作同我们前面讲的,从天王星的实际观测位置和理论计算的偏差来预言海王星的存在及其位置是一样的。事隔二十八年,到了1862年,终于在望远

镜里找到了这颗“看不见”的天狼伴星。这颗“看不见”的伴星同天狼星相比实在是太暗了,在望远镜里看起来就好象是望远镜的缺陷所引起的假象一样(图7-9,图中右下一小点为伴星)。起初,人们也的确以为是这么回事。可是,在观测另外的对象时,这个“缺陷”没有了,大家这才相信自己找到了天狼星的“看不见”的伴星。它的位置就在理论计算的位置上。这个发现证明了在地球上以及在太阳系内描述天体运动的万有引力定律,在恒星世界里也是适用的。物质世界不只在物质

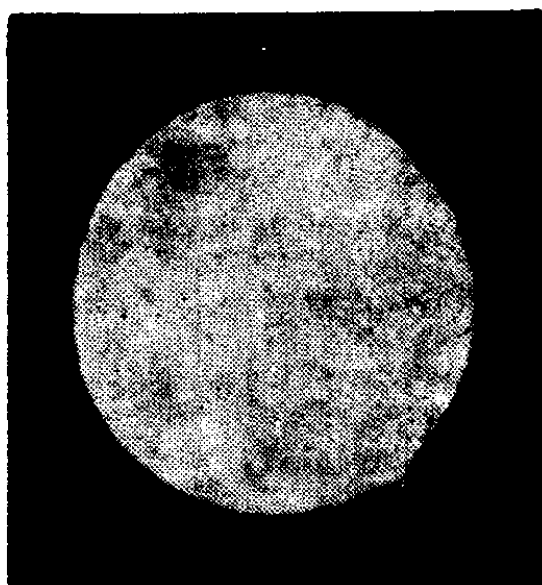


图 7-9 天狼星及其伴星。主星比伴星亮 10000 倍，  
因底片的漫射光，主星扩大成一个圆盘

性这一点上一致，而且在某些规律上也是共通的。

譬如，行星的质量可以用刻卜勒第三定律来“称量”，恒星世界也同样如此。并且直到目前，恒星质量的精确数值还只能从一些特殊的双星系统中“称”出来，大多数恒星的质量都是以这些精确值做标准推算出来的。就以天狼星作例子。我们知道，普遍形式的刻卜勒第三定律为：

$$\frac{P_2^2(M_2 + m_2)}{P_1^2(M_1 + m_1)} = \frac{a_2^3}{a_1^3}$$

如果把天狼星及其伴星互相绕转的情况同地球绕太阳的运动相比，就是说，取  $P_1$  为地球绕转周期，等于 1 年； $a_1$  为地球公转轨道半径，取为 1(天文单位)； $M_1$  为太阳质量，也取为 1； $m_1$  为地球质量，远小于 1；则上式可以简化为：

$$\frac{a_2^3}{P_2^2} = (M_2 + m_2) \times \frac{a_1^3}{P_1^2(M_1 + m_1)} = M_2 + m_2$$

写成这个形式的刻卜勒第三定律，单位是一定的： $a_2$  必须以天文单位表示， $P_2$  以年为单位， $M_2$ 、 $m_2$  都以太阳质量为单位。

对于天狼星及其伴星来说，从观测可定出天狼伴星的绕转周期为 49.9 年，轨道半长轴为 7".62。从三角视差测量可定出天狼星的视差为 0".379，或者说，在天狼星的距离看地球轨道半径 (1 个天文单位) 的张角为 0".379。所以在同样那么大的距离上张角为 7".62 的轨道半长轴相应的天文单位数为：

$$\frac{7".62}{0".379} \approx 20.11 \text{ 天文单位}$$

由此求得：

$$M_2 + m_2 = \frac{(20.11)^3}{(49.9)^2} \approx 3.26$$

从第三定律，我们只能“称量”双星系统的质量。要进一步分出每颗星的质量，必须知道另外一些条件，譬如两颗星的质量比  $M_2/m_2$ 。这个量同每一颗星的轨道半长轴成反比。从天狼星及其伴星的运动情况 (见图 7-8)，我们可以求得：

$$\frac{M_2}{m_2} = 2.33$$

由此，不难求出天狼星的质量  $M_2 = 2.28$

天狼伴星的质量  $m_2 = 0.98$

天狼星是一颗正常的主序星。它的表面温度大约是 10000 K，光谱型是 A1 型。天狼伴星呢，个儿虽小，却处处要同它的大个儿伴侣一样，一样的光谱，一样的“白热”化，一样的白颜色。在天文上，叫做它们的发光本领一样。可是看起来，天狼星却比它的伴星要亮得多。天狼星的视星等是 -1.47，而伴星只有 +8.64 等，比天狼星暗了 10 等。既然两颗星温度相同，每个平方厘米辐射的能量又是相同，那么，造成伴星暗而主星亮的唯一原因只能是伴星的表面积小，而主星大。表面积小，辐射的总能量就小；表面积大，辐射的



总能量也大。天狼星比它的伴星亮了10等，辐射的总能量比伴星大了10000倍。或者说，它的表面积比伴星大了10000倍。球体的表面积同半径的平方成正比，所以，天狼星的半径是它伴星半径的100倍。天狼星的半径又是太阳的2倍，即伴星的半径只有太阳半径的1/50。但是，它的质量却几乎和太阳质量相同。也就是说，天狼伴星的平均密度——质量被体积除——近似于太阳的 $50^3$ 倍，即125000倍，一个立方厘米175公斤。

这样高的密度，这样奇怪的天体，是人们第一次见到的，但并不是最后一次碰上的。没过多久，又找到了一些类似的天体，它们的质量还是同太阳差不多，而体积甚至更小，体积小小到只有一千万分之一的，即密度为太阳的一千万倍，一个立方厘米十几吨。我们把这类天体叫做“白矮星”。天狼伴星是人们发现的第一颗白矮星。

白矮星的体积同地球不相上下，而质量却同太阳差不多，所以，白矮星的表面重力（重力同质量成正比，同距离平方成反比）就要比地球表面的重力大几十万到几百万倍。在我们地球上，“三只手指捏只田螺”是用来形容轻而易举的。要是到了白矮星上，这只田螺要重到几吨，非用大吊车，才能抓起来。至于一百几十斤重的人，到了白矮星上，会变成几十万吨重！这个人体格再好，甚至能耐一万度的高温，也是枉然，几十万吨的重力，立刻就要把他压成一片薄饼。

在我们地球上，一个立方厘米的水只有1克；铁要算重了，一个立方厘米也不过7.9克。地球上目前已知的密度最大的物质是铱，一种比较少见的元素，一个立方厘米22.5克。甚至象太阳核心，处在一千万度的高温和3000亿个大气压的超高压下，它的物质密度已经远远超出地球上所能实现



的了。多大呢？160 克/厘米<sup>3</sup>。即使拿这些数值同天狼伴星的密度——175,000 克/厘米<sup>3</sup>——比，也还是小巫见大巫。再要同一个立方厘米十几吨的比，就更是望尘莫及了。

其实，我们只要来看看，譬如最简单的氢原子的情况，就可以知道，在氢原子稳定或者剧烈变动的时候，物质密度的悬殊甚至比白矮星上发生的还要大。在第二章里已经介绍过，氢原子是由一个带一个单位正电的原子核（质子）和外面绕着核旋转的一个电子构成。质子的质量大约是电子质量的 1840 倍，所以一个氢原子的质量几乎完全集中在它的核上。这个核的半径只有  $10^{-13}$  厘米数量级。电子围绕质子运动的轨道半径大约是  $10^{-8}$  厘米，比原子核大了  $10^5$  倍。一个氢原子大概就这么大。把它比做是地球绕太阳运动的模型，也未尝不可。正常情况下，这个电子总在原子核周围运动，温度升高或降低一些，电子运动的轨道就大些或小些。这个系统的密度，即一个氢原子的体积 [ $\approx \frac{4}{3} \pi (10^{-8})^3$  厘米<sup>3</sup>] 除氢原子的质量 ( $1.6725 \times 10^{-24}$  克)，大约是  $10^{-1}$  克/厘米<sup>3</sup> 数量级。如果温度很高，压力很大，以至原子的结构被压坏，核外的电子得到足够的能量，摆脱了核对它的吸引，自由了，不再绕核旋转了。这时候，剩下一个原子核，没有电子了，密度又是多少呢？很明显，它的质量没有什么变化，半径却缩小了  $10^5$  倍，于是，密度可以比一个氢原子的密度大  $10^{15}$  倍，达到  $10^{14}$  克/厘米<sup>3</sup>，一个立方厘米一亿吨。这就是说，一种物质是由氢原子挨个儿排列组成的，另外一种物质是由原子核挨个儿排列组成的，它们的密度相差可以达到  $10^{15}$  数量级！有人把前一种物质比做一篮鸡蛋，而后一种物质就象一篮挤碎了的鸡蛋，剩下好多蛋黄沉积在篮底。

目前认为，白矮星正是经历了这样的过程，只是由于它的

内部压力还不够高,只有几百万万万万个大气压,所以电子运动的“壳层结构”虽然被挤碎,可是电子还没有被压进原子核里面去。带正电的原子核之间的排斥作用使得它们还不能挨个儿排列,只能压缩到  $10^{-10}$  厘米左右的数量级。这样的物质密度大概可以达到  $10^6 \sim 10^9$  克/厘米<sup>3</sup>。

比起地球上的条件来说,白矮星的密度大得难以想象。可是真正叫人吃惊的还在后头呢。在下面两节,我们将会看到存在一种原子核密度更大的物质状态。

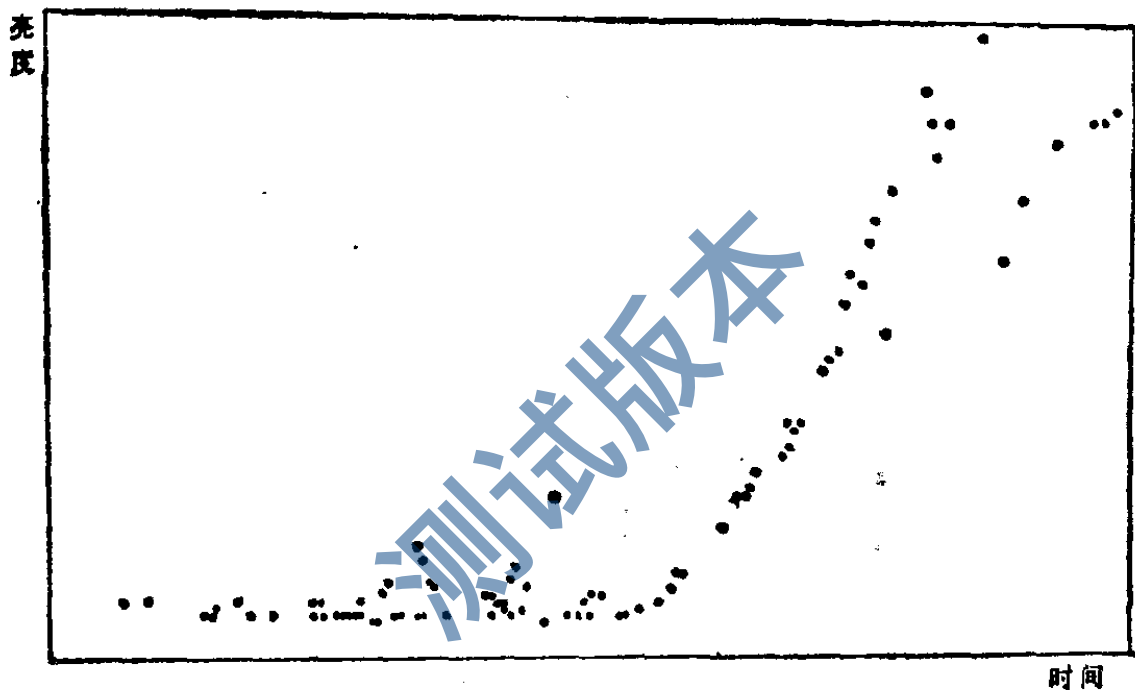


图 7-10 仙王 VV 星光变曲线

恒星世界里,结结实实的有,摆“空城计”的也有。在仙王座里就有这样一颗“真空”的恒星,叫仙王座 VV 星。它的亮度每隔 20.3 年发生一次变化,变化的时期持续 500 天左右,其中有一年半左右保持最小值(图 7-10)。从亮度的规则变化可以推断出这是一个双星系统。不过这种双星系统和上面讲的天狼星不一样。天狼星和它的伴星的绕转轨道平面好象是正对着我们,每一颗星的运动情况都历历在目。图 7-11 是这

一类双星——目视双星——中的另一个天体“克鲁格60”的照片，从1919年到1965年，可以看到伴星已经转了一圈多了。

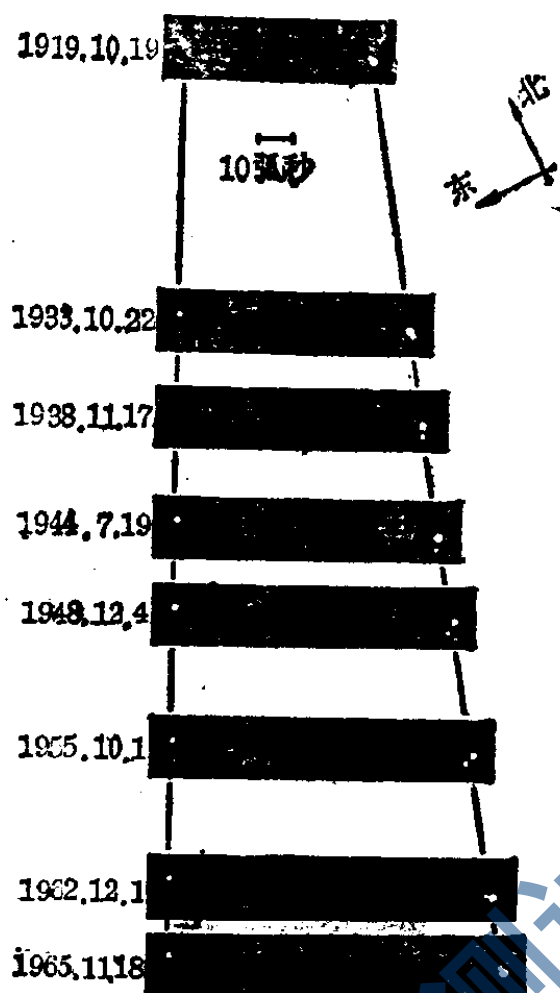


图 7-11 目视双星克鲁格 60 的轨道运动

仙王 VV 的绕转轨道平面却几乎以侧面对着我们，所以同日月食一样的道理，看起来会发生互相掩食；亮度变化的情况，变化的周期正是两颗星绕转的周期。这样的双星，叫做交食双星，或叫食变星。仙王 VV 食变星亮度的减弱是由一颗较暗的伴星挡住了一颗亮星。这颗亮星比太阳直径大 1000 多倍，可是它的质量不过是太阳的几十倍。目前，各人测量的结果相差较大，有些人认为这种差别是真实存在的，就是说仙王 VV 的亮子星<sup>①</sup>的大小在变化着。如果取数量

级，直径为太阳的  $10^3$  数量级，质量是  $10^1$  数量级，那么，它的密度大约是太阳的  $10^{-9}$ 。同每立方厘米十几吨、上百吨的白矮星相比，这种恒星就好比是恒星世界中的“超级大国”。看起来，大得很，实际上“内囊却也尽上来了”，空虚得很。

密度上下悬殊那么大，原因很简单。恒星的半径，从太阳半径的百分之一（白矮星），一直到上千倍（超巨星），体积相差  $10^{15}$  数量级左右，可是质量的变动不过三个数量级左右。

① 双星系统中的两个成员都称为子星，亮的一个叫主星，暗的叫伴星。

目前已经观测到的最重的恒星是船帆座  $\gamma^2$  双星系中的一个 O 型子星, 为 45 个太阳质量。理论估计恒星的质量不可能大过 65 个太阳质量。质量太大, 自身的重力得不到平衡, 恒星也就会不稳定, 甚至弄到瓦解的地步。这很可能是在双星系统中没有观测到质量大于 65 个太阳质量恒星的根本原因。

质量过大了, 要瓦解。质量太小了, 也同样不行, 也要引起质变的。我们在木星一节里已经提到过了, 质量小于 0.07 太阳质量的天体, 内部的温度还不到氢“燃烧”的点火温度。现在一般也把这个质量定为恒星的最小质量。当然, 实际上这个界限并不是那么清楚的。在太阳附近, 我们发现一些恒星的伴星质量只有太阳质量的 0.002~0.05。这些恒星同天狼星一样, 在天上走着一条波浪起伏的路线。其中最著名的一颗叫巴纳德星。它的一颗看不见的伴星的质量只有 0.002 太阳质量。我们知道, 木星的质量大约是太阳的 0.001。有人认为, 巴纳德星不是有一颗而是有两颗伴星, 质量分别是木星质量的 1.1 倍和 0.8 倍, 因而实际上是两颗行星在围绕巴纳德星旋转。既然是行星系统, 那么, 在太阳系外的生命问题自然成了更加直接的试图从科学上去证实的课题。但是, 最近有两个天文工作者, 同样花了二三十年的观测时间, 却得出了相反的结论。他们认为巴纳德星没有行星系统, 它的曲线运动很可能是由观测仪器的误差造成的。

把观测的误差当做是恒星真实的运动, 又根据这个“运动”去搜索太阳系外的行星系统, 甚至太阳系外的生命, 这同一部科学幻想小说也相差无几了。当然, 我们也不能就此得出结论, 好象太阳系附近的恒星没有行星系统, 更谈不上有无生命的问题了。同样观测了几十年, 一个说有, 一个说无。那么, 看起来, 是既不能说有, 也不能说无。只能说用这种方法去探

测太阳系附近恒星的行星系统还玄着那！不少重大的发现都是从“小误差”开始的，但是，当我们还不能把观测的误差从“小误差”中排除掉的时候，许多未来的世界，包括我们试图探测的行星系统，也就隐藏在这些不显眼的“小误差”下面了。因此，如果人们只注目于大的发现，却忽视一点一滴的基础工作，是不符合辩证唯物主义思想的。

#### 四、超新星爆发之后

在第五章里，我们介绍了太阳每秒钟辐射的能量，达到  $3.826 \times 10^{33}$  尔格。用一百万吨级（梯恩梯当量）的氢弹爆炸时释放的能量为单位来比较，这个数值大约相当于嘀嗒一秒钟在太阳上爆炸了九百一十万万颗氢弹。秒秒如此，年年这样，一直“爆炸”了几十万万年。看来，在今后的几十万万年内，还将不断地“爆炸”。

俗话说得好，“天外有天”。太阳的这点能量，虽然不能算小，但在恒星世界里，每秒钟“爆炸”几百万万颗氢弹，也算不了什么。比太阳亮上几万倍，就是说，每秒钟要“爆炸”几百万万万颗氢弹的，不在少数。几百万万万，1后面要带14个零（ $10^{14}$ ），可谓大矣！那里知道，强中还有强中手，有一种叫做“新星”的，可以比太阳亮几十万倍。更有一种叫做“超新星”的，那才真正是爆炸一般地释放能量。它在一个瞬间释放的能量，相当于  $10^{18}$  颗氢弹爆炸的能量，比太阳亮了几万万倍。古人常常喜欢用“叹为观止”来形容少见的事情。一秒钟爆炸  $10^{18}$  个一百万吨级的氢弹，固然有点不可想象，但是离开“观止”却还远着呢。在本书后面，我们还要谈到一种更大的能量释放过程，叫做“星系核爆发”。即使到了那种地步，也请不



要“观止”，宇宙是永无止境的。同星系核或者更高一级的爆发相比，新星或者超新星的爆发也就没有啥了！

所谓“新星”，实际上并不真是一颗“新”的星。它们原来是一颗肉眼看不见的亮度很微弱的天体，只是由于一段时间内突然发亮，才引起了人们的注意。我们的祖先把这种星称做“客星”。历史上最早的新星记录，出现在公元前十四世纪我国的一片甲骨上：“七月己巳夕 昴有新大星并火”。就是说七日晚有一颗新星出现在大火（心宿二）附近。《汉书·天文志》中的“元光元年（公元前 134 年）六月，客星见于房”，是中外历史上都有记载的第一颗新星。从公元前 134 年到十七世纪末编入新星星表的 90 颗新星，我国都有详细的记载。其中，关于 1054 年金牛座超新星的记录，破格引起了近代各国天文工作者的重视。

这次超新星的爆发，日本和我国都有记载，但以我国《宋会要》中的记录最为完整、精确：“嘉祐元年三月，司天监言：‘客星没，客去之兆也’。初，至和元年五月晨出东方，守天关。昼见如太白，芒角四出，色赤白，凡见二十三日”。可见，这颗超新星的爆发是前所未见的，它在明亮的白天尚且芒角四射，观测了二十三天。往后虽然慢慢暗了下来，但还继续可以用肉眼观测将近二年，“客星没，客去之兆也”，“客人”走了。从

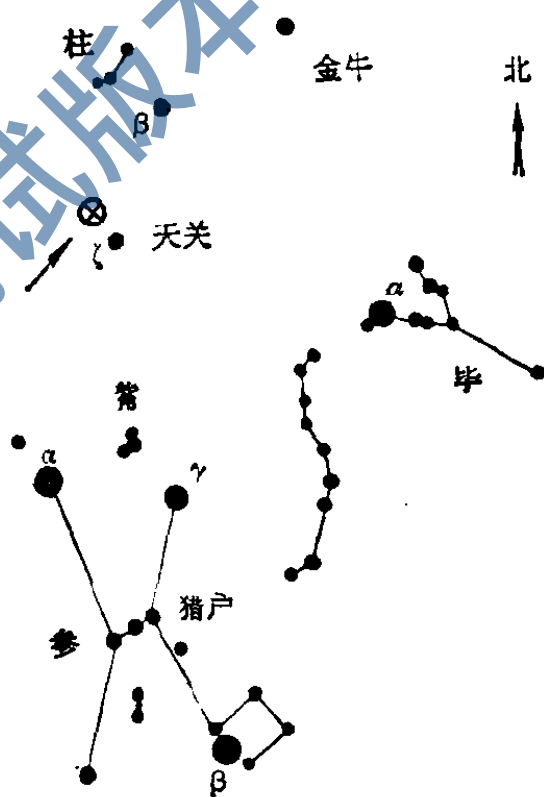


图 7-12 公元 1054 年超新星位置



那以后，几个世纪过去了，人们再也没有看到它，也没有想到这位“客人”竟给我们留下了一份珍贵的“礼物”。

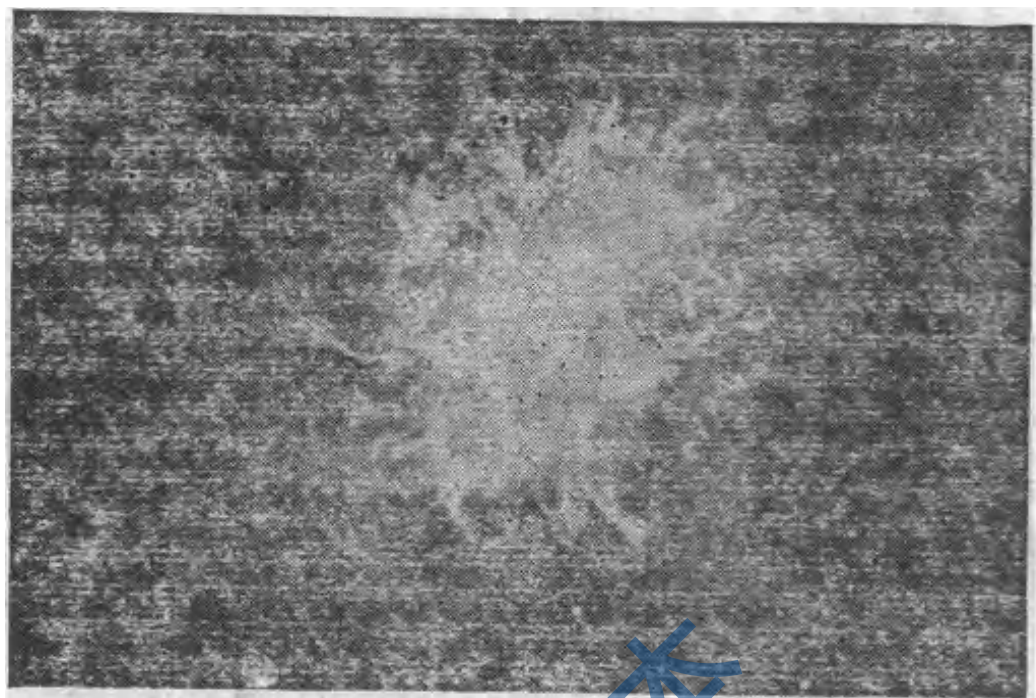


图 7-13 蟹状星云

十八世纪，有一个英国人用望远镜对准了这个方向，发现在这个地方有一团模模糊糊的云雾状的东西。它的外形就象一只螃蟹，大家也就按照习惯，把它叫做“蟹状星云”（图 7-13）。起初，人们并没有意识到这只“螃蟹”的来历。可是在相隔几十年的照片上，发现这团星云膨胀了，“螃蟹”长大了！到了二十世纪初叶，它的半径达到了 180 个角秒。测量出来膨胀的速率是每年增大  $0''.21$ 。从星云光谱线的多普勒位移测出星云的膨胀速度是每秒 1000 公里左右。显然如果这团星云一直以这样的速率膨胀，那么， $\frac{180''}{0''.21/\text{年}} = 860$  年之前，正是它们开始向外膨胀的时刻。这个时间十分接近那颗超新星爆发的年代——1054 年。到了此时，人们不约而同地追忆起了九百年前来访过的那位“客人”，并且一致认为，“螃蟹”是这位

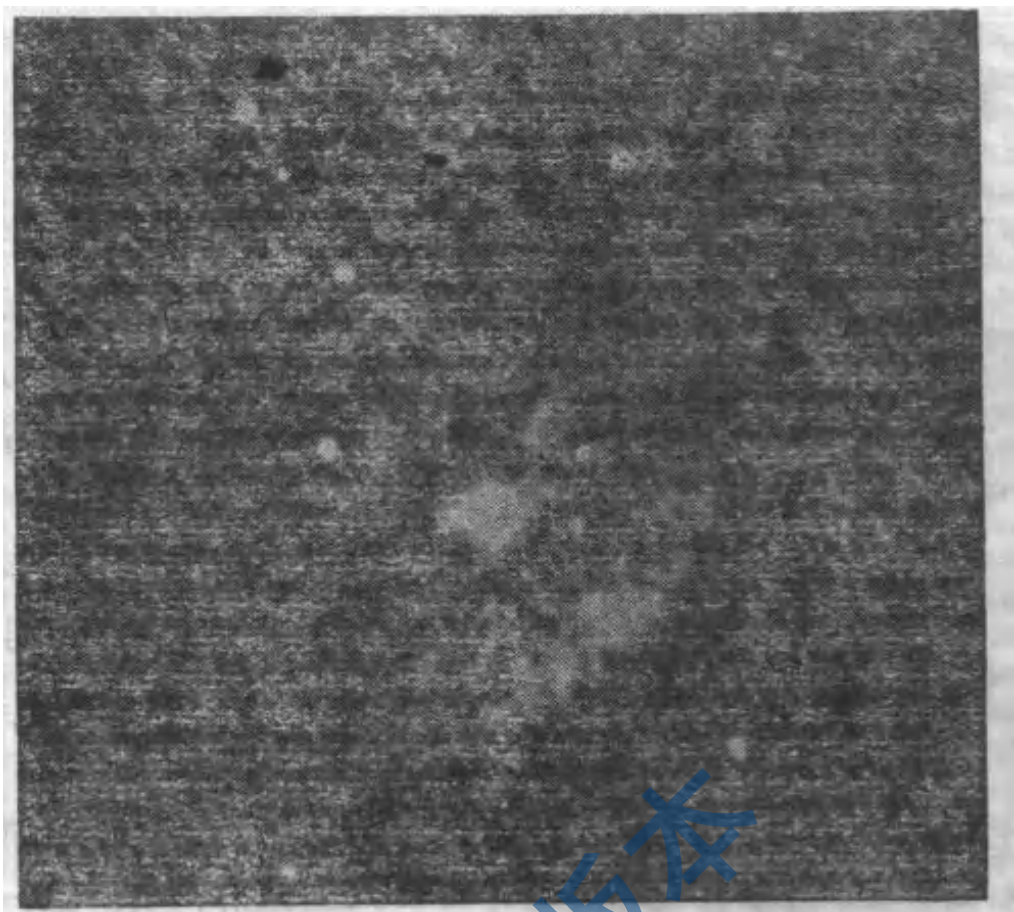


图 7-14 1901 年英仙座新星同它抛出的气壳(1952 年摄)

“客人”的遗物,是在 1054 年超新星爆发时抛射出来的气体的壳层。

爆发时抛射气壳的说法,不仅为蟹状星云的这一推论所支持,也有一些直接的观测证明。1901 年,在英仙座爆发了一颗新星,15 年后,发现了这颗新星周围有一团星云(图 7-14),角直径  $5''$ , 每年向外膨胀  $0''.4$ 。到了 1934 年,这团星云的直径增大到  $13''$  (图 7-15), 中心恒星的周围星云已经很

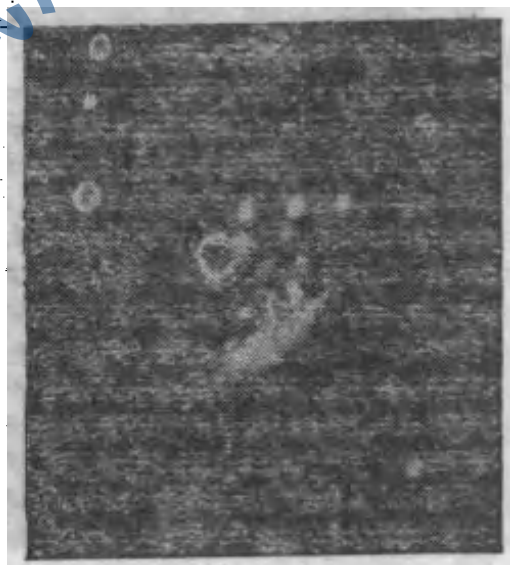


图 7-15 1901 年英仙座新星在 1934 年拍的照片

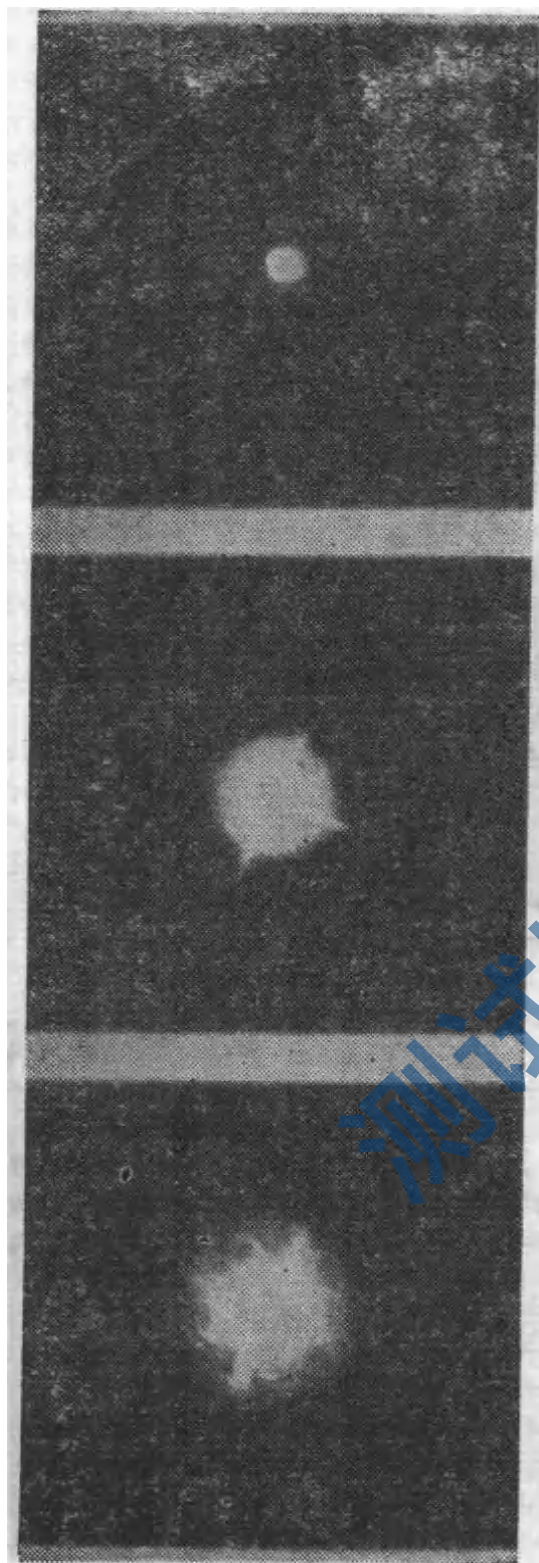


图 7-16 自上而下分别为 1918 年天鹰座新星在 1922、1926 和 1931 年拍的照片，可以看到向外膨胀的星云

少了。通过拍摄这个新星和周围星云的光谱照片，可以测出星云的膨胀速度为 1200 公里/秒。图 7-16 是 1918 年在天鹰座爆发的一颗新星的三张照片，拍摄的年代分别为 1922 年、1926 年、1931 年。从中可以明显地看出新星周围的气壳向外膨胀，角半径每年增加  $1''$ ，膨胀的线速度达到每秒 1700 公里。

现象是本质的表现。新星或者超新星亮度突然增加，随着有大量抛射物质，这一切表明它们正在经历一个急剧变化的过程。与之相比，我们太阳就处在一个相对稳定的阶段。

为什么要剧变，又怎么能稳定呢？

一头大象，几吨重，之所以能稳稳地站在那儿，是因为有一副骨架撑着，如果没有这副骨架，或者是严重软骨病，这头大象一扶起来，就马上要变，变到瘫在地上。恒星也是这样。一颗恒星，质量达  $10^{32} \sim 10^{35}$



克,它的外壳之所以不掉到中心,同样是因为有一副“骨架”撑在那儿。这副“骨架”就是恒星内部产生辐射后形成的向外的压力,包括气体压力,辐射压力,等等。内层的压力同外层大气的重力能够平衡,恒星就处于相对的稳定状态;压力抵不住重力时,恒星必定要通过某种急烈变革的手段,通过物质运动的“革命的形式”来解决这个旧的不平衡,借以达到新的平衡,处于新的相对稳定的状态。这时候恒星的性质会发生很大的改变。新星或者超新星的爆发正是如此。

按照目前比较多数的看法,认为超新星的爆发可能是这样发生的:恒星内部轻的元素(氢、氦)全部用完之后,恒星产生新的收缩,内部温度继续升高,又开始新的热核反应,聚合成更重的元素,同时放出热能,使恒星处于新的平衡状态。但是,到了铁元素形成以后,再继续聚合成更重的元素(一直到超铀)的过程,同前面的反应有一个本质的不同,它们不辐射能量,反而要从外界吸热。这一下,外层大气的重力得不到平衡,恒星就象没了骨架的大象一样迅速“塌缩”,中心的压力猛增,电子被压到原子核内,同核内质子结合成中子。这时候,恒星核心部分的密度升高到原子核的密度,大约  $10^{14} \sim 10^{15}$  克/厘米<sup>3</sup>,而直径只有 20 公里的数量,形成了一个由中子构成的高温、高密的核心——“中子核”。一个直径仅 20 公里的“中子核”,它的质量可以达到一个太阳质量那么大。我们知道,引力同物体的质量成正比,同距离的平方成反比。所以,在这一个太阳质量的“中子核”附近的引力比太阳表面的引力要强  $\left(\frac{\text{太阳光球半径}}{\text{中子核半径}}\right)^2$  倍 =  $\left(\frac{1.4 \times 10^6}{20}\right)^2 = 4.9 \times 10^9$  倍! 这说明了在“中子核”附近,由物质引力收缩释放出来的能量比同样的物质落到太阳上释放出来的能量要大几十万倍。譬如,

10克物质，这大概相当于一朵玫瑰花的重量，落到这个“中子核”上，释放出来的能量好比爆炸了一颗原子弹！那么，当大量物质向“中子核”塌缩时，就会在很短的时间内释放出惊人的能量，结果恒星的外壳爆炸碎裂，被抛到宇宙空间，形成稀薄的星云，中间留下了爆炸的残骸——一个裸露的“中子核”。这时候，也该称做“中子星”了。就是说通过对超新星爆发的理论分析，预言有另一种叫中子星的天体存在。

上面描述的超新星爆发的图景，实际上不只是关于超新星爆发的理论假说，而且还涉及到宇宙中到处分布的重元素的起源问题。就拿地球上的人来说吧，人没有碘，就会粗脖子；小孩缺少钙，要得软骨病；吸入水银要中毒，误食砒霜更危险……。这些碘、钙、汞、砷，以至金、银、铜、锡，按照超新星爆发的这个理论看来，正是在恒星内部由热核反应从轻元素聚合而成的。在超新星爆炸的过程中，它们被抛进了宇宙空间。经过了不知多少个万万年，这些元素成了太阳系原始星云的一部分，又经过了多少个万万年，它们才在地球上安了家。所以，从这个角度看，宇宙中化学元素的统一，本来是不言而喻的事情。尽管这里面的细节，也许要过多少多少年才能得到阐明、证实，也可能这些细节始终是不完善的，但是，人同宇宙的统一，彼此有着密切的联系却是不容置疑的。

在漫长的人类认识史上，细节上的缺陷，是经常发生的。而对于天文学，特别是天体演化的历史来说，由于材料的不足，细节上的不完善，乃至错误，更是不可避免的。即使是从这样的角度来看，上面超新星爆发的理论能不能用它来说明如蟹状星云这个超新星爆发的遗迹呢？这个理论预言了超新星爆发的残骸——中子星的存在。如果我们能在蟹状星云，或者其他被认为是超新星爆发的余迹中间找到中子星，那

么, 这个理论, 在总的联系上是可以认为已经证明了。但是, 中子星在哪儿呢? 中子星又是怎么样的呢? 那时不知道, 也不清楚怎么去找。

到了 1967 年, 英国的一位天文工作者发现了一个奇怪的射电源。它的射电辐射是脉冲式的, 每隔 1.337 秒发出一个脉冲, 间隔的误差大约  $0.00000001$  秒(图 7-17)。简直象一只标准的石英钟那样稳定。大家把这种象钟表嘀嗒一样发出信号的天体叫做“脉冲星”, 并且很快又发现了几十个。脉冲的间隔有短到几分之一秒的, 也有长到三秒多的。1969 年, 就在蟹状星云的中间找到了一个脉冲星, 周期极短, 约  $1/30$  秒, 还找出了同这个射电源对应的光学的恒星。最近, 通过火箭和卫星观测, 发现这颗星除了发出可见光和射电辐射外, 还发出各种频率的 X 射线和  $\gamma$  射线。所有这些辐射, 从  $\gamma$  射线一直到射电波段, 全都以  $1/30$  秒的周期发出脉冲(图 7-18)。就是说, 这颗星既是射电脉冲星, 又是光学脉冲星, 又是 X 射线脉冲星, 还是  $\gamma$  射线脉冲星。脉冲的周期是一样的,  $1/30$  秒! 每天变长  $3.6 \times 10^{-8}$  秒。

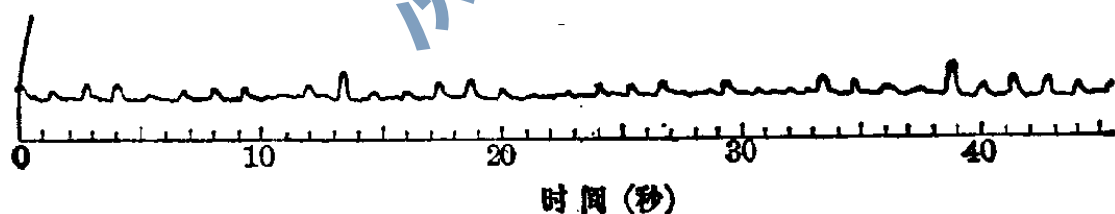
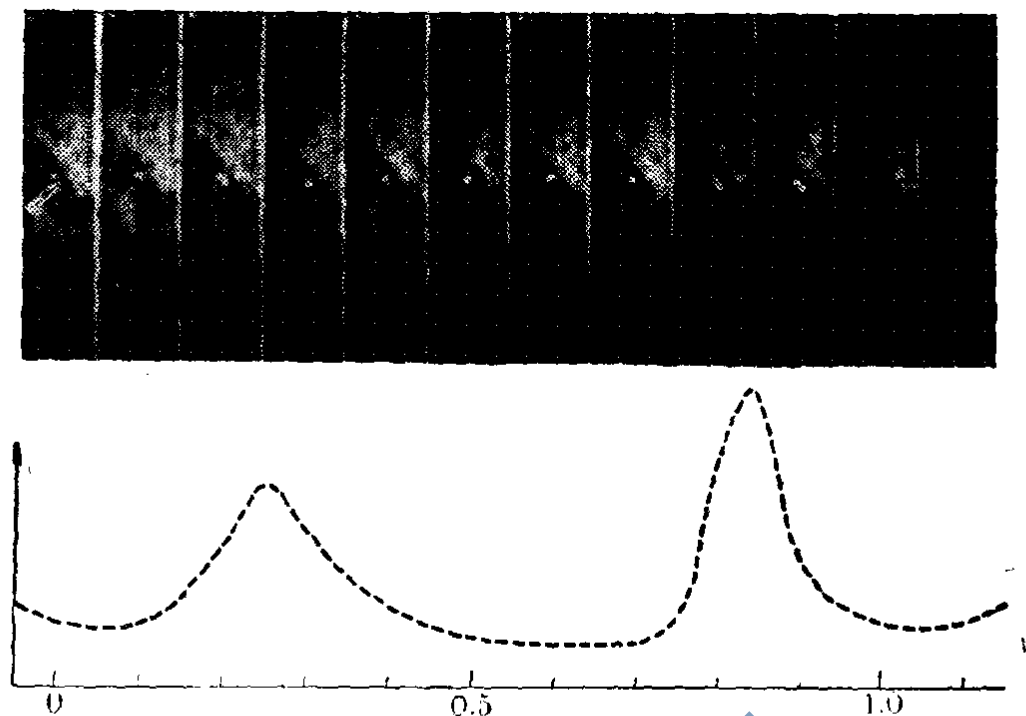


图 7-17 第一个观测到的脉冲星 CP1919 的脉冲记录。  
注意, 它们不是等强度的

发现了那么多“脉冲星”, 自然地想起了中子星。我们知道, “脉冲星”这个名字是就其辐射的表现形式取的, 它当然是由恒星构成这个更本质的东西决定的, 但并没有说出这个本质来。“中子星”这个名字倒是指出了恒星组成这个本质的东





**图 7-18** 蟹状星云中心星光学脉冲, 箭头所示的恒星即为中心星。可以看出这颗星象的大小在变化, 即星的亮度在变化。图下曲线即相应的亮度变化曲线。峰值处星较亮。上图纵座标为星等变化, 横座标为位相

西, 但是它的外部辐射的表现形式怎么样, 却是个谜。现在, 在超新星爆发的遗迹——蟹状星云——中找到了“脉冲星”, 自然地会联想起这个“脉冲”会不会就是中子星的辐射表现形式呢?

要发出间隔极其规则的“脉冲”, 可以有几种不同的途径: 或者象造父变星那样的脉动; 或者象双星那样的绕转; 或者是恒星的自转。问题是由什么样的恒星来自转, 或者脉动, 或者绕转, 才能发出周期极短的脉冲。可以想象, 这应该是一颗比较小而密的恒星。在表 7-3 中列出了两类小的致密恒星——白矮星、中子星的主要参数。为了比较起见, 还把太阳的一些数据列在边上。

表 7-3

	白矮星	中子星	太阳
直径	0.5~2 地球半径	20~40 公里	109 地球半径
质量	0.4~1 太阳质量	0.5~3 太阳质量	1 太阳质量
密度	$10^5 \sim 10^9$ 克/厘米 <sup>3</sup>	$10^{14} \sim 10^{15}$ 克/厘米 <sup>3</sup>	$10^0$ 克/厘米 <sup>3</sup>

很明显，一个象太阳那样的恒星，不管它通过那条途径，都不可能发出周期只有几秒甚至更短的脉冲的。如果它以周期只有几秒的高速自转，惯性离心力将使这颗恒星瓦解；而如果是两颗星互相绕转，我们也不难从刻卜勒三定律知道，为了在几秒钟内绕转一周，一颗恒星必然跑到另一颗星的里面去。至于脉动，我们在第一节里已经看到了，以太阳那样恒星的密度脉动，它的周期不可能小到几秒！所以，这类恒星是无论如何也不会作为“脉冲星”出现的。

白矮星的情况并不好多少。对白矮星来说，脉动的周期仍然要比脉冲星的周期长。而两颗白矮星互相绕转的最短周期（即两颗星靠在一起时）大约是 1.7 秒，还是比大部分脉冲星的脉冲周期长。自转的情况也不妙。虽然白矮星的表面引力比较大，可以容许比较快的自转；但是，当自转周期短到几分之一秒，几十分之一秒时，由这样的高速自转产生的惯性离心力还是远远地超过了它的表面引力，白矮星同样要分崩离析。

所以，可以作为脉冲星出现的，自然只有中子星。进一步分析，发现两颗中子星的绕转周期是不稳定的，它会很快变长，而对中子星这样高密度星的脉动来说，它的周期又比脉冲星的周期短得多。最后，唯一可能给出间隔稳定而短的脉冲

辐射的, 只有一条途径, 一种恒星——高速自转的中子星。象蟹状星云的中心星, 是一颗脉冲周期仅  $1/30$  秒的脉冲星, 就是说, 这是一颗一秒钟转 30 圈的中子星! 每转一周, 我们观测到一个脉冲。

不少人可能都见过海边的灯塔。每隔一定的时间, 12 秒, 或者 24 秒, 它就亮一下。灯的颜色也各各不同。根据这些不同的讯号, 可以知道船只过了什么海峡, 到了那个礁滩。中子星自转发出脉冲辐射, 被认为是同灯塔类似的, 可以叫做“灯塔效应”。这意味着, 中子星的发光同太阳不一样, 它只有星球上一个小区域才有辐射出来, 其他地方的辐射都跑不出来(图 7-19)。如果我们地球正好在这个光束的方向上, 就可以看到有“光”。随着中子星自转, 这束“光”扫过了地球, 就看不见了。一直到中子星转了一圈, 这个“光”束重新扫到地球上时, 我们才第二次见到“光”。于是, 我们接收到的辐射, 成了间歇的、脉冲形式的。间歇的长短, 正好是自转的周期。而间歇的稳定, 也无非是中子星自转周期稳定的表现罢了。看起来, 这个“灯塔效应”还是把脉冲星说明得挺自然的。不过, 一个恒星上只有相对的两个亮斑, 其他都是暗的, 有人认为太古怪了。我们说, 并不古怪。到处发亮的太阳圆面, 是在太阳这个

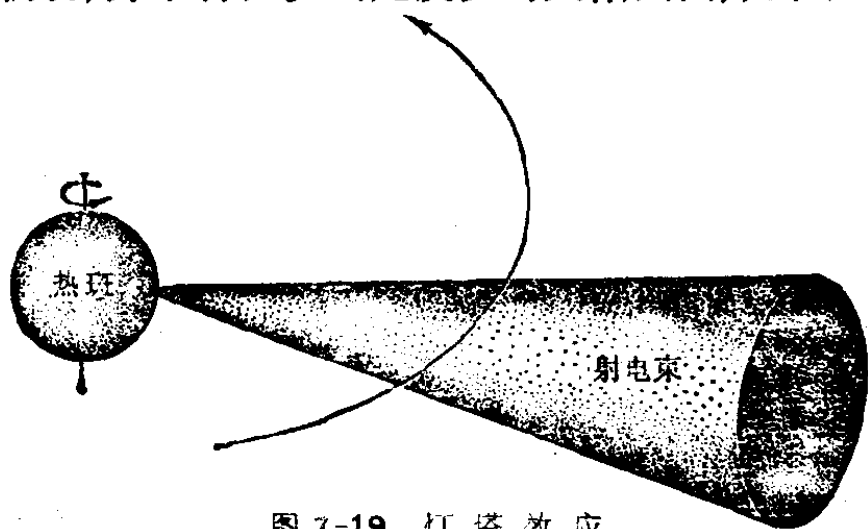


图 7-19 灯塔效应

条件下产生的，条件不同了，表现的形式自然不同。在一定的条件下，到处发亮转化为很少地方发亮，甚至完全不亮，是完全可能的十分正常的现象。如果把这种转化认为是古怪，不可思议，那恰恰是忘记了马克思主义辩证法的一个基本原理：“矛盾着的对立的双方互相斗争的结果，无不在一定条件下互相转化。”这里，条件是重要的。

譬如，很强的磁场，磁场强度达到  $10^{12} \sim 10^{13}$  高斯（普通电磁铁的磁场强度大约  $10^3$  高斯，太阳极区磁场强度大约几个高斯）就可以使中子星的辐射只能沿着磁轴方向，在一个顶角不大的锥体内发射出来。在超新星爆发过程中形成的“中子核”上，磁场强度是能够达到这个数量的。实际上，强磁场可以把辐射封闭起来的原理，在今天已经不只是被我们用来解释世界，解释象中子星辐射之类的现象上，而且正在指导着我们“改变世界”。前不久，我国制成了一个受控热核反应的实验装置。所谓“受控热核反应”，就是控制氢核聚变的反应，不让它形成爆炸，而叫它慢慢地释放能量。这样，我们就可以把这个能量利用起来。这个实验的一个关键，是用极强的磁场，把上千万度的高温核燃料束缚在一个小范围内。这个实验从一个侧面证明了，强磁场约束形成中子星的脉冲辐射是完全可能的。一般恒星发出的辐射，不同波长处强度是不一样的，它们的相对分布如图 7-20 的上图所示。由核反应产生能量的天体，或者反射它们的辐射的天体，我们观测到的能量分布基本上是这样的。可是蟹状星云的能量分布却是如图 7-20 下图的形式，波长愈长，能量愈大。和同步加速器中高能粒子的能量辐射一样。在同步加速器中，带电粒子在磁场作用下沿曲线运动，并被加速到接近光速的程度。速度愈高，磁场愈强，辐射的能量就愈大。这种辐射被称为“同步加速辐射”。其实，

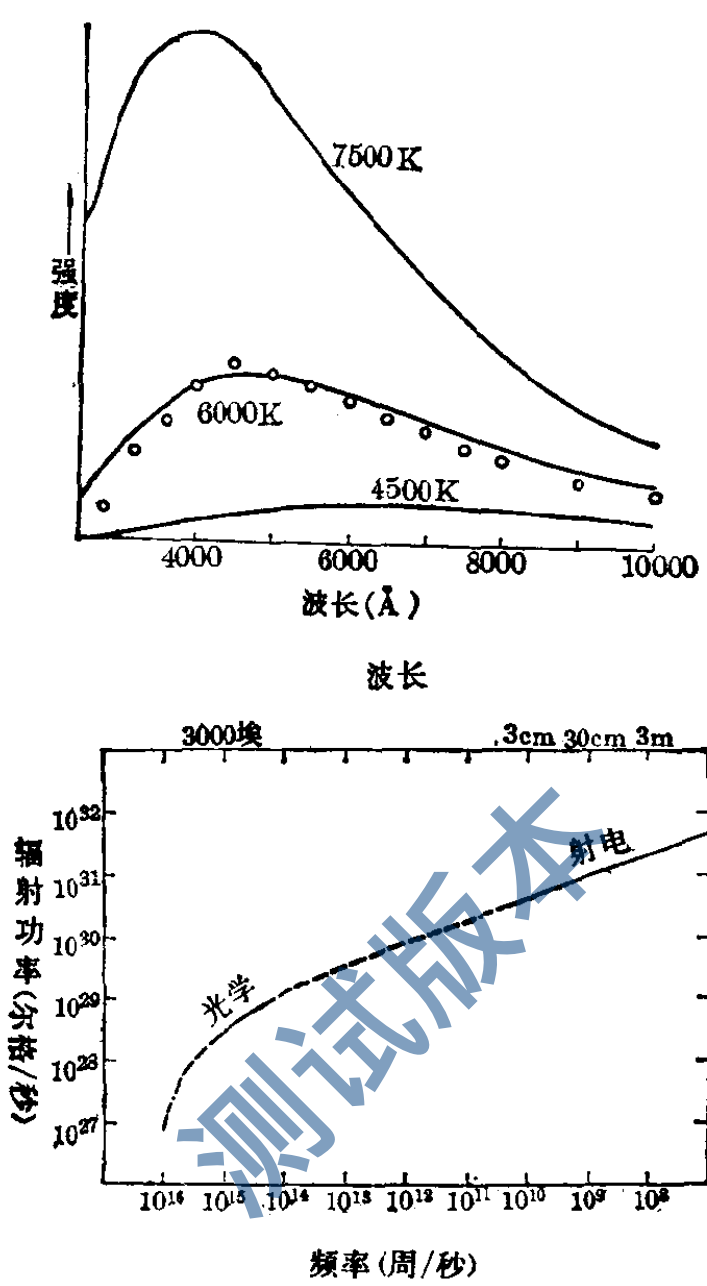


图 7-20 蟹状星云辐射分布同一般恒星辐射分布的比较。上图为一般的恒星辐射分布，图中圆点表示的是太阳辐射的分布，大约相当于 5750K 的辐射体。下图为蟹状星云的辐射分布

“同步加速”的原理很多人小时候就在熟练地运用了。不少人都玩过秋千，只是有些人玩得好些，愈荡愈高。有些人却不怎么样，愈荡愈低，弄得不好还会停下来。道理就在有些人很好地运用了“同步加速”。秋千往下落，愈落愈快的同时，他就使一下劲。使劲和秋千本身的加速总是“同步”的，结果愈荡愈高。



同步加速器中，基本上还是这个道理，不过情况要复杂得多。对蟹状星云来说，除了上面提到的能量分布外，还有其他一些观测事实都有力地支持了同步加速辐射的说法。总之，我们的蟹状星云及其中心脉冲星的发现，不仅由于它们的奇特表现叫人难忘，更由于它们在近代天体物理中的重要地位而引起了各方面的重视。它们证明了脉冲星确是理论上早就预言过的中子星，它也证明了中子星作为超新星爆发的残骸这一总的联系的正确。

说到这里，不能不产生一个问题，是不是每个恒星都要经过超新星爆发的过程，然后变成一个中子星。特别是，我们太阳会不会爆发？答案是明确的，我们的太阳不会象超新星那样爆发，也不是每个恒星都要经过超新星爆发的过程。二个氧原子结合成一个氧分子，再增加一个氧原子就结合成臭氧，连气味都完全不同了。恒星千千万万，更不是一个模子里倒出来的，它们所以千差万别，主要是最初形成恒星的物质质量不同。当恒星内部失去平衡时，这种纯粹的量的多寡，引起了恒星不同的剧变。因为只有不同的剧变才足以在不同的量下取得各自新的平衡。研究表明，象超新星爆发这样大规模的能量释放过程，只有质量比太阳大的恒星才会发生。小的变化，量的变化，归根到底引起了大的变化，质的变化。这是一个规律。大到天体是如此，小到原子也这样；自然界受它支配，人类社会也同样有效。一切事物都是质和量的统一，一切过程都是质和量的互相转化。

## 五、黑 洞

“黑洞”是一种理论上预言，而至今还没有找到的天体的

名称。所谓“黑洞”这种天体，并非不发光。它发光，但是这个光怎么也到不了我们这里，它是“黑”的。同时，这种天体又象一个“洞”一样，东西到了它那里，就象掉进“洞”里，甚至连射到它上面的光，也会被全部吞没，没有反射。

大家还记得人造卫星上天的事吧。为了把人造卫星送上围绕地球运动的轨道，发射人造卫星的火箭必须有一个最小的速度，也就是第一宇宙速度

$$V_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}, \text{ 为 } 8 \text{ 公里/秒}$$

(式中  $G$  为引力常数,  $M$  为地球质量,  $R$  为地球半径)。小于这个速度, 人造卫星就要被地球的引力拉回地面。如果要把一只飞船送到火星或者木星附近, 火箭的速度必须达到

$$\text{每秒 } 11.2 \text{ 公里} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = V_2,$$

即第二宇宙速度, 才能克服地球的引力, 进入行星际空间。小于这个速度, 飞船只能在地球控制下, 沿椭圆运动, 跑不出去。

天体发出的辐射, 从  $\gamma$  射线、X 射线, 一直到无线电波, 各类辐射都是一种物质。发出这些辐射的天体, 也都对它们有一种引力。只是“辐射”这种物质的运动速度达到每秒 30 万公里 (光速), 对于这种物质的运动来说, 一般的天体的引力就显得渺小, 表面的脱离速度 (即第二宇宙速度) 远远小于它们的运动速度光速  $c$ 。譬如, 太阳表面的脱离速度

$$V_{2\odot} = \sqrt{\frac{2GM_{\odot}}{R_{\odot}}} = 617.7 \text{ 公里/秒}$$

远小于  $3 \times 10^5$  公里/秒。于是, 太阳的辐射很容易地摆脱了它的引力, 使我们看到的是一个光灿夺目的圆面。

如果有那么一个天体, 它的表面的脱离速度达到了每秒

30 万公里, 甚至更大, 即

$$V_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \geq c$$

式中  $M$  为天体的质量,  $r$  为其半径。那么, 天体发出的辐射就跑不出来, 这个天体是“黑”的。1798 年, 法国的天文学家拉普拉斯正是从这样的考虑出发, 预言了“一个密度如地球而直径为 250 个太阳的发光恒星, 由于其吸引作用, 将不允许任何光线到达我们这儿。由于这个原因, 宇宙中最大的发光天体也不会被我们看见。”近几十年来, 又有一些天文工作者根据近代的各种引力理论, 也预言了这种“黑”的天体的存在, 条件同拉普拉斯推出的一样:

或者改写为:

$$c \leq \sqrt{\frac{2GM}{r}};$$
$$r \leq \frac{2GM}{c^2} = r_g$$

意思是说, 一个质量为  $M$  的天体, 它的半径如果小于  $r_g$  ( $r_g$  这个量称为天体的引力半径), 这个天体就是“黑”的。既然各种引力理论都预言了黑洞的存在, 可见黑洞并不是某一种特定的引力理论的结果, 它是同光以一种类似于物体的方式, 为引力完全地吸引而相联系的。

尽管黑洞的存在已经预言了那么长的时间, 却很少有人认真地去对待它们。我们只要看一个例子, 就可以明白其中的道理了。太阳的质量为  $2 \times 10^{33}$  克, 不难算出它的引力半径

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} \approx 3 \text{ 公里}$$

也就是说, 象太阳这样的恒星, 半径必须从目前的 70 万公里缩小 20 多万倍, 才有可能演变成为“黑洞”。这个时候, 它的密度将从  $1.4 \text{ 克/厘米}^3$  升高到  $10^{16} \text{ 克/厘米}^3$ , 一个立方厘米几

百万万吨！而二十世纪初才开始发现的白矮星——天狼伴星——的密度只有  $10^5$  克/厘米<sup>3</sup>，这在当时已经是一个惊人的数值了。后来发现的一些白矮星的密度也不过  $10^6 \sim 10^8$  克/厘米<sup>3</sup> 左右。“黑洞”的密度比这还要大上几十万、几百万倍，这可能吗？当时看来，“黑洞”这种天体，实在是同它的名称一样，深奥莫测，使人们难以想象。

然而，在发现了脉冲星，并且被证明为是一种密度高达  $10^{15}$  克/厘米<sup>3</sup> 的中子星之后，人们从自然界本身看到了物质运动的辩证发展。一切界限都是有条件的，都是可变动的。 $10^{15}$  克/厘米<sup>3</sup>，达到了原子核的密度。但是，原子核的密度也不会是一个最后的界限，原子核还是可分的，有层次的。同时，中子组成的气体的压力也有一定的大小，可以算出，这个压力只能同 0.7~3 倍太阳质量的物质的引力平衡，构成一个稳定的中子星。恒星质量更大，中子气的压力也不足以同引力抗衡，由中子构成的核将被压垮。由于引力得不到平衡，恒星继续迅速收缩。只有到了有一种新的压力可以和这种引力平衡时，收缩才会停止。因此，密度高到  $10^{16}$  克/厘米<sup>3</sup>，甚至更大，半径缩到引力半径以下，而形成“黑洞”，并不是不可思议的。目前对“黑洞”形成途径的一般看法也就是这样的。

但是，正如列宁说的“任何真理，如果把它说得‘过火’（如老狄慈根所指出的那样），加以夸大，把它运用到实际所能应用的范围以外去，便可以弄到荒谬绝伦的地步，而且在这种情形下，甚至必然会变成荒谬绝伦的东西。”我们认为，某种恒星，处在一定的演化阶段，由于重力得不到平衡，而使得收缩成为矛盾的主要方面，密度愈来愈大，体积愈来愈小，引力愈来愈强，以致从这颗恒星表面发出的光线都被拉住，跑不出去，落到它的表面的物质，甚至光线，也全被吞没，都是完全可

能的。把处在这样一个阶段的恒星称为“黑洞”也是十分形象的。条件不同了，天体的形态也变了，从发光转化到发光不见光，这是辩证法的胜利。

有人认为，形成黑洞的收缩过程是一个不可抗拒的过程，再也没有什么力量可以同愈来愈强的引力平衡，也不存在什么新的平衡状态；恒星将无可挽回地无限制地被压下去；一切进入黑洞的物质，也同样会被巨大的引力拉向中心；并且因为相距任意小的两点的引力相差极大，所以趋向中心的任何物质都将受到一个极大的起潮力，被挤压得粉碎；即使小到分子、原子、基本粒子，也都要在这强烈的挤压下，被撕得毫无结构可言！于是，任何物质，连同它们的规律，只要进入“黑洞”，就要“超越”了，无法再认识了。看来，这些人只不过在原来的说法上多讲了那么几句。可是，正是这么几句，却把个“黑洞”变成了一个“荒谬绝伦的东西”。

恩格斯指出：“一切运动的基本形式都是接近和分离、收缩和膨胀，——一句话，是吸引和排斥这一古老的两极对立。”譬如，中子星的存在，是在收缩形成中子核后向膨胀转化——超新星爆发，这一两极对立的产物。黑洞也不应例外。它的收缩必然会被一个新的力平衡而达到一个新的平衡状态。事实上，如果分子、原子、甚至基本粒子都被撕碎，也并不是物质的结构统统消失了，物质的差别没有了。那时候，我们碰到的是比基本粒子还要基本的层次。它们遵循的是物质结构的一些更基本的规律，虽然目前还远没有搞清楚，但是可以肯定，决不会是我们现在已知的一些自然规律。忘记了不同层次的不同规律，拿着我们在处理白矮星、中子星时应用的理论去说明它所能应用的范围以外的运动形态，这本来已经到了“荒谬绝伦的地步”，而由此得出的“恒星将无限制地被压下去”更是



“荒谬绝伦的东西”。按照这样一条形而上学的路子走下去，一个富有生气的“黑洞”，最后只能收缩成为一个几何上的点，除了位置改变这样一个机械运动外，不可能再有别的运动；除了引力之外，任何其他作用也都没有了。这样一个丧失了运动转化能力的东西，如果还没有死灭，也是几乎僵死了。无怪乎，一些热衷于研究有限宇宙的学者，对这样的“黑洞”特别感到兴趣，并且很快就制造了一个“宇宙大黑洞”的理论。还有这样一些学者，他们沉迷在数学的宫殿里，满足于从纯粹的数学来构筑世界，他们忘掉了物质，忘掉了具体的物理过程，提出了宇宙中存在小到几个埃数量级的“小黑洞”。

列宁说：“反动的意向是科学的进步本身所产生的”。我们的任务，是要揭露和批判他们在黑洞问题上制造的种种谬论，不是把“洞”里的糟粕连同“黑洞”一起抛掉，而是从批判中找到研究的方向，解决黑洞的本质问题。诚然，我们现在还不可能指出是什么压力去同巨大的黑洞引力平衡，也不可能找出新的平衡态是什么样的。但是，我们坚信“宇宙中有一个吸引运动，就一定有一个与之相当的排斥运动来补充，反过来也一样”，一个时期的收缩占绝对优势，必定要为以后的某种排斥平衡。我们也期望着从基本粒子或者比基本粒子还要基本的层次中去发现新的世界。同时，正象我们承认目前“看”不到黑洞一样，我们更承认这种“看”不见的运动形式是“可以转化成我们能觉察到的运动的！”就是说，它将要到达的新平衡状态，必然具有同“看”不见的“黑洞”很不相同的性质，而可以为我们觉察。总之，“黑”，不是绝对的黑；“洞”，也不是无底深渊。“黑洞”必定会被认识。即使在现在，我们也可以通过它表现出来的“黑”的性质和“洞”的性质，也就是通过现象的表现来认识它的本质。

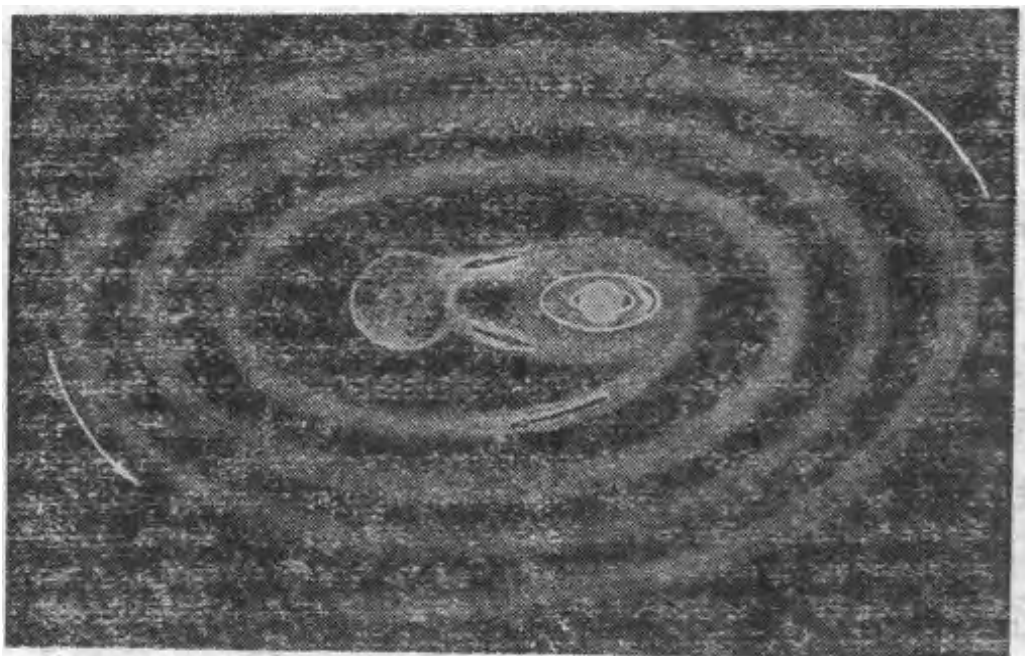


图 7-21 一种被气体云包围的双星模型

譬如，有这样一个双星系统，两颗恒星靠得很近，在各自的引力作用下，一颗星的物质落向另一颗。在坠落的过程中，物体的引力能以辐射的形式释放出来。辐射的频率同引力能的差值有关。差值愈大，辐射频率愈高；差值愈小，辐射频率愈低。根据第二章的辐射频率公式：

$$\nu = \frac{\Delta U}{h}$$

式中  $h$  为一常数。如果双星中的一颗子星是黑洞，由于它的引力极强，所以物质在落向黑洞的过程中，引力能差值  $\Delta U$  是一个很大的数值。辐射的频率将落在 X 射线的波段内，这就是说，当我们观测一颗分光双星时，如果它有一个暗子星，质量大于 3 倍太阳质量，同时又观测到 X 射线辐射，那么，这个暗子星很可能是一个“黑洞”。象天鹅 X-1，是一个很强的 X 射线源。观测表明，它是一个有暗子星的双星系。看得见的是一颗热超巨星，看不见的伴星的质量约为太阳质量的 3 倍。观测到的 X 射线，有一个周期性的掩食，正表明了它是由物

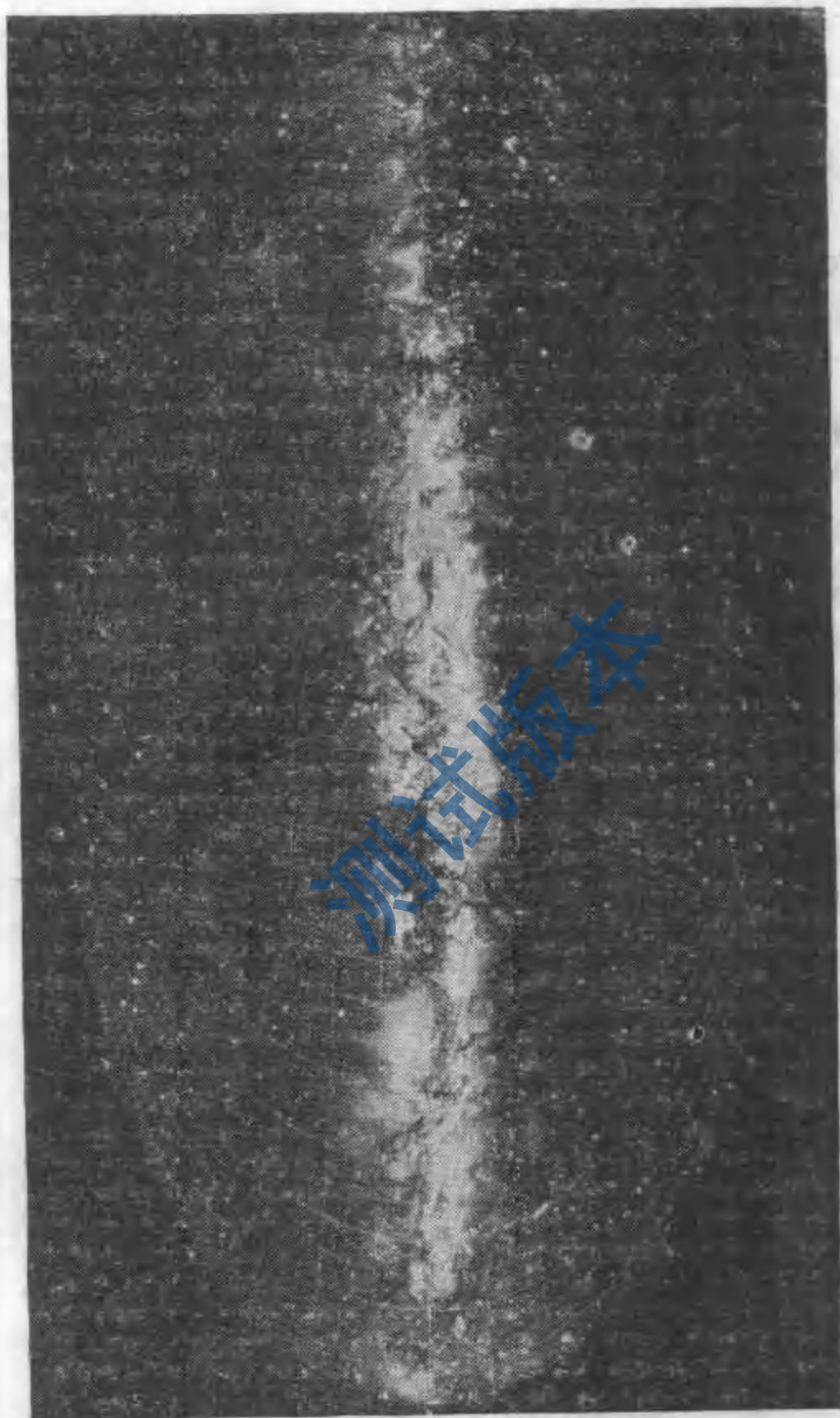
质坠落在看不见的伴星上造成的。其他象天鹅 X-3, 天琴  $\beta$ , 也有类似的情况。

还有这样一个双星, 御夫  $\epsilon$ , 它并不发出 X 射线, 而是一颗食变星。每隔 27.1 年发生一次偏食, 可是它的亮度减弱情况同一般的食变星不同, 很难恰当地去说明。这个双星系的一颗可以看见的主星是热超巨星, 伴星是一个质量大约为太阳质量 20 倍的暗天体。质量那么大的暗天体, 似乎除了黑洞就没有其他可能了。

我们总在双星系统里寻找黑洞, 这是由于我们目前对“黑洞”知之不多的情况决定的。暂时, 我们还只能从黑洞对其他天体的引力作用来寻找它们, 证实宇宙中存在“黑洞”。这离开对黑洞本质的了解当然很远, 因此也就很难“确证”, 譬如, 上面列举的天鹅 X-1 等等对象, 有认为是找到黑洞的, 也有用非黑洞的情况而同样解释了的。在对黑洞的认识更加深入一步以前, 在对现有的引力理论进行改造和发展, 从而对黑洞形成和转化的规律更加清楚之前, 这样的争论, 这样对立的陈述是不可避免的。我们当然不能由此就得出结论, 似乎黑洞是不存在的。同样, 如果因为目前只能在双星系统中寻找黑洞, 而断定我们无法认识单个存在的黑洞; 如果因为黑洞的“黑”和“洞”, 以我们今天的认识手段无法探知, 而断定它同“虚无”差不多, 这岂不是对辩证唯物主义的绝大诬蔑吗! 一个变化、发展的黑洞怎么能看成是僵死的、不可转化的呢?! 同样, 把我们今天的观测手段看作是将来的认识能力, 把今天已知的物理规律看成是将来思维的唯一准则, 这不是把本性上是无限的人类认识能力固定起来了吗! “黑洞”至今还没有找到。但是, 从辩证唯物主义的观点来分析, 难道不应该这样来认识吗!



第八章 银河系



## 一、银汉迢迢

夏夜，人们在户外乘风纳凉，昂首仰视天空，但见一条明亮的带子浩浩荡荡地横贯天穹，气势分外磅礴。这条明亮的带子，人们叫它为“银河”，在我国古代另有天河、银汉、星河等名称，在欧洲则冠以“牛奶色道路”的美名。

夏末无月的夜晚，日落后一小时左右，是观赏银河的良机。牧夫座中的明星大角已偏西了，W形的仙后座正从东北方冉冉升起。银河经仙后、仙王、蝎虎向上延伸。头顶附近，十字形的天鹅座在河上翱翔，天琴座中的织女星和天鹰座中的亮星河鼓二（即牛郎星）隔岸相望。自天鹅座向西南，银河便分道流去，西边的一支比较“短浅”，在天鹅座十分明亮，在天鹰座尚可分辨，最终消失在蛇夫座黑暗的“旷野”里。东边的一支蜿蜒地穿过狐狸、天箭、天鹰、盾牌、人马、天蝎等星座，向地平线奔泻而去。东西两条支流被称做“大裂缝”的黑暗区域隔开，我们的视线似乎进入了无底的深渊。

深夜，人马、天鹰和天鹅逐渐西沉，仙后座升到了天子午线附近，银河的另一部分又映入眼帘。它向东南流去，穿过英仙、御夫和金牛座，淹没在东方的曙光中。秋天黎明之前，我们看到它继续伸向双子、猎户、麒麟、大犬等星座。如果你不愿意熬夜，银河从仙后到大犬座这一段可以在冬季天黑以后去观察。然而，冬季的这一段银河比较暗淡，在御夫和金牛座它变成了狭窄的涓涓溪流。

银河南部的一段隐没在我国广大地区的南方地平线下，不能看到。从天蝎流经矩尺、圆规、半人马、南十字和船底座

本章题头图：银河全貌。





图 8-1 银河在南十字座的部分。照片中央的黑块是著名的“煤袋”

的一段很亮，可以同天鹅和人马之间的银河媲美。南十字座中著名的“煤袋”是银河最黑的区域(图 8-1)。南段剩下的部分从船底经船帆座和船尾座返回大犬。

“天河夜转漂回亮，银浦流云学水声”。我国古代曾把银河认作是天上的河流，并流传着“牛郎织女鹊桥相会”的神话。

银河果真是波浪旋卷的河流吗？

用一架小型的天文望远镜，甚至用一具观剧的双筒望远镜巡视银河，就能揭开它蒙着的一层面纱。无数的星星呈现在望远镜的视场中，密密麻麻地汇合成一条星的“河流”。肉眼分辨不出单个的星星，看起来它便成了白茫茫的一片。把望远镜朝着垂直于银河的方向看去，星星便稀少得多。在十

八世纪,人们从恒星向银河高度密集的现象中领悟到,天上的恒星和银河,包括我们的太阳在内,组成了一个庞大的系统——“银河系”。它形如扁平的盘子,更象运动员投掷的铁饼。银河这条带子的中线大体上把天穹分成相等的两半。请你思索一下,这正表明了我们的太阳很靠近银河系的对称平面。要不然,如果太阳位于离银河系对称平面很远的地方,银河将只占据天穹之一角。银河在人马座达到最大的宽度和亮度,后面我们将谈到银河系的中心就在人马座的方向。

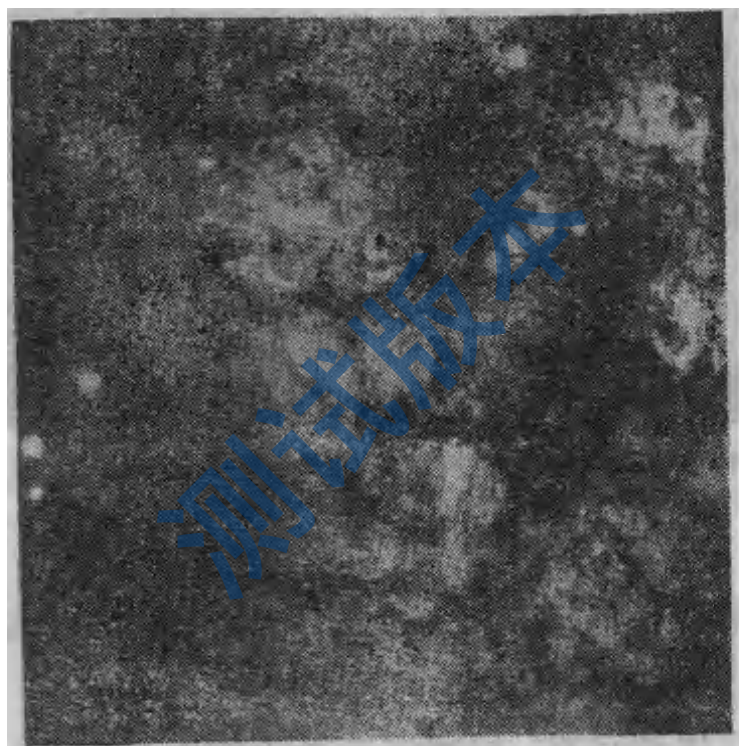


图 8-2 银河在人马座的部分

在研究银河系的结构时,选用“银道座标”最方便(图 8-3)。银河的中线称为“银道”,它和天赤道倾斜成  $62^\circ$  的角度。同赤道座标类似,银纬自银道量度,向北为正,向南为负,从  $0^\circ$  至  $\pm 90^\circ$ 。银纬  $+90^\circ$  表示北银极的方向,  $-90^\circ$  为南银极的方向。银经沿银道按反时针方向计量,银河系中心——银心——的方向取为起算点,从  $0^\circ$  至  $360^\circ$ 。

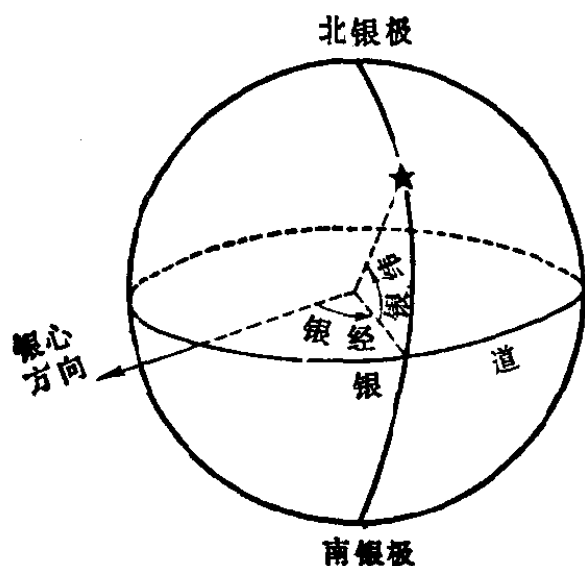


图 8-3 银道坐标

银河系是一个更加广阔的世界，它的直径达十万光年，厚一万光年，包含着千多亿颗恒星。拿地球上的标准来衡量，太阳系可算大了，如果以冥王星的轨道作为太阳系的边界，太阳系的直径为 120 亿公里，可是同银河系相比，这算得了什么呢？只不过是沧海之一粟。至于我们居住的地球那更不必说了。我们面临着一个更高一级的天体系统，前面讲过的各种星体都是这个系统的成员。下面我们还要继续讲述银河系中包含的天体和它的结构。

## 二、恒星集团

留意星空的人不会不注意到金牛座中的一串星。在北风凛冽的初冬，天黑后不久它挂在东边的天空里；在万木吐翠的春天，它移到了西方的天空之中。这串星肉眼只能分辨出六、七颗，用望远镜能看到几十至几百颗，它们簇聚在一个体积不大的空间内，成为一个恒星集团。这串星位于我国古代二十八宿中昴宿的区域，故取名昴星团，又有“七姊妹星团”之



称(图 8-4)。对双星和聚星, 加上现在我们遇到的星团的统计, 表明在银河系内恒星成群结队是很多的, 并不比单个的恒星少。

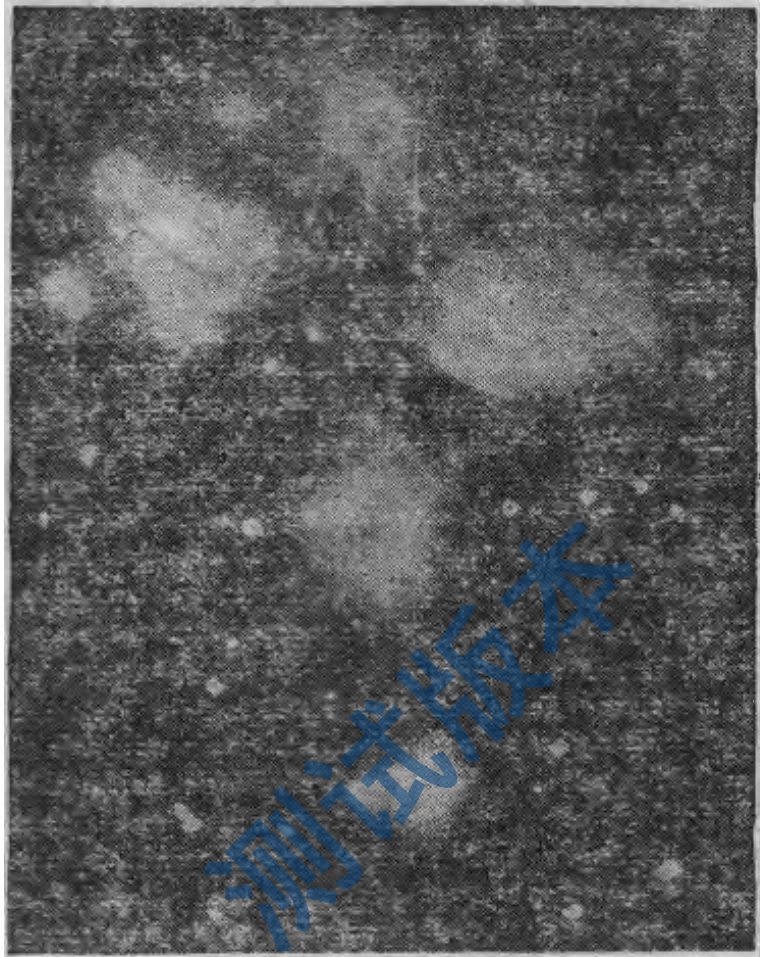


图 8-4 昴 星 团

昴星团是最著名的一个星团。它离我们 127 秒差距, 大约 300 个星占据了直径 4 秒差距的范围, 星与星之间的平均距离大约是 0.6 秒差距(2 光年)。我们记得太阳到比邻星的距离是 4.3 光年, 可见昴星团里星的分布比太阳附近密得多, 但也不算太拥挤。

离昴星团不远, 在毕宿的区域内, 金牛座中最亮的星毕宿五附近的一些星组成了另一个星团, 名叫毕星团。这个星团距离更近, 只有 42 秒差距, 直径约 5 秒差距。还有巨蟹座蜂巢

星团、英仙座双星团，在天气良好的条件下，肉眼看来呈雾状的斑点，在小望远镜里就可看出它呈星团的形态。它们都是天文爱好者涉猎的目标。

以上列举的几个星团属于“疏散星团”。这类星团形状很不规则，包含的星数仅十几个到几百个，直径从几个秒差距到十几个秒差距。银河系内已发现约 1000 个疏散星团，它们都无例外地分布在银道平面附近，故又名“银河星团”。后面我们将叙述在银道平面附近集聚着大量的吸光物质，因此必定有许多遥远的疏散星团被吸光物质遮住，未能发现，而且距离愈远的星团，愈不容易从银河密集的星场中分辨出来。银河系内疏散星团的实际数目绝不止 1000 个，估计有一万多个。

另有一类“球状星团”，它们的形态呈球状或扁球状。疏散星团内恒星分布得较松散；而球状星团是更密集的恒星集团，几万至几十万颗星簇聚在直径几十个秒差距的体积内。即使用大望远镜拍摄，照片上星团中央部分一片灰白，仍分解不开单个的恒星。如果设想我们的地球位于一个球状星团中，那么必定看到天空中有许多非常明亮的星，蔚为奇观。最亮的一个球状星团位于半人马座内，名叫半人马座  $\omega$ ，视亮度为 5 等，距离 5000 秒差距，我国只有南方地区才能看到。武仙座球状星团（图 8-5）和猎犬座球状星团是北半天球两个美丽的球状星团，距离分别为 7700 秒差距和 13000 秒差距，质量分别等于太阳质量的 30 万倍和 21 万倍，用小望远镜可以看到。

在球状星团内发现了很多天琴 RR 型变星（见第七章），这类短周期脉动变星因此又称为“星团变星”。天琴 RR 型变星的绝对星等天文工作者了解得较有把握，只要测定它们的视星等，就可算出距离。这是定球状星团距离的一种优良的方法。目前已发现了 121 个球状星团，它们在空间的分布曾



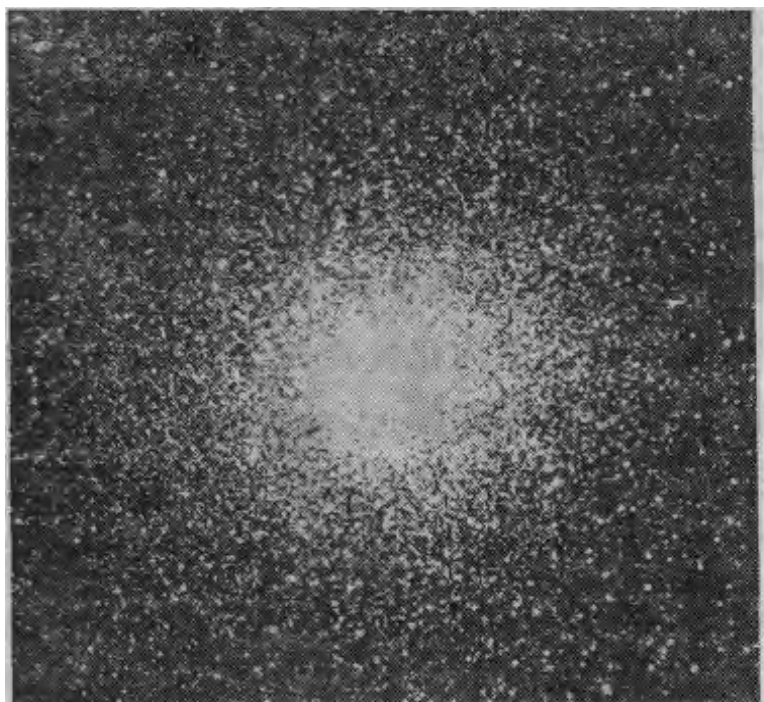


图 8-5 武仙座球状星团

导致天文工作者定出了太阳在银河系中的位置。球状星团在银河中的分布是不均匀的，大多数分布在夏季银河所在的半个天穹上，冬季银河的半个天穹上很少。人马座的领域仅占整个天穹的 2%，但却有 30 个球状星团，占已知总数的四分之一，位于该星座的方向。联想起从天鹅经人马到船底的半条银河比从天鹅经猎户到船底的另一半亮得多，银河在人马座的部分最亮最宽，因而我们可以得出结论：太阳不在银河系的中心，而是位于比较偏于边缘的地方。从地球上看到银心在人马座的方向；与此相对的反银心方向，即从银心联向太阳的半径的延伸方向，在御夫座内。

我们测定了各个球状星团的距离，便标出它们在银河系内的空间位置。同疏散星团密集于银道平面两傍呈盘状的分布成明显的对照，球状星团呈扁球形的空间分布，好象组成了银河系的“晕”。晕的中心就是银心，离我们 10000 秒差距(33000 光年)。与用其他方法测定的太阳到银心距离的数据大致是符

合的。球状星团基本上对称地分布在银道平面的南北，但在银纬  $\pm 2^\circ$  之内没有它们的踪迹。这是银道平面附近大量的吸光物质把它们遮蔽了的缘故。

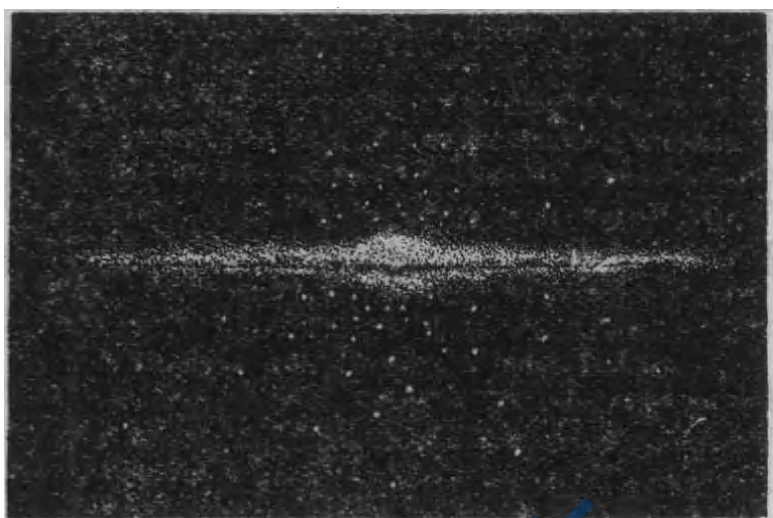


图 8-6 银河系示意图,沿银道平面看

疏散星团和球状星团都是具有多种光谱型恒星的聚集体。疏散星团的主要成员是主序星，有的从 O 型起直至晚型，有的由 B 型或 A 型带头。除主序星外，有的星团还包含一些巨星。球状星团没有 O 型、B 型这样的早型星，而由光谱型较晚的主序星、红巨星和天琴 RR 型变星等组成。

在银河系中，还有一种名叫“星协”的恒星集团。几十至几百颗大体上同类型的星聚在直径为几十秒差距至一、二百秒差距的空间内，形成一个有物理联系的系统。星协分“O”星协和“T”星协两种，前者主要由 O 型、B 型星组成，后者以金牛座 T 型星为主。金牛座 T 型星是一种变星，亮度变化很不规则，发亮时光谱中出现强的发射带，光谱型一般晚于 F 型，光度比同光谱型的主序星稍大些，在赫罗图上位于主星序的上面，它们常与星云物质相伴随。星协不象星团那样能通过望远镜一目了然地看出，它是从某一天区内各种光谱型的恒

星中选出同类型的星，并证明这些星聚在不大的体积内而被发现的。已确定了几十个星协，它们都分布在银道平面附近。星协大致呈球状，体积比疏散星团大，结构更为松散，是一种不稳定的正在很快瓦解的恒星集团。根据成员星空间速度的测定，发现星协在扩张，成员星好象从一点出发，向四面八方飞散。瓦解了的星协成员逐渐成为银河系普遍星场中的孤独的恒星。从星协的半径和扩张速度倒推出在几百万年前星协的成员会聚于一个很小的范围内。因此，星协是年龄只有几百万年的年青的恒星集团，其成员都是年青的天体。以后讲天体演化问题时我们还会提到它。

### 三、在星际空间

在银河系里，既有一个个结结实实的星球，恒星簇聚在一起的星团，又有稀稀拉拉的东西，展现了聚集和弥散的不同状态。

用望远镜沿银河巡视，在令人眼花缭乱的星场之中，夹杂着许多雾状的斑点，有的明亮，有的晦暗。天文工作者对它们都照了相。无规则的形态使它们获得了“弥漫星云”的称号。有几个星云的照片凑巧和实物很象，我们选登了几幅。你看，猎户座马头星云难道不象马头吗？玫瑰星云和网状星云的形象也很逼真。

弥漫星云都分布在银道平面附近。按照明亮或晦暗，又有“亮星云”和“暗星云”之分。猎户座星云、昴星团中的星云（图 8-4）、玫瑰星云等都是发亮的。在亮星云内或近傍必有足够亮的星，这些星并不是由于透视和星云投影在一起，而确实是同星云比邻的。正是星云近傍的亮星才使星云放出光辉。





图 8-7 猎户座星云



图 8-8 玫瑰星云

用摄谱仪拍摄星云的光谱，可进一步揭示星云发亮的原因。有一类亮星云的光谱和近傍亮星的光谱相似：连续光谱加吸收线，正如月亮和行星的光谱基本上就是太阳的光谱，说明它们反射了太阳光，这类星云也是靠反射了近傍亮星的星光，才使自己变得亮晶晶。所以，这种星云称反射星云。而使星光遭受反射（确切地说是漫射）的因素是星云内存在尘埃，颇象电影放映机射向银幕的光线受到灰尘漫射的情景。昴星团中的星云是这类反射星云的一个例子。另一类亮星云，如猎户座星云、玫瑰星云，具有发射线光谱，是由稀薄气体产生的，表明星云内有大量的气体。在这些星云的近傍必有高温的 O 型星，富含紫外线的星光激发这些星云内的气体从而使这些星云自己也发出光芒。这种星云称发射星云。反射星云近傍的照亮星光谱型多种多样，从 B 型到 G 和 K 型都有，就是没有高温的 O 型星。而温度较低的星的辐射是没有能力激发气体发光的。因此，反射星云和发射星云光谱不同并不表示两者的组成有差异，它们都包含气体和尘埃，决定的因素是近傍亮星的类型。如果把 O 型星移到反射星云的旁边，我们相信，反射星云会立即变成发射星云。

在壮丽的猎户星座中央有一个肉眼看来模糊的斑点，它就是著名的猎户座星云(图 8-7)。一些明亮的高温星点缀在星云的中央和周围，激发了氢气，发出绿色的光辉。该星云离我们约 1500 光年。它是一个巨大的弥漫星云，估计直径达 300 光年，但只有直径约 25 光年的一小部分被星光照亮而被我们看到，表现为图 8-7 的形态。星云比恒星要稀薄得多。猎户座星云内每立方厘米大约包含 300 个原子，与地面上的空气中每立方厘米有  $10^{19}$  个分子简直不能比。尽管如此稀薄，星云仍是可见的，这是因为星云范围很大。猎户座星云的





图 8-9 猎户座马头星云



图 8-10 天鹅座网状星云

体积约 7000 立方光年, 包含了  $10^{60}$  个原子, 相当于太阳质量的 1500 倍。

暗星云不发光, 由于挡住了后面的星光而被发现。猎户座中那个马头状的暗星云正是在亮星云的背景上维妙维肖地烘托出来。银河自天鹅座起的“大裂缝”, 在南十字座的“煤袋”, 并不是我们的星系中没有星聚集的窟窿, 实际上它们是离太阳不远的暗星云, 这种巨大的帷幕遮掩了后面的星星。“煤袋”这个暗星云距离约 400 光年, 直径 40 光年。暗星云和亮星云没有本质的区别, 如果把星星移到前者的近傍, 它也会被照亮而被我们看到。

天鹅座网状星云(图 8-10)是发射星云, 呈圆弧形, 激发星云的高温星还未证认出来, 天文工作者猜测它可能是古代超新星抛出的气壳的残迹, 好象晴朗的天空中仅存的一缕残云。读者已知道 1054 年的超新星爆发产生了著名的蟹状星云。

我们再来看名叫“行星状星云”的星云。图 8-11 和图

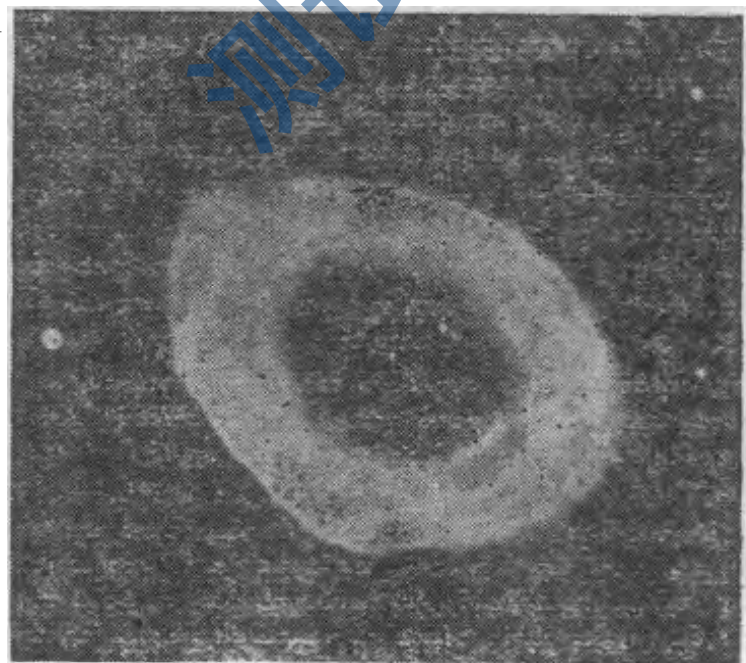


图 8-11 天琴座环状星云

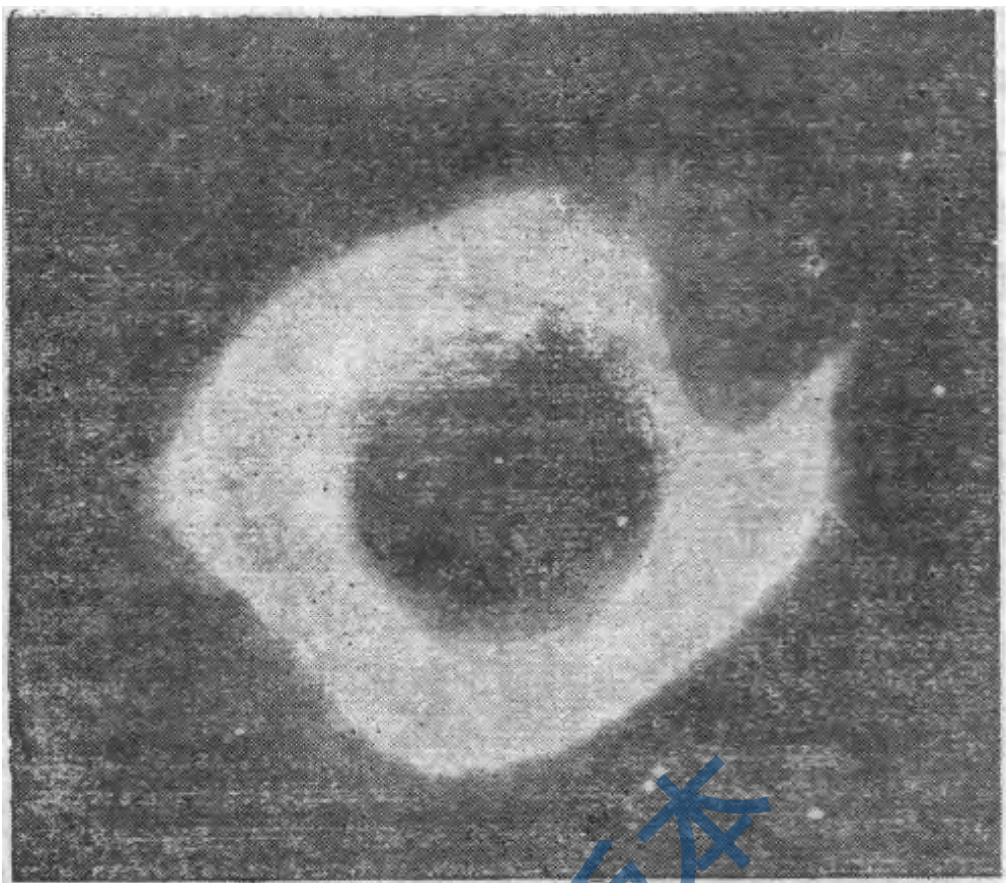


图 8-12 宝瓶座耳轮星云

8-12 的两个星云都属这一类。顾名思义，行星状星云呈大行星那样的圆轮，星云的直径自一万多个天文单位至十几万个天文单位。已发现约 700 个。行星状星云具有发射线光谱，在星云的中央总有一颗表面温度高于 30000 K 的恒星，星辐射出强烈的紫外光，激发星云发光。行星状星云以每秒几公里至几十公里的速度向外膨胀，显然它是在过去某个时候从中央星抛出的气体形成的。新星和超新星爆发时气壳膨胀的速度分别达每秒几百公里和每秒几千公里，相比之下，行星状星云的中央星经历了不太激烈的爆发过程。超新星和新星爆发，行星状星云，太阳风，落到地球上的流星和陨星……我们看到了一幅幅星和星际空间频繁地交流物质的画面。

我们的银河系幅员辽阔，让众多的星球宽敞地居住着。



在太阳附近，平均边长 2.5 秒差距的正方体内只有一颗星。在这广袤的星际空间中，除了看得见的各种星云外，还有没有物质存在呢？这个问题对于研究银河系至关重要。天文工作者根据星的真亮度和视亮度确定遥远星球的距离。视亮度随距离的增加而减弱，假如星际空间不是绝对真空，星际物质吸收星光便使星的视亮度受到额外的减弱，如果忽略了这个因素，就会夸大星的距离。好象雾中的灯塔显得很暗淡，如果我们不知道海上已起雾，我们会把近处的灯塔误认为是远方的灯塔。历史上天文工作者曾经认为星际空间是洁净透明的，作出了一些错误的结论。在本世纪中发现了很多现象，无可辩驳地表明星际空间还有更加稀薄的气体和尘埃存在。

在遥远恒星的光谱中，除了恒星本身产生的吸收线外，发现了一些附加的吸收线。对分光双星，这两种吸收线的区别尤其明显。由于双星作轨道运动，属于恒星的吸收线具有周期性的多普勒位移，而一些附加的吸收线在光谱中的位置是固定的(图 8-13)，因此很易辨认。它们由星际空间中的气体产生。星际气体的成分已证认出含有钙、钠、钾、钛、铁、氢等元素，同太阳和大多数恒星的化学组成类似。

恒星的颜色和光谱型取决于表面温度。光谱型相同的星应当呈现同样的颜色。可是，天文工作者比较同一光谱型的近星和远星，发现远星比近星的颜色偏红些。这种星光红化的现象又是星际物质的干扰造成的。天文工作者进一步发现，星际物质对不同波长的光吸收不一样，有选择性，紫光吸收比红光厉害，比率为 2:1。我们先考察星际气体。气体分子和原子对光的漫射具有强烈的选择性，波长愈短的光漫射愈厉害。地平线上的太阳和月亮颜色偏红就是这个道理，光线在地球大气层中经过较长的路程，大气分子漫射波长短的

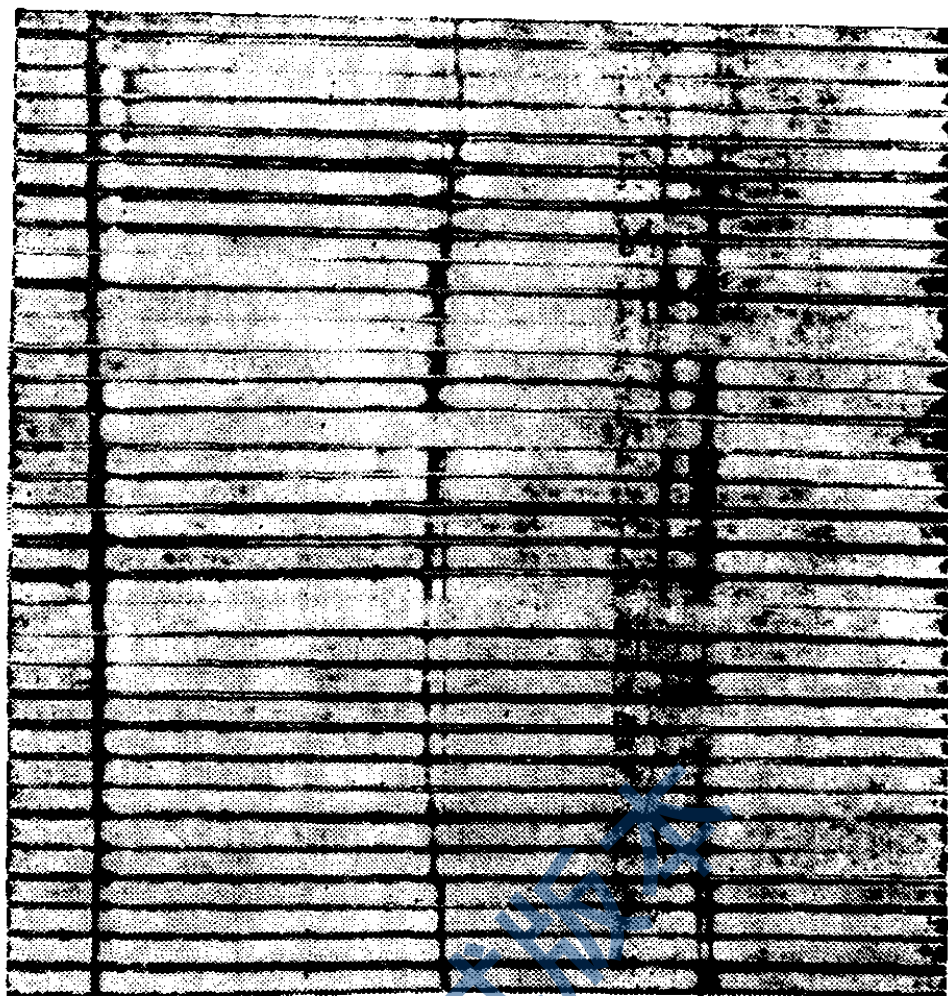


图 8-13 天琴座  $\beta$  这颗双星的一系列光谱。注意电离钙 3934 埃这条谱线(箭头所指), 双星产生的作周期性的多普勒位移, 固定不动的是星际吸收线

蓝光多于波长长的红光, 红光容易透过大气, 映入人们的眼帘。可是分子、原子吸收紫光比吸收红光厉害 16 倍, 与观测结果不符。因此, 使星光红化的不是星际气体。我们知道, 一般石子的直径比光的波长长得多, 石子对照在它上面的各种波长的光都“一视同仁”地挡住, 没有选择性。但直径同光波长差不多的尘埃能够漫射光, 改变颜色, 而且对紫光和红光吸收的比率正是 2:1。于是, 天文工作者从星光红化推出星际空间中存在直径为  $10^{-4}$  毫米的宇宙尘。这种宇宙尘虽然异常微小, 和原子相比仍大得多, 每粒灰尘内包含



数以亿计的原子。

星际物质的存在使得根据恒星的真亮度和视亮度定距离的方法复杂化了,必须作星际物质吸光的改正。这种改正因方向和距离的不同而异。在银河系中,星际气体和尘埃也不是均匀分布的,它们向着银道平面密集,离银道平面愈远愈稀薄。在银道平面附近,星际气体的平均密度为每立方厘米0.6个原子,即边长1000公里的正方体内含1.2克气体。尘埃更少,质量大约只有星际气体的十分之一。如此稀薄的密度比地上实验室能造成的“真空”还空得多。但从天文的角度看,这样的密度是不能忽视的。就太阳附近而言,如果把星研成粉末撒到星际空间,密度也只能增加几倍而已。恒星彼此相距非常远,除了恒星的近傍,星际空间中的各点接收到的星的辐射能是微乎其微的,以至星际空间的温度低达3K,即摄氏零下270°。

波长比可见光长得多的无线电波容易透过星际物质。分子能级之间的跃迁引起的辐射大部分落在红外波和无线电波的区域。因此,射电望远镜才是探索星际物质的有效工具。本世纪五十年代初成功地接收到了银河系星际空间中氢原子发出的21厘米波长的辐射。此项发现的重要性我们留在后面叙述。六十年代以来,人们陆续发现了二十几种星际分子的射电谱线,无机和有机这两大类分子均有。前者如水蒸汽、羟基(OH)、氨、一氧化碳、一氧化氮、氰(CN)等,后者如甲醛、甲醇、蚁酸等。星际有机分子的发现是近十余年来天文学的几项重大发现之一,对宇宙中生命现象的研究有很大的启示。它引出了科学工作者目前还迷惑不解的一些新的研究课题:较复杂的分子,如包含六个原子的甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ ),在低密度和低温的星际空间是如何形成、保存的,它们的射电辐射为什么

如此强……新问题层出不穷，人的认识也永无止境。

#### 四、旋转的银河

古代的人凭借直觉把天上的星星分为行星和恒星。前者只有屈指可数的几个，在由后者构成的星座中游荡。多少个世纪过去了，星座的轮廓看不出有变化，恒星似乎是名符其实的固定不动的星。这种观念到十八世纪才被精密的天文观测所打破。恩格斯说：“运动，就最一般的意义来说，就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维。”我们姑且不谈地球上千变万化的物理过程，这种过程在太阳和恒星的章节中已见一斑，就拿最简单的机械运动——物体位置的移动——来说，也没有那一个星球是不动的。让我们来揭示不易察觉的恒星的运动，特别是太阳的动向。

你站在海边，眺望地平线上的轮船，觉得它几乎不动或移动徐缓，而离岸不远的帆船很快从你面前驶过。你不会认为，轮船是不动的，或帆船跑得比轮船快。恒星在天穹上看来不动，也仅仅是由于它们非常遥远。早在八世纪初，我国唐代杰出的天文学家一行把自己测量的恒星位置与汉代测量的位置比较，发现有变化，但他没有对此现象作出解释。过了一千年，欧洲的天文学家于十八世纪前期同样在参照古代记载的恒星位置的基础上，发现天狼、大角和毕宿五这三颗亮星有了明显的移动。此后发现了愈来愈多的星有所谓“自行”的位移。自行以每年在天穹上移动多少角秒来衡量。天狼星的自行是 $1''.32/$ 年，大角的自行是 $2''.28/$ 年，毕宿五的自行是 $0''.20/$ 年。自行最大的是蛇夫座中一颗10等暗星，名叫巴纳德星，距离

6 光年, 每年在天穹上移动  $10''.27$ 。它横越月亮视圆面直径的张角只需 175 年。天文工作者经常对星空照相, 把照片——星星的“档案”——妥善保存起来。恒星的自行可以从同一天区相隔几十年的两张照片上比较恒星位置的差异测量出来, 至今已测量了几十万颗恒星的自行。距离近的星一般说来自行大。自行大于  $1''/年$  的星数目不多。就拿  $1''/年$  的自行来说, 这相当于离我们 1 公里的蜗牛每年在垂直于视线的方向上爬动 5 毫米的情景。试问, 如果经过长时间的累积, 如果没有精密的仪器, 你能觉察蜗牛的位移吗?

大熊座内的北斗七星的自行都已测出, 我们以箭头附在每一颗星上表示自行的方向, 箭头的长度代表自行的大小(图 8-14)。除了天枢和摇光, 五颗星的自行差不多是平行的。天文工作者由此推断十万年前后北斗的形状(图 8-15), 都不象今天的北斗如盛水的勺子。

已知恒星自行和距离的数据, 容易算得在和视线垂直的平面里恒星每年移动的路程, 化成每秒移动的公里数便是“切向速度”。切向速度并不代表恒星在空间的运动速度, 而是空间速度在垂直于视线的平面中的投影(图 8-16)。天文学上研

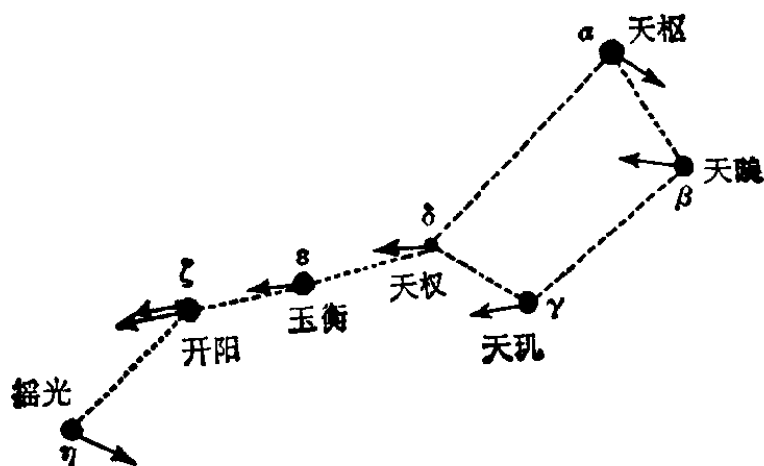


图 8-14 北斗七星的自行

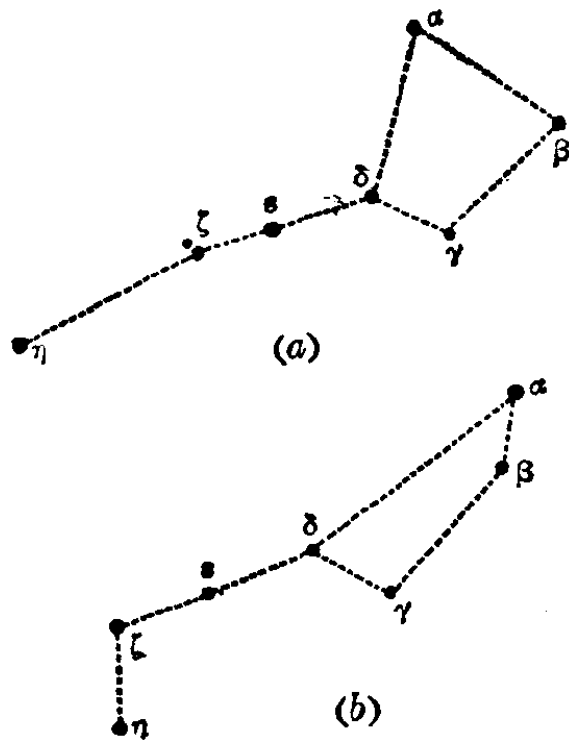


图 8-15 十万年前后北斗的形状  
(a) 十万年前 (b) 十万年后

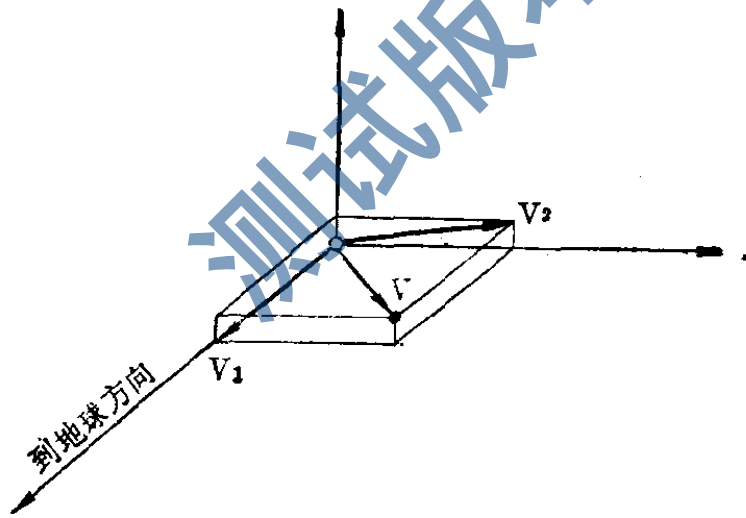


图 8-16 空间速度  $V$  分解成视向速度  $V_1$  和切向速度  $V_2$

究恒星运动的另一数据是视向速度，它是恒星的空間速度在視線方向上的分量，可直截了当地通过恒星光谱中谱线的多普勒位移测定，并不需要知道恒星距离的数据。切向速度和视向速度合成便得空间速度。对于太阳附近的星，空间速度一般为每秒几十公里，比炮弹快得多。

我们更关心太阳的运动。我们位于太阳系内，欲知太阳在空间的飞行，必须观测太阳系外的目标。正如坐在舟中通过岸上目标的移动，可以判断船的行驶方向和速度，从太阳和行星在天穹上的视运动，发现了地球绕太阳旋转。我们在地球上观测恒星的运动，测得的是恒星相对于地球的速度，如果作了地球绕太阳转动的改正，便得恒星相对于太阳的速度。因此，在恒星的自行和视向速度中，都包含着太阳运动的因素，通过恒星运动的研究，就有可能发现太阳的运动。当你坐上汽车在笔直的林荫大道上飞驰时，必定有这样的经验：向前凝视，路旁的树木好象从远处的一点向两边散开；向后探望，树木向远处的一点会聚。我们跟着太阳在空间飞行，也应看到类似的现象。诚然，恒星在运动，情况比固定的树木复杂，但总的效果没有变。天文工作者分析了许多恒星的自行，以箭头表示自行的方向，果然发现了恒星有从天穹上的一点向四周散开，并且向着正相对的一点会聚的现象。太阳率领了它的家族，向着离织女星不远的位于武仙座内的一点奔驰(图 8-17)。

恒星的运动速度如果是紊乱的，朝着各个方向的都有，那

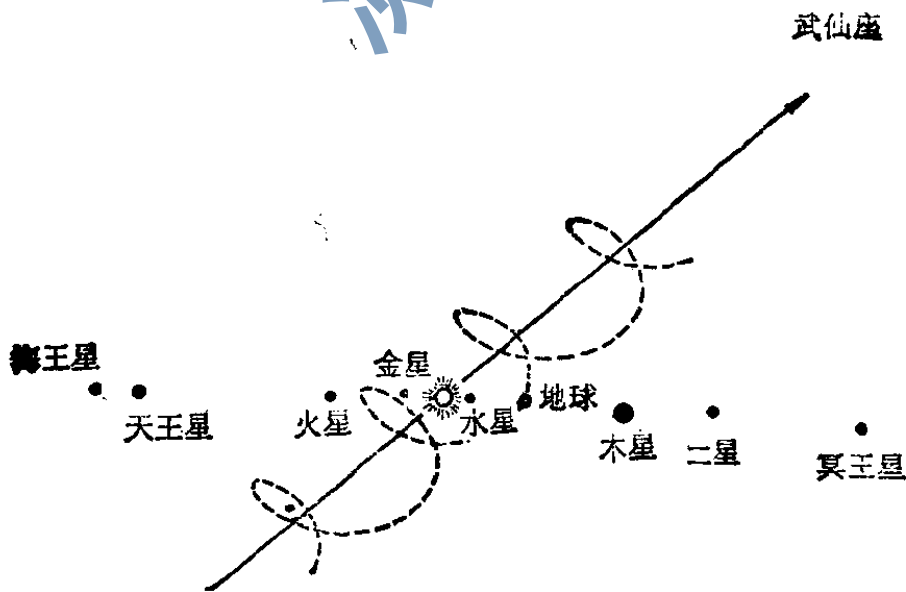


图 8-17 太阳率领它的家族向武仙座方向前进



我们可以对大量恒星的空間速度求平均，恒星自身的运动速度相互抵消了，而包含在恒星空間速度中的太阳运动的成分被分离出来，从而定出了太阳的空間速度为 20 公里/秒。太阳以比炮弹大得多的速度在银河系内飞行，它会同其他恒星相撞吗？我们不用担心，银河系有着广阔的空间，这种碰撞的机会，比两条放进太平洋中的小鱼相逢更为难得。

物体的运动只有指明了对什么对象而言才会有意义。比如，房子对地球而言是静止的，可是对太阳来说房子随着地球以 30 公里/秒的速度在狂奔。因此，我们必须补充一句，太阳以 20 公里/秒的速度向武仙座的方向运动是对太阳附近的恒星而言的。对于远星，比如球状星团，太阳运动就大变样，以每秒一百多公里的速度朝着天鹅座中银经  $90^\circ$ 、银纬  $0^\circ$  的一点飞奔。我们应特别注意银经  $90^\circ$ ，这是同银心（银经  $0^\circ$ ）方向垂直的方向，是否意味着太阳绕银心旋转呢？凡快速旋转的物体不可能是球状的。地球因自转赤道部分隆起。银河系呈盘状已露出了可能在旋转的蛛丝马迹。假使太阳附近的星在绕银心转动，并且速度随离银心距离的增加而减小，如图 8-18 上图所示，在此情况下会出现什么现象呢？相对于太阳，银经  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$  和  $270^\circ$  方向的星 1、3、5、7 的视向速度等于零，而银经  $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$  和  $315^\circ$  方向的星 2、4、6、8 的视向速度不为零（图 8-18 下图）。观测证实了这种现象。银河系在旋转是确定无疑的了。天文工作者测定了太阳相对于银心的转动速度等于 250 公里/秒。太阳离银心 1 万秒差距，以这个距离为半径的圆周长 63 千秒差距，容易算出太阳绕银心转一圈历时 2 亿 5 千万年。

我们一会儿说太阳以 20 公里/秒的速度向武仙座运动，一会儿又说以 250 公里/秒的速度朝天鹅座前进，究竟是怎么

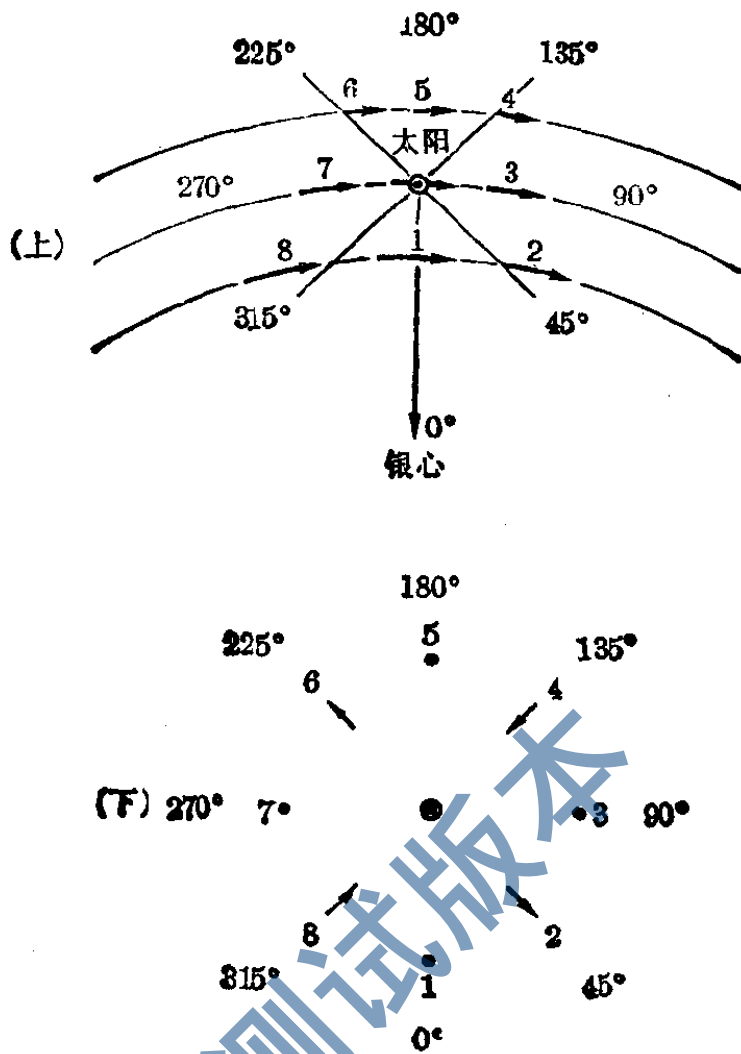


图 8-18 上图：太阳及其附近的星绕银心转动。箭头的长短表示速度的大小。下图：视向速度随银经的变化

回事呢？让我们打个比喻来阐明吧。太阳及其邻近的星好象一群蜜蜂，它们成群结队地朝某一方向飞行，这相当于绕银心的旋转。但蜂群内的每一只蜜蜂相对于其他蜜蜂又有杂乱无章的运动，这和太阳相对于邻近的星向武仙座的运动相当。

银河系旋转的速度随离银心的距离而变化，表 9-1 列出了近代测定的数据。

我们对车轮的旋转和行星绕太阳的转动是熟悉的。车轮旋转时各点的角速度相等，线速度随离轮心距离的增加而按

表 9-1

离 银 心 距 离 (单位: 千秒差距)	0	1	2	3	5	7	9	10	15
旋 转 速 度 (单位: 公里/秒)	0	200	183	193	229	244	255	250	219

正比率递增。固体的旋转都属这一类。行星绕太阳的转动速度愈往外愈小,由刻卜勒定律描述,这是中心天体的质量占压倒优势的天体系统遵循的运动方式。银河系的旋转与上述两种转动方式都不同,旋转速度有起有伏,在离银心9千秒差距处达到极大。旋转速度的这种分布是由银河系内引力的分布控制的,引力的分布又由物质的多寡和分布决定。因而根据银河系的旋转可以推算银河系的质量,正如从行星运动可以算出太阳的质量,只不过情况更复杂而已。银河系的质量大约等于太阳质量的1千4百亿倍。在众星之中,太阳的质量比上不足,比下有余,因此银河系应当包含1千多亿颗恒星。这是一个何等庞大的星城!

## 五、庞大的星城

我们越过太阳系的疆界,走马看花地浏览了银河系这座巨大的星城。现在我们综合所得的结果,将我们的星城再描绘一番。

我们环顾天穹,除了下一章要谈的河外星系,所有的天体都是银河系的成员。它包罗了形形色色的星球,绚丽多姿的星云,以及弥散在广袤空间中的星际物质。星城的主体呈圆盘状的结构,称为“银盘”,大多数的“居民”集聚在这个区域。星城的中心位于圆盘的中央,那里星星最密,称为“银核”。在

银盘的四周稀疏地散落着一些星球,它们构成了扁球形的“银晕”,是星城的郊区,其中点缀着一百多个球状星团,犹如郊区的集镇(参阅图 8-6)。为了对银河系有一个总体的印象,我们将几个重要的数据归纳如下:

银盘直径	25 千秒差距或 8 万光年
银晕直径	30 千秒差距或 10 万光年
银盘中央厚度	1 万光年
太阳附近银盘厚度	5 千光年
总质量	$1.4 \times 10^{11}$ 太阳质量
太阳到银心距离	10 千秒差距或 33000 光年
太阳离银道平面距离	8 秒差距或 26 光年 (位于银道平面之北)
太阳附近银河系的旋转速度	250 公里/秒
太阳附近银河系的旋转周期	2 亿 5 千万年
太阳附近星和星际物质的总密度	0.13 太阳质量/立方秒差距 或 $8.8 \times 10^{-24}$ 克/立方厘米 或 4.4 个原子/立方厘米

当我们叙述银河系的结构时,牵涉到河外星系的知识。银河系和河外星系同属“星系”一级的天体系统,有许多共同之处。如果你完全不了解河外星系,最好先翻阅下一章,然后再往下看。

有一类河外星系具有旋涡状的结构,几条旋臂螺旋式地从核心向外伸展。天文工作者自然会联想到我们的银河系是否也是旋涡星系呢?我们居于银河系内,不象对于河外星系,可以通过望远镜拍张照片就能回答这个问题。正如,从飞机上俯瞰城市,全城的轮廓和布局历历在目,而城市的居民虽然

对城市的局部细节比飞行员看得清楚，但对城市的全貌并不能一目了然。观测表明，旋涡星系的旋臂是由O型星、B型星、造父变星和星际物质等几类天体组成的。这为探索银河系的旋臂提供了线索。具体的办法是分析这几类天体的空间分布。只要测定它们的距离和方位，就可在图上标明它们的空间位置，从而判断它们的分布是否构成旋涡的形状。O型星、B型星和造父变星的资料由光学望远镜获得，而星际气体空间分布的研究是通过射电望远镜实现的。无论光学的或射电的途径都导致银河系是旋涡星系的结论。其中尤以射电的途径对解答这个问题作出了更大的贡献。

光谱分析表明，恒星上最丰富的元素是氢，其含量远远凌驾于其他元素之上。人们自然会联想到，星际气体的主要成分也是氢。可是，星际空间的低温以及星光照射之微弱，使得绝大部分的星际氢原子处于能量最低的基态，它已没有更低的能级可以向下跃迁而辐射。在基态之上的各个分立的能级，其能量比基态的能量大得多，星际氢原子由于吸收星光，从基态向上面的能级跃迁所形成的吸收线波长很短，位于光谱的远紫外区，不能穿透地球大气层，因此用光学仪器是无法在地面上观测星际氢原子产生的谱线，只有到大气外去观测才有可能。本世纪四十年代，天文工作者设想了研究星际氢原子的另一条途径。氢原子由原子核和一个核外电子组成，它仿佛地球和太阳组成的系统，电子除了绕原子核转动外，本身也在自转——物理工作者称之为“自旋”；而且原子核也在自旋。打一个不太恰当的比喻，好象地球和太阳的自转。电子自旋的方向只可能有两种情况：同原子核自旋的方向一致，或相反。在前一种情况下，原子的能量稍大些，因此从自旋同向变到反向有能量释放出来，产生了一条发射线。对于处于基态的氢原子，



由这种方式产生的发射线波长为 21 厘米, 或频率 1420 兆周, 位于无线电波段。相反的过程: 原来处于自旋方向相反的氢原子吸收了 21 厘米波长的辐射, 变到能量较高的自旋同向的状态, 则产生 21 厘米波长的吸收线。可是, 一个处于基态的氢原子在完全没有外界干扰的情况下, 自发地从自旋同向跃迁到自旋反向的几率非常小, 每  $11 \times 10^6$  年才发生一次。如此小的几率起初使天文工作者感到沮丧, 发现 21 厘米谱线似乎渺茫得很。但事物不会是孤立的, 星际氢原子不是存在于真空中, 不可能不受外界的影响。理论计算表明, 一个氢原子同它邻近的其他氢原子——相距约 1 厘米——大约每 300 年碰撞一次, 碰撞大大增加了氢原子改变电子自旋方向的机会, 再考虑到星际氢原子的巨大数目, 可能足以产生能观测到的谱线。天文工作者增添了信心, 终于在 1951 年用射电望远镜接收到了星际氢原子发射的 21 厘米谱线。

我们已说过, 波长比可见光长得多的无线电波很容易透过星际物质这种太空的“烟幕”, 因此 21 厘米谱线的观测对于侦察银河系广大地区内的星际氢的分布, 从而对于旋臂的研究, 是一种比光学观测有效得多的手段。图 8-19 是根据 21 厘米谱线的观测绘出的银河系内星际氢的分布, 旋涡结构便昭然若揭。图 8-20 是根据太阳周围 3000 秒差距内的 O 型星、B 型星以及在这些星附近的氢气云的空间分布资料绘出的。在这范围内有三条旋臂。太阳位于猎户臂的内边缘, 该旋臂包括了猎户座中的许多 O 型星、B 型星和星云。英仙臂位于猎户臂之外, 包括著名的英仙座双星团在内。在银心方向离太阳 1 千多秒差距有一条人马臂。在旋臂之间星和星际物质的密度比旋臂内稀得多。射电观测发现, 在太阳和银心之间离银心 3000 秒差距处有一旋臂, 它在向外膨胀, 视向速度为 53

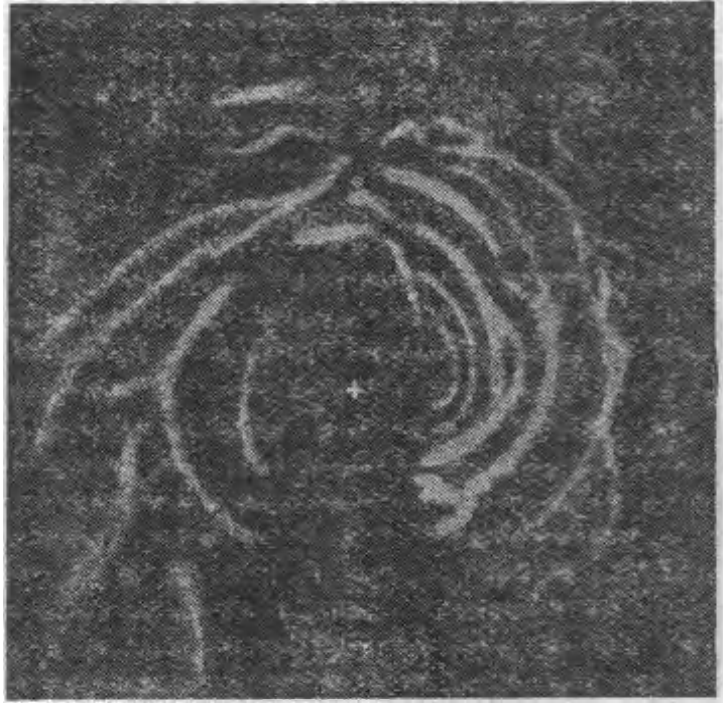


图 8-19 根据 21 厘米谱线的观测绘出的银河系内星际氢的分布。  
 ⊙ 代表太阳的位置, + 代表银心

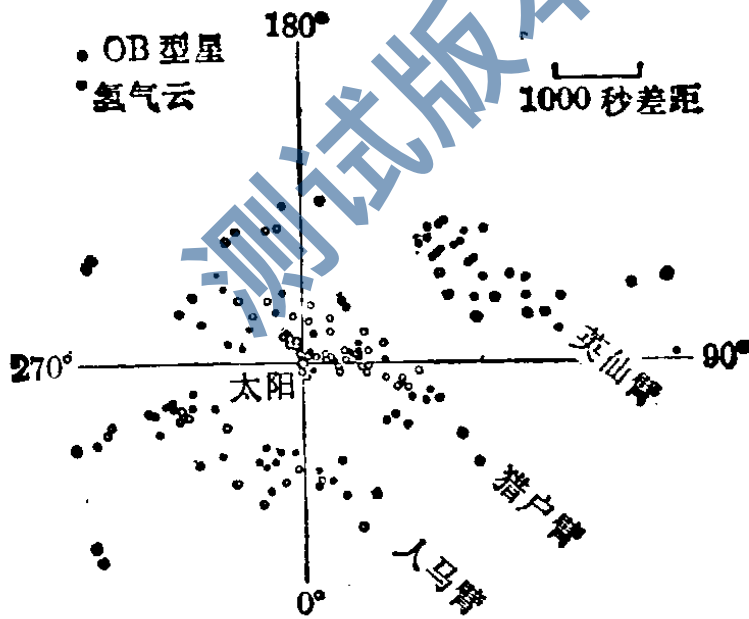


图 8-20 太阳周围 3000 秒差距内的旋臂结构, 这是从 O 型星、B 型星以及同这些星相联系的氢气云的空间分布资料绘出的。图的四边标出了银经

公里/秒。在银心的远离太阳的一边, 也发现了类似的向外运动的旋臂, 主要的一条视向速度达 135 公里/秒。根据旋臂的

观测资料可以设想，从垂直于银道平面的方向看银河系的旋涡结构，大体上如图 8-21 所示。

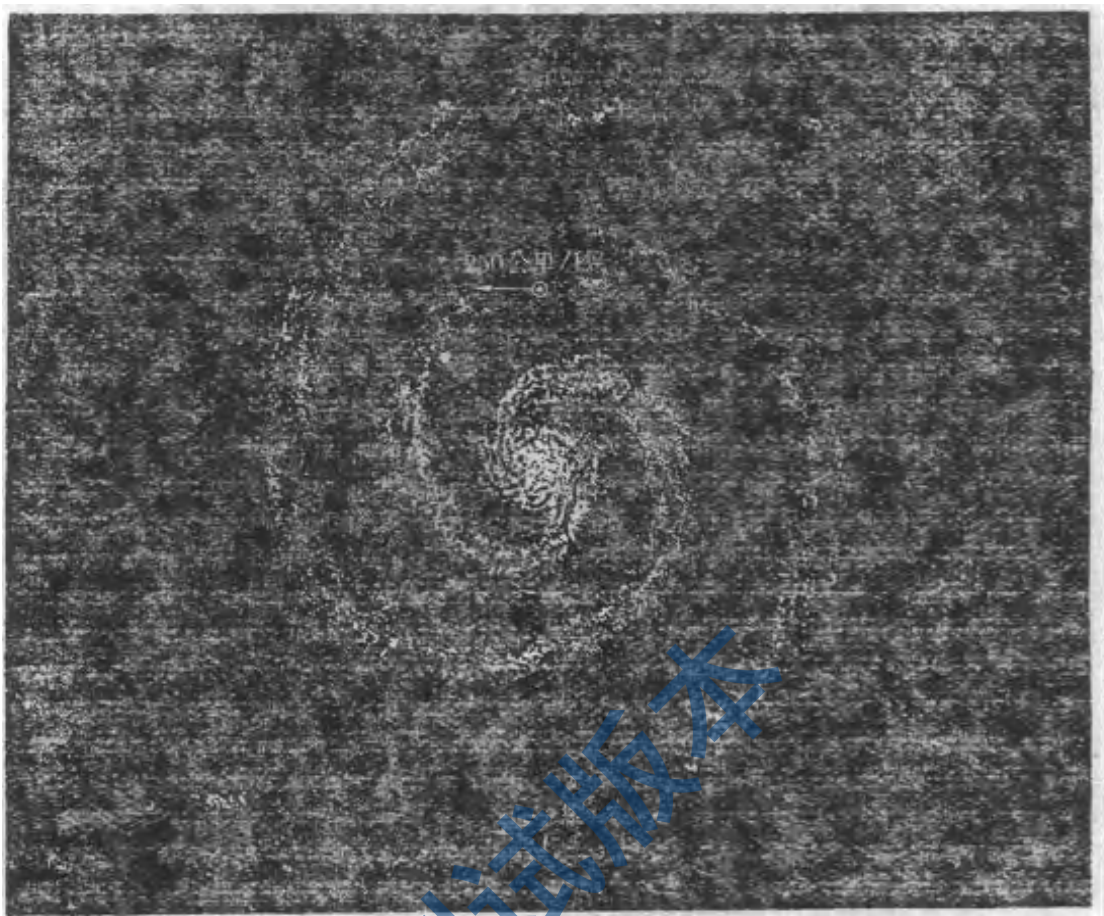


图 8-21 从垂直于银道平面的方向看银河系旋涡结构。

◎ 代表太阳的位置

许多河外星系的中央具有高度稠密的核，有的星系核表现出活动的迹象，甚至激烈的爆发。在人马座方向的银河系中心区域深深地隐藏在层层密布的星际云后面，惟有穿透力强的无线电波和红外光给我们传来了一些信息。我们对银核的了解还很肤浅。银核的直径约十几光年。它包含了许多恒星，愈向中心星愈密。在离中心 1 秒差距处恒星密度估计达到太阳附近恒星密度的几百万倍。射电观测表明，整个银河带中以人马座方向的射电最强，而银核就是人马座中的一个强射电源。这个射电源有一个中央核，直径约 1 光年，是

核中之核，它的秘密还远未揭开。银核是银河系的“心脏”，它的活动必定会引起一些显著的现象。根据观测，现在的银核是较平静的。但过去可能和活动较激烈的一些河外星系的核类似。上述的膨胀旋臂，也许是1千多万年前银核激烈活动的产物。

俗话说：“物以类聚”。纵观河外星系和银河系内的各类天体，它们的布局也是以类相聚的。天文工作者提出了“星族”的概念。旋臂是O型星、B型星、造父变星、超巨星、疏散星团、弥漫星云、星际气体和尘埃集聚的地方，组成了旋臂星族。球状星团、天琴RR型变星等位于银晕和银核内，构成了晕星族。介于两者之间的是盘星族，由白矮星、新星、行星状星云、很多类型的变星等组成（图8-22）。旋臂星族和晕星族是两个极端，通常称为星族I和星族II。这两类星族在许多方面表现很大的差异。星族I向银道平面密集，分布非常扁平；绕银心转动很有规则，轨道近于圆形，转动速度大；成员很年轻。星族II呈扁球状分布；绕银心转动参差不齐，轨道很扁，同银道平面的倾角大，转动速度小；成员年老。天文工作者在研究星球的化学成分时，习惯于把两种最轻的元素氢和氦之外的所有元素统称为重元素。值得注意的是星族I的恒星大气中重元素含量比星族II的恒星多十几倍。这些差异对于恒星和

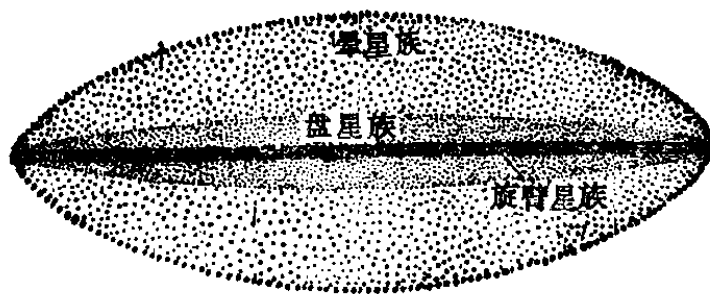


图8-22 三类星族的分布



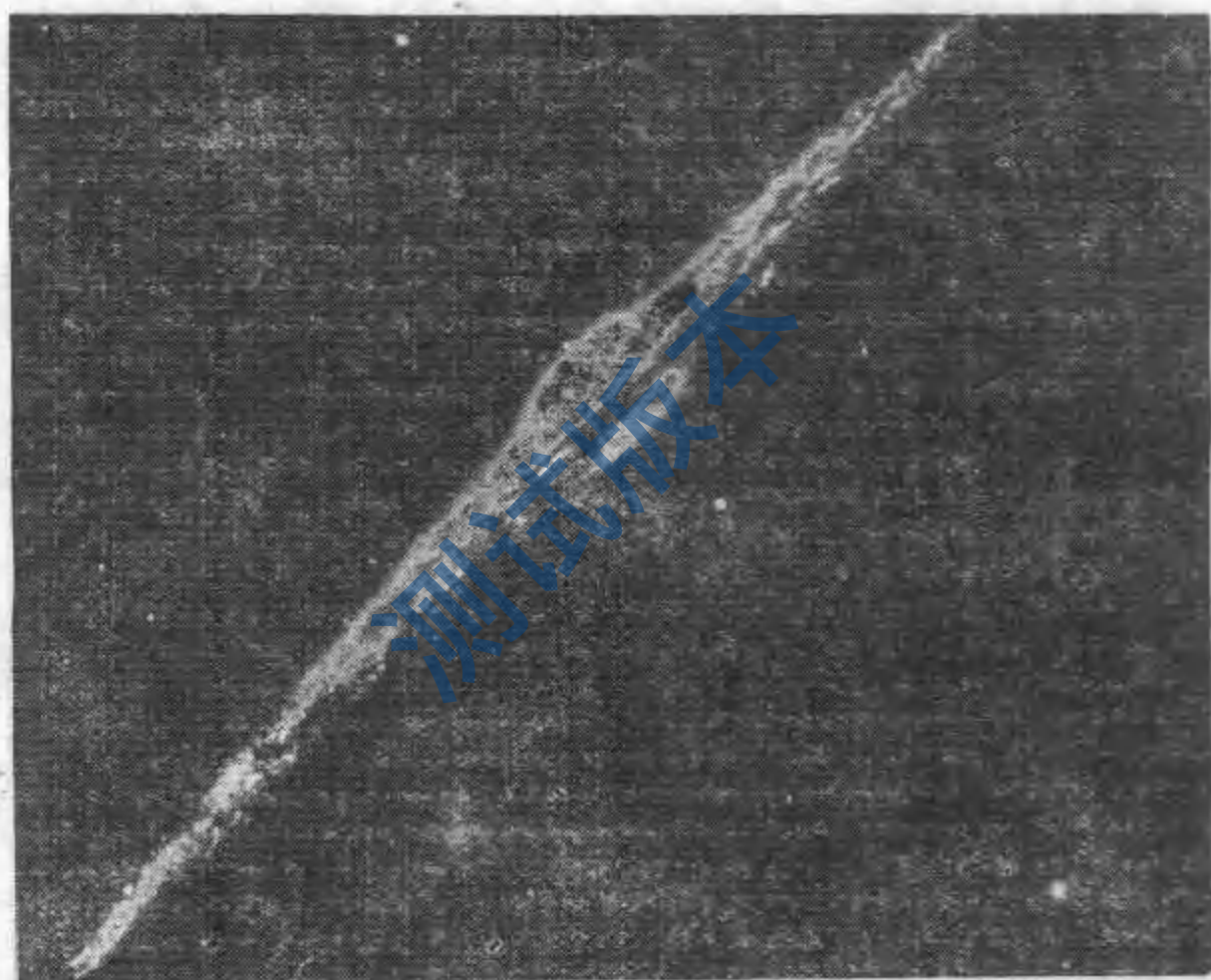
星系的起源和演化的研究提供了重要线索，在最后一章还会提到。

我们已经明了地球在太阳系内的地位，太阳在银河系中的地位。我们惊叹银河系的宏伟，但它并不是整个宇宙。本世纪以来随着天文学的飞速进展，人类的眼界已越过了银河系的领域，进入到更遥远的宇宙空间。“河外有河”，“天外有天”，在银河外有无数的“银河”，一幅更浩瀚无际的画面将展现在我们面前。

测试版本



# 第九章 宇宙島



## 一、巡天遥看一千河

初冬,当夜幕降临的时候,飞马座正方形高悬在子午线附近。正方形东北角上的那颗星其实并非属于飞马座,而是仙女座中最亮的星,名叫壁宿二(仙女座 $\alpha$ )。仙女座的两串星以壁宿二为起点向东北方伸展,北边一串星的第三颗是仙女座 $\mu$ ,在它的西北的一颗暗星是仙女座 $\nu$ 。在无月光的夜晚,视力好的人可以在仙女座 $\nu$ 的近傍看到一个模糊斑点,这便是著名的“仙女座星云”M31(图9-1、图9-2)。早在1612年,望远镜发明后不久,就发现了它。尔后,用望远镜巡视天空,看到了很多云雾状的“星云”。

星云是什么性质的天体?二百多年前,德国哲学家康德等人基于宇宙在空间上无限的概念,认为我们的银河系不会

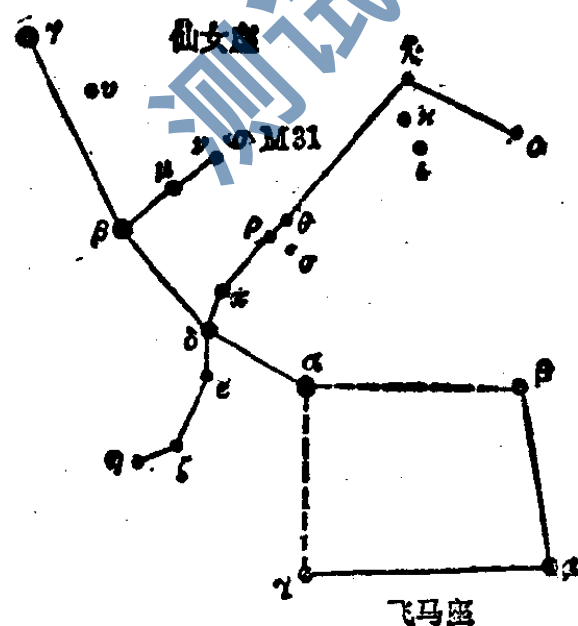


图9-1 仙女座星云的位置

本章题头图:旋涡星系 NGC4565。

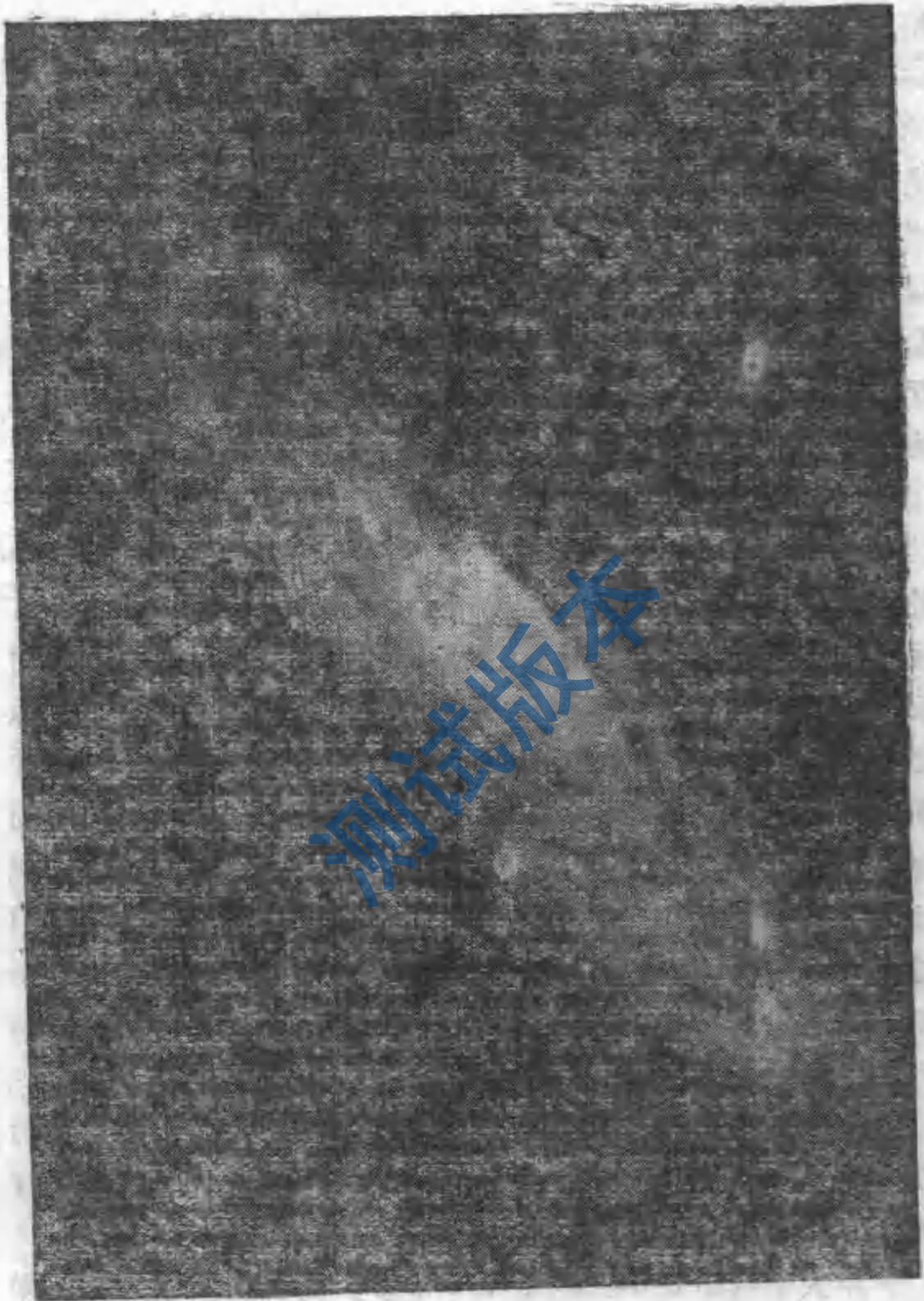


图 9-2 仙女座星云全貌

是宇宙中独一无二的，星云实际上是遥远的象银河系那样的恒星系统。1850年，有人提出“宇宙岛”这个形象化的名词，将散布在宇宙各处的恒星系统，比方为茫茫大海中星罗棋布的岛屿。然而，在当时，宇宙岛的存在还没有严格科学的证据。十九世纪中叶之后，用分光法观测星云，发现有些星云的光谱呈现分立的发射线，是稀薄气体产生的光谱。表明这些星云不是恒星组成的系统。诚然，仙女座星云以及另外一些星云呈现出类似于恒星的光谱，但单凭这点未必能说仙女座星云是由恒星组成的，因为由尘埃组成的星云反射星光也会表现出恒星的光谱。这些观测资料似乎给宇宙岛的观点投上了阴影。“星云位于银河系之内，银河系就是整个宇宙”，这种为宇宙有限论开绿灯的主张又活跃起来。两种对立的观点争论不休，直至本世纪二十年代，随着天文观测工具的进展，才于1924年作了最后的判决。用口径为2.5米反射望远镜对仙女座星云照相，在照片上星云的边缘部分清晰地显出点点繁星(图9-3)；不仅如此，还证认出其中有几颗造父变星，并根据周光关系，推出仙女座星云的距离为80万光年(当时的数据)，远在银河系之外。这就无可辩驳地证实了宇宙岛的观念的正确性。现在，我们称位于银河系之外的主要由恒星组成的“星云”为“河外星云”，或“河外星系”，简称“星系”。至于那些具有发射线光谱的星云，和星系迥然不同，它们是银河系内的主要由气体和尘埃组成的弥漫星云和行星状星云。

星系的证实是天文学上的重大发现，是人类认识宇宙的历程中的一次飞跃，对唯心主义的宇宙有限论是一次沉重打击。

用大望远镜观测到的星系非常多。面积相当于月亮那样大的天区里不暗于21星等的星系估计有三百个，全天当有六





图 9-3 仙女座星云的边缘部分分解为星

千万之多。如果估计更暗的星系，则数目更大。

关于星系的命名，只有很少的星系获得了以所在的星座命名的专名，如仙女座星云、猎犬座星云。众多的星系不可能都起专名，而是以某一本星云星团表上编排的号数命名，在号数前面冠以该表的缩写字母。最常用到的星云星团表有两本，一本以字母 M 代表，另一本为 NGC。例如，仙女座星云又称为 M31 (31 表示表中第 31 号) 或 NGC224，猎犬座星云是 M51 或 NGC5194。

星系的形态多种多样。按通常的分类，大体上归纳为四



类。第一类是“旋涡星系”，它具有一个椭圆形的核心，从核心有两条或更多条“旋涡臂”（简称“旋臂”）延伸出去（图 9-4、图 9-5）。第二类是“棒旋星系”，它有一条通过中心的星“棒”，旋臂从棒的末端伸出（图 9-6）。第三类是形似椭圆的叫做“椭圆星系”，有的近于圆形，有的很扁（图 9-7）。第四类星系形状不规则，没有旋涡状结构，就称它们为“不规则星系”（图 9-8）。

只有离我们较近的星系，才能通过望远镜看清它们的容貌。根据对六百个最亮的星系所作的统计，旋涡星系占 50%，棒旋星系 30%，椭圆星系 17%，不规则星系仅占 3%。

本世纪二十年代，仙女座星云的边缘部分，即这个旋涡星系的旋臂部分分解为星获得成功，但核心区域在照相底片上模糊一团。过了二十年，照相技术有了进步，凭着已知该星系边缘部分最亮的星是蓝超巨星这条老经验，采用对蓝光敏感

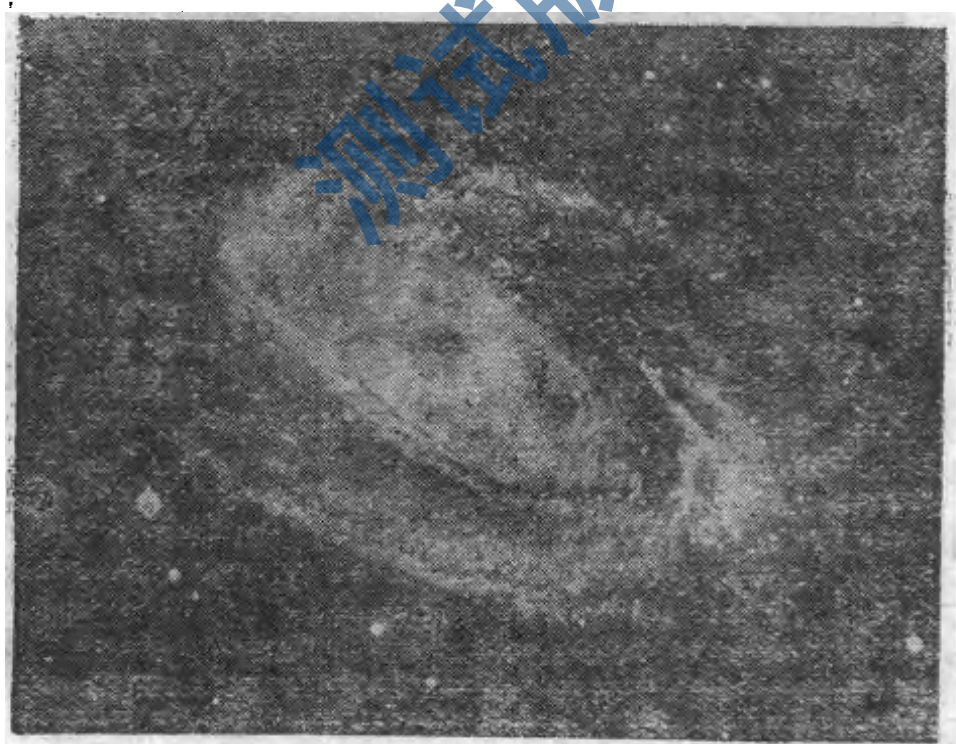


图 9-4 大熊座旋涡星系 M81

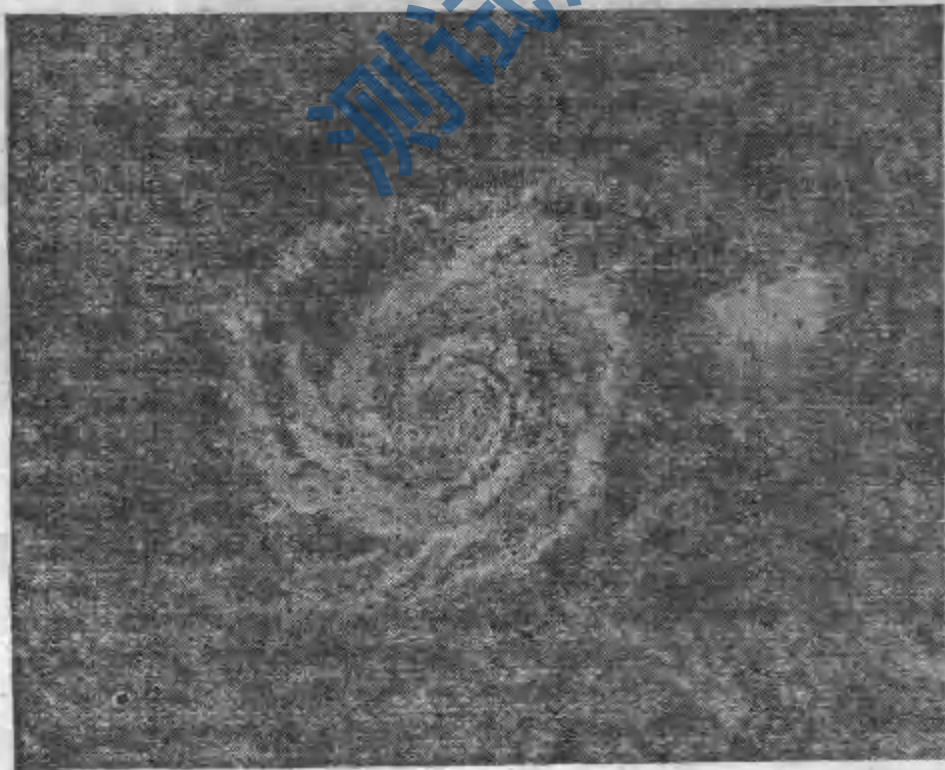


图 9-5 猎犬座旋涡星系 NGC5194 (M51).  
一条旋臂末端的星云是它的伴系 NGC5195

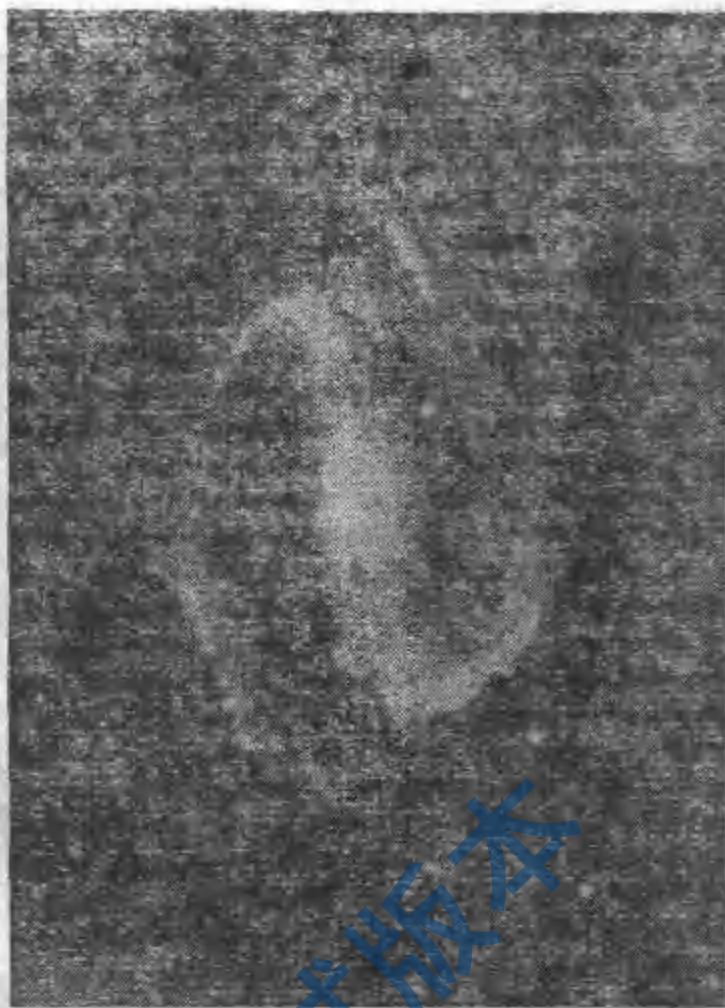


图 9-6 棒旋星系 NGC1800



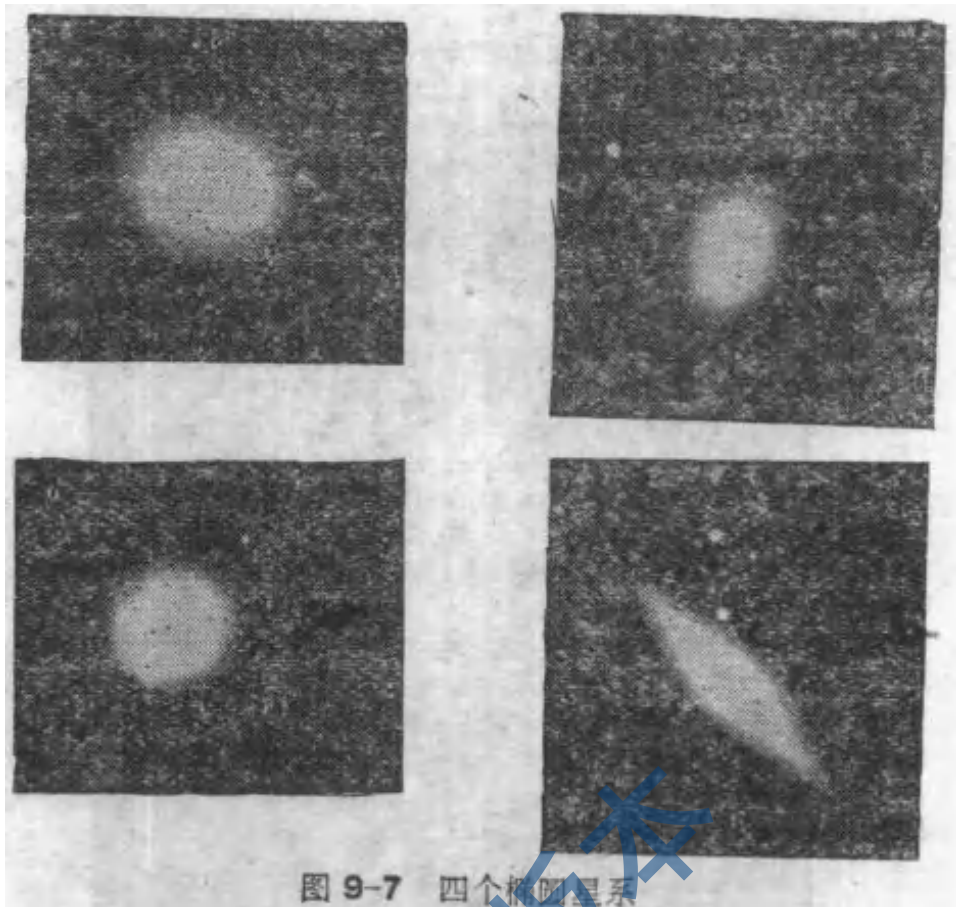


图 9-7 四个椭圆星系

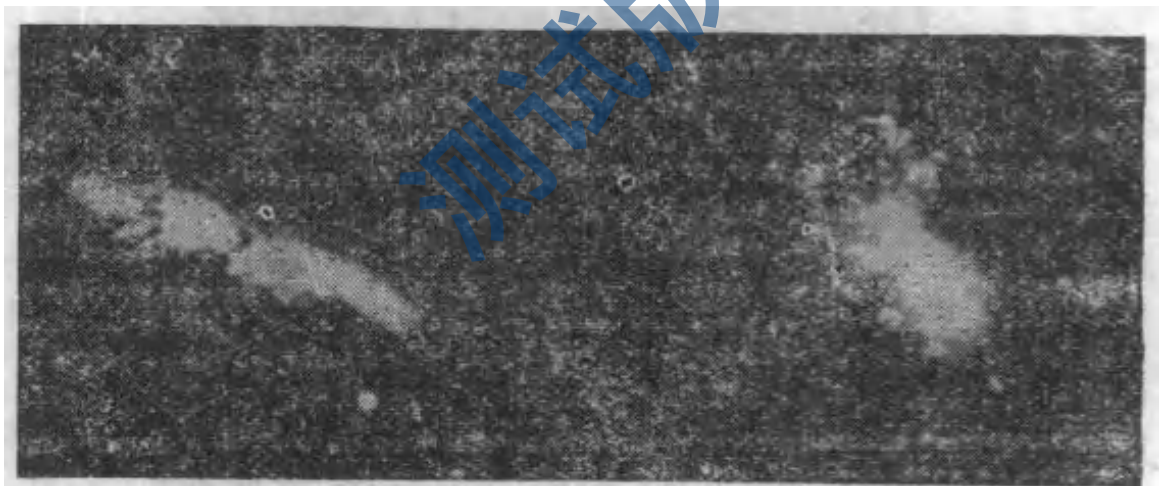


图 9-8 两个不规则星系：(左)为 NGC3034 (M82)，(右)为 NGC4449

的底片，按照预计的曝光时间，试图将 M31 的核心分解为星。可是，底片上仍未获得星象，失败了。随后，改用对红光敏感的底片，立即成功！对几个靠近 M31 的椭圆星系用红光敏感的底片也同样奏效(图 9-9)。原来，旋涡星系的核心区域和

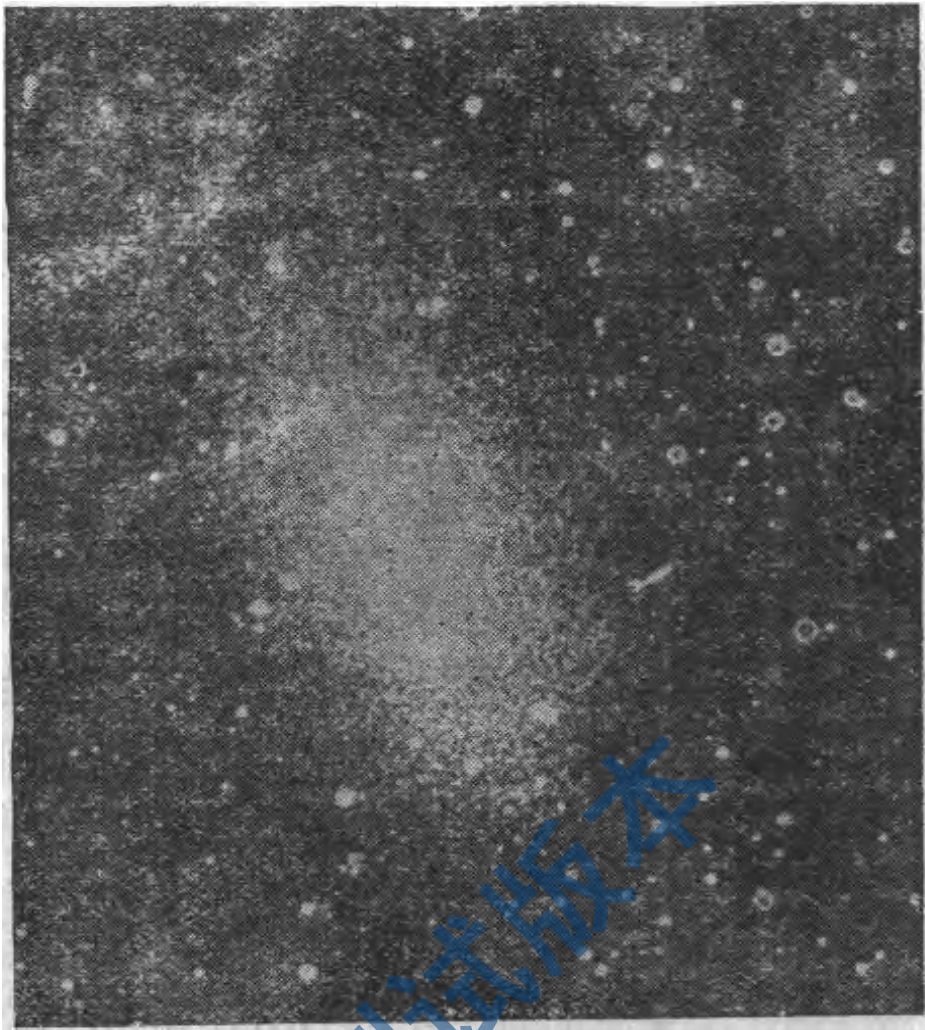


图 9-9 椭圆星系 NGC147 分解为星

椭圆星系内都没有蓝星，最亮的是红超巨星。这导致星族概念的建立。星族 I 组成了旋涡星系的旋臂，旋涡星系的核心区域以及椭圆星系则由星族 II 构成，不规则星系主要包含星族 I 的成员。

我们的银河系是一个旋涡星系，如果在河外星系上眺望，银河系的形态颇象仙女座星云。对银河系和河外星系的 research 是相辅相成的。如果没有河外星系形态的感性材料，我们必然蒙在鼓里，何尝会想到银河系具有旋涡状的结构呢？另一方面，对银河系细节的研究，也为了解河外星系提供了重要的资料。

## 二、银河系的近邻

离南天极不远的星空中，肉眼可以清晰地看到两个很大的星云。较大的一个位于剑鱼座和山案座交界的地方，较小的一个在杜鹃座内。1518~1520年，葡萄牙人麦哲伦率领水手作环球航行，在南半球发现了它们。这两个星云就称为大麦哲伦云和小麦哲伦云（图9-10）。对于北纬 $20^{\circ}$ 以北的地方，这两个星云隐没在地平线之下，因此我国除了海南岛以南的南海诸岛外，绝大部分地区都看不到它们。

在大、小麦哲伦云内各发现了一千一百多颗造父变星。从造父变星的周光关系定出它们的距离，大麦哲伦云离我们17万光年，小麦哲伦云20万光年。因此，它们在银河系外面，位于太阳到银河系中心距离的五至六倍远的地方。这两个星系比银河系小得多，直径分别为银河系的 $1/4$ 和 $1/10$ ，质量分别为银河系的10%和2%。从远离银河系的地方看，这两个星系好象是紧挨着银河系的两个“卫星”，我们称作“伴系”。在恒星世界里，我们遇到过双星、聚星和星团，在星系世界里，成双和成群的集聚状态是普遍的主要的倾向。我们的银河系同大、小麦哲伦云组成了“三重星系”。大、小麦哲伦云属于不规则星系。在它们里面发现了许多变星、疏散星团、球状星团、气体星云。例如，在NGC这本星云星团表中，就列出了大麦哲伦云内的星团和星云301个。因此这两个星系不仅在星系的研究上占有重要的地位，而且是研究各种类型的恒星和星团的良好对象。在大麦哲伦云内，有两个出类拔萃的天体：一个是剑鱼座S星，以光度首踞群星之上，为太阳的一百万倍；另一个是蜘蛛状星云（图9-11）。它是我们观测到的最大的亮





图 9-10  
(上) 大麦哲伦云; (下) 小麦哲伦云

测试版本

测试版本

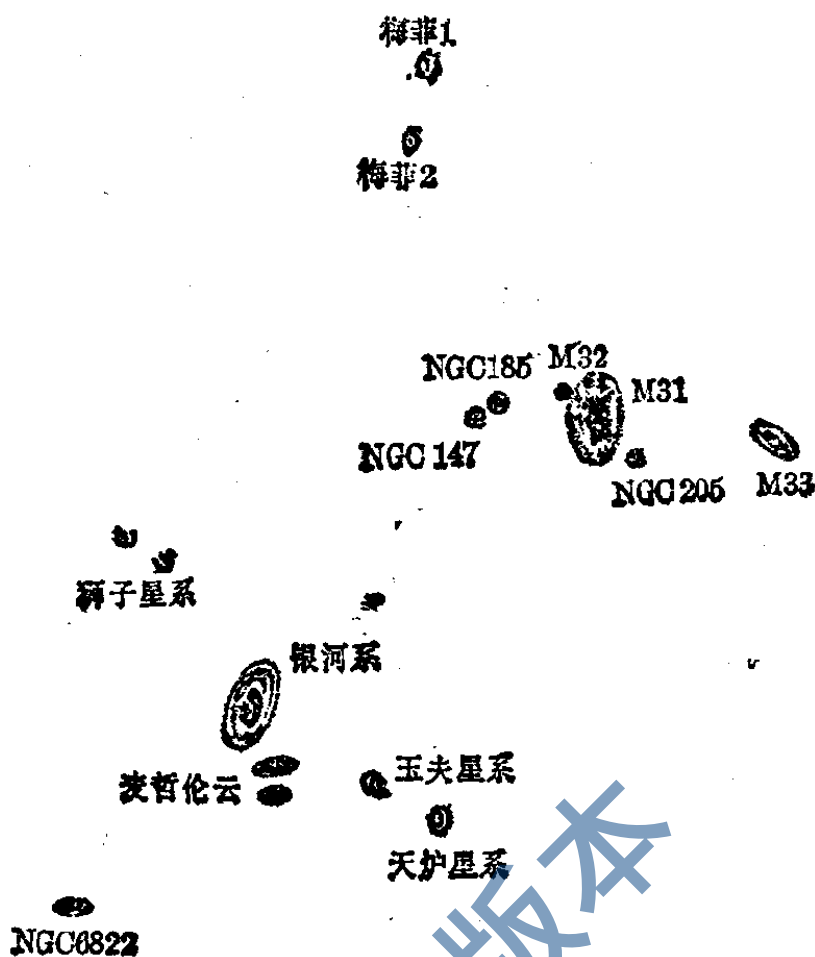


图 9-12 银河系的一些近邻

面,另外有一些太暗弱,尚未看到。例如,1968年天文工作者在仙后座内用红光敏感的照片拍摄到了两个暗的斑点,它俩在通常的蓝光敏感的照片上是不出现的。后来很快就证实了它们是两个离我们很近的河外星系,命名为“梅菲1”和“梅菲2”。它俩离银道仅半度,位于一个稠密的星际云的后面,因而大大地模糊和红化了,以至直到不久前才发现。如果没有星际云遮住银河在仙后座的部分,在晴朗无月的夜晚,肉眼是可以看到梅菲1的。梅菲1是一个巨椭圆星系,质量估计和银河系相当,距离约330万光年。梅菲2大概是旋涡星系,距离270万光年。这两个星系位于本星系群的边缘,是新发现的银河系的邻居。

### 三、宇宙中的群岛

散布在地球海洋中的岛屿,有孤岛,也有群岛。太空中宇宙岛的组态与此类似。各种聚集的状态是常见的。银河系和M31各自同近傍的两个伴系组成了三重星系。我们特别提一下“双重星系”(图9-13),它们相当于恒星世界中的双星。由于星系离我们太远,而且两个星系在引力作用下互相绕转的周期长达几百万年甚至几十亿年,我们不可能观测到由轨道运动引起的位置的变化,但可以通过测量两者的视向速度来分析轨道运动,从而推算星系的质量。这是定星系质量的一条重要途径。

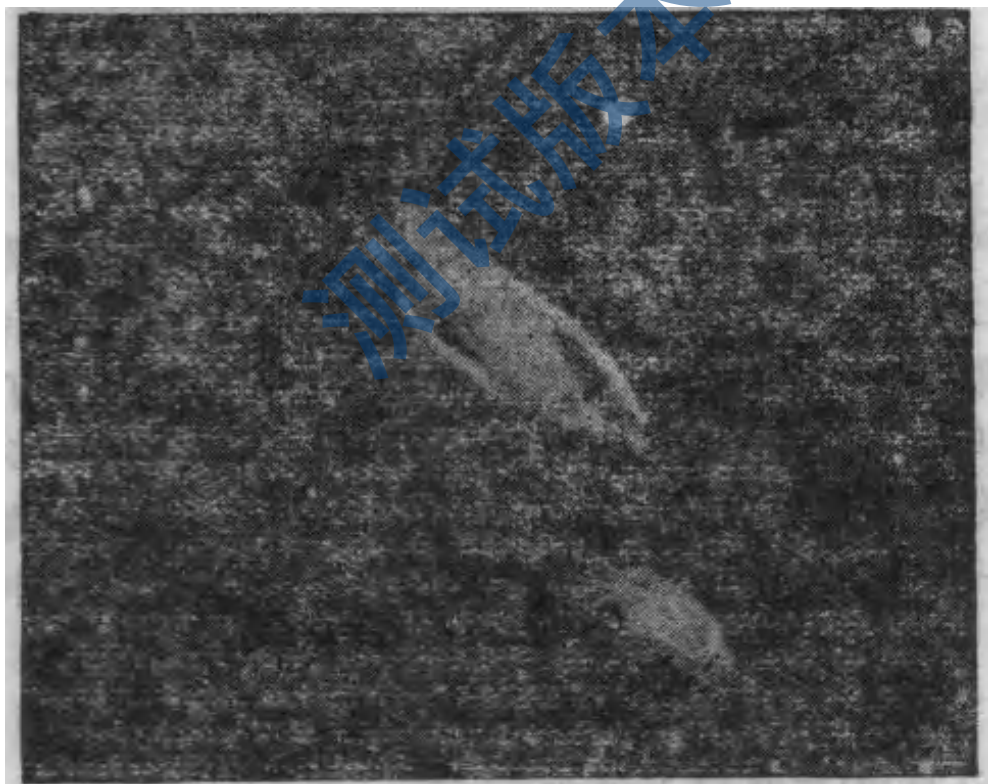


图 9-13 双重星系 NGC5857 和 NGC5859

比本星系群更大的,包含几百至几千个星系的集团,称为“星系团”,与恒星世界中的星团相对应。在星系团所在的天



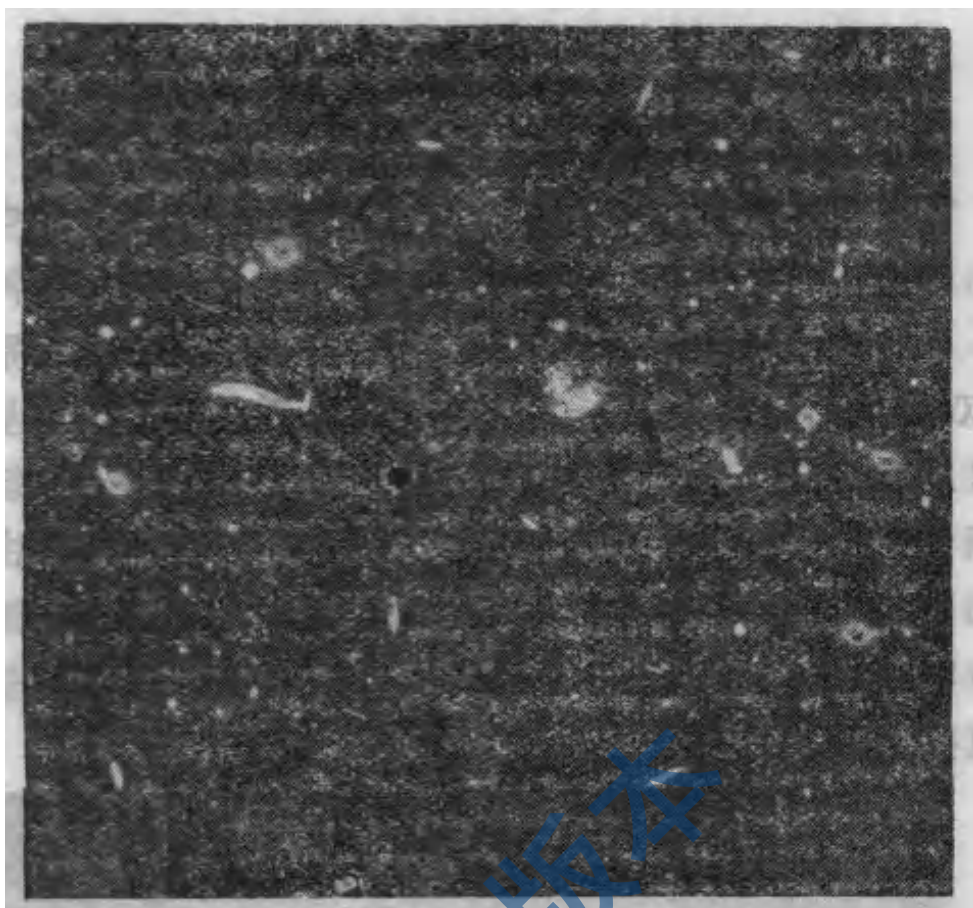


图 9-14 武仙座星系团

区中，星系明显地比其他地方密集。天文工作者已观测到二千七百个星系团，但较仔细地研究过的因而常提到的还很少。离我们最近的是室女座星系团，它位于室女星座，占据了面积达  $10^{\circ} \times 14^{\circ}$  的天区。它的直径约 850 万光年，包含 2500 个星系，离我们 6000 万光年。如果我们将日地之间的距离缩短为一张纸的厚度，则室女座星系团就位于月地距离一半的地方。后发座星系团和北冕座星系团是另外两个著名的星系团。前者约有 800 个成员，距离 3.7 亿光年；后者至少有 400 个成员，距离 11 亿光年。

就人们今天的观测工具能够达到的范围来说，大约可以看到十亿个星系，最远的星系离地球大约有一百亿光年。全部观测到的星系可能属于一个称作“总星系”的更庞大的系

统。总星系是比星系团更高一级的宇宙中物质结构的层次。它的范围有多大？今天观测所及的空间就是总星系的全体或只是它的一部分呢？天文工作者还不清楚。

我们曾提到，用射电望远镜发现大麦哲伦云、小麦哲伦云由氢原子组成的“桥”联接起来。用光学望远镜也直接看到了星系间的这种“物质桥”(图 9-15)。物质桥的存在反映了两个邻近星系的相互作用，也表明了星系际空间不是绝对的真空，而有物质存在。星系际空间物质的平均密度天文工作者还很不清楚。如果将目前看到的全部星系所包含的物质均匀散布于观测所及的宇宙空间，估计物质的密度约为  $10^{-31}$  克/厘米<sup>3</sup>，即 10 立方米的体积内只有一个原子。可见宇宙空间是何等宽敞。



图 9-15 两个星系之间的物质桥(负片)

光谱分析在天文学上的应用读者已屡见不鲜了。天文工作者自然也要运用这种方法于星系的研究。星系的光谱是由它包含的所有天体联合形成的，恒星是星系的主要成员，因而星系的光谱相当于各类恒星的“平均”光谱，在连续光谱的背景上有朦胧的吸收线。还在河外星系被最后证实之前，1917年有人拍摄了 15 个星系的光谱，惊奇地发现，13 个星系的谱

线是向红端位移的。以后的观测都表明了上述的发现带有普遍性。向紫端位移的只有几个,它们是离银河系很近的本星系群的几个成员,包括 M31 在内。谱线红移是河外星系的一种重要现象,通常简称“红移”。天文工作者常以谱线波长的相对变化  $Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$  来表示红移的大小,  $Z$  称为“红移度”。

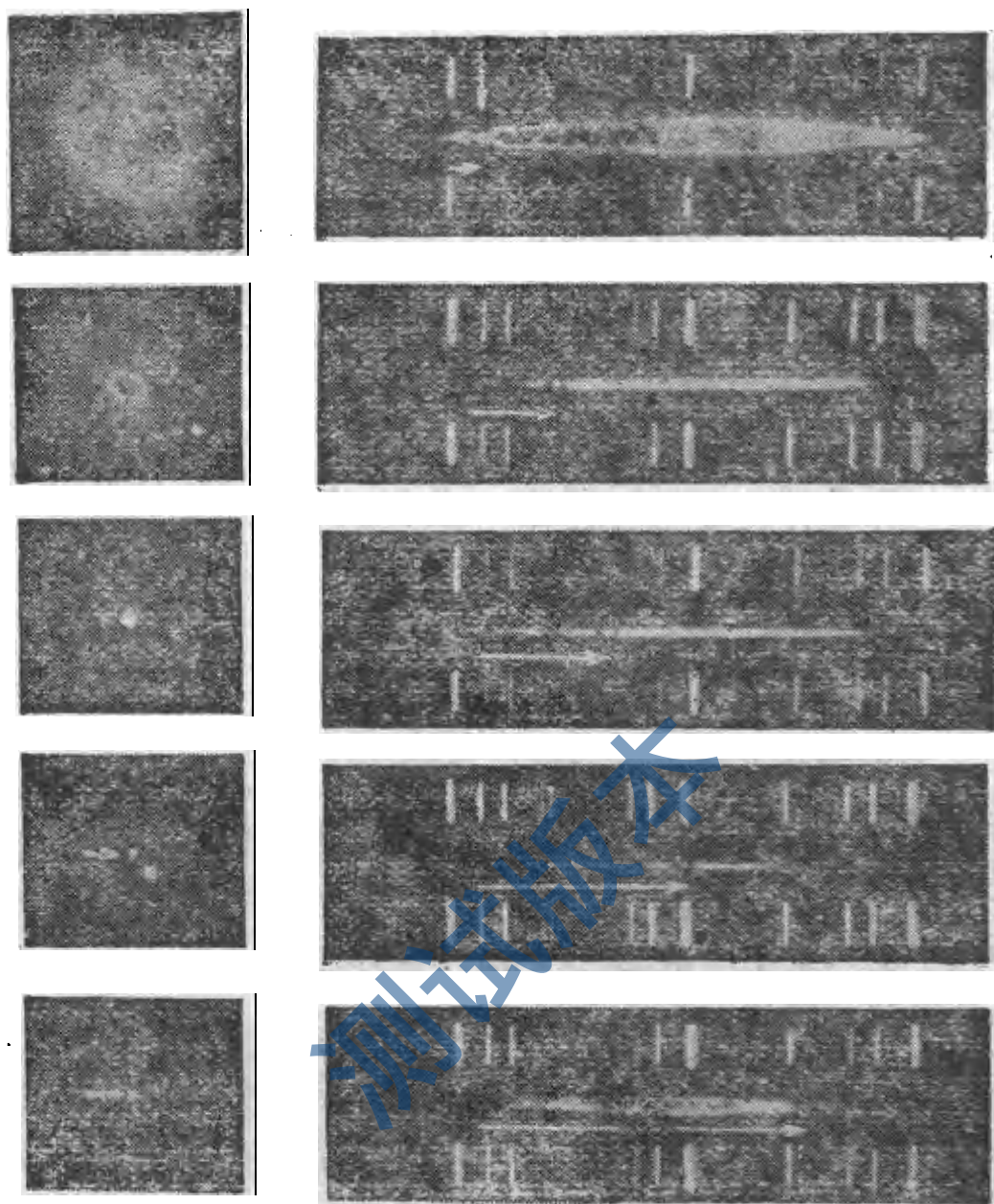
到本世纪二十年代末,由于利用造父变星周光关系等方法获得了一些星系的距离数据,并测出了这些星系的红移度,哈勃发现星系愈远,红移愈大,而且两者之间的关系是线性的,即红移度与距离成正比。于是,天文工作者又增添了一种定星系距离的手段:只要能测出谱线的红移度,根据红移与距离的关系,星系的距离便可迎刃而解。这和测定了造父变星的光变周期,根据已确定的周光关系,便可推算距离的道理是同样的。

红移由什么原因产生的?红移与距离的关系意味着什么?这是近代天文学中最有争议的论题。现在一般认为,星系的红移是由运动,也就是由多普勒效应引起的。我们已不止一次同这个效应打交道了,研究天体的运动往往离不开它。用多普勒效应来解释,就得出星系都在远离我们的结论。星系退行的视向速度  $v$  可按公式  $v = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} c$  计算。红移与距离的关系现在可转化为视向速度和距离的线性关系:

$$v = Hr$$

距离  $r$  通常取百万秒差距为单位。比例常数  $H$  称“哈勃常数”,由距离和视向速度的数据已知的一些星系定出。随着观测资料的改进,  $H$  的数值几经变迁,1930年前定为每秒每百万秒差距 528 公里,后来大幅度减小,目前认为在 45 与 120





**图 9-16** 五个河外星系(从上到下依次为室女、大熊、北冕、牧夫、长蛇)的谱线红移。每张光谱片中间的是星系光谱,两旁是实验室中拍的比较光谱。箭头指示电离钙的两条谱线的位置

公里之间。如果取为 60, 就是说距离每增加一百万秒差距, 星系的视向速度就增加 60 公里/秒 (读者如果还记得 1 秒差距等于 3.26 光年, 便立即算得距离每增加一百万光年, 星系的视向速度增加 18 公里/秒)。图 9-16 列出了五个星系的光

谱, 这五个星系分别是五个星系团(用所属的星座命名)的成员。测量红移通常是利用星系光谱中电离钙的波长为 3968 埃和 3934 埃这两条显著的谱线。图中自上至下这两条谱线的红移愈来愈大, 对应的视向速度和距离也愈来愈大。室女座星系团以 1180 公里/秒的速度远离我们; 距离为 33 亿光年的长蛇座星系团的退行速度高达 60600 公里/秒。

我们强调指出, 谱线红移用多普勒效应作解释并不是确定无疑的, 后面还要提到这个问题。至于从红移与距离的关系引伸出怎样的观点, 我们将在本章最后一节中讨论。

#### 四、活跃的星系核

无论什么事物的运动都采取两种状态, 相对地静止的状态和显著地变动的状态。在恒星世界里, 我们看到了大量的处于稳定状态的恒星, 也看到了有一部分恒星处于变动的状态。星系世界中的情况怎样呢? 在普通的照片上, 星系看来是平静的, 偶尔出现的超新星似乎冲破了沉寂的气氛(图 9-17)。但这毕竟是个别恒星的最猛烈的爆发, 并不代表星系这一级的活动。随着观测工具的改进, 观测的波段从可见光扩展到红外光、无线电波、紫外光和 X 射线等, 从混杂着各种波长的白光观测改进到近于单色光的窄波段观测, 日益揭示了星系内发生的活动。这些活动是同星系核活动联系着的。星系核是星系内密度极大的中心凝聚部分。大多数星系, 包括所有的旋涡星系和光度较大的椭圆星系, 都有核; 光度小的椭圆星系和一部分不规则星系, 例如玉夫星系和小麦哲伦云, 没有核。

M82 (即 NGC3034) 是大熊座中的一个不规则星系, 发出





很强的射电,离我们约一千万光年。该星系的白光照相,貌不惊人。1963年9月,用巨型望远镜加上能透过波长6563埃的光(这是氢原子发出的一条谱线)的窄带滤光板拍摄M82,在照片上出现了惊心动魄的景象,从M82的核心有纤维状结构的气体垂直于星系对称面向外伸展。这表明M82核心有高速气体喷出(图9-18)。纤维末端离核心一万光年,气体喷射的速度达到1000公里/秒,表明该星系大约在一百五十万年前经历了一次巨大的爆发,抛出的物质相当于560万个太阳的质量。纤维状物质每秒辐射的能量达 $2 \times 10^{42}$ 尔格,为太阳每秒辐射的能量的几亿倍。如果一百五十万年来一直这么强,则总共辐射的能量达 $9 \times 10^{55}$ 尔格。位于飞马座中的星系NGC1275发生了规模更大的爆发,喷射速度3000公里/秒,喷射出的物质达几亿个太阳的质量。

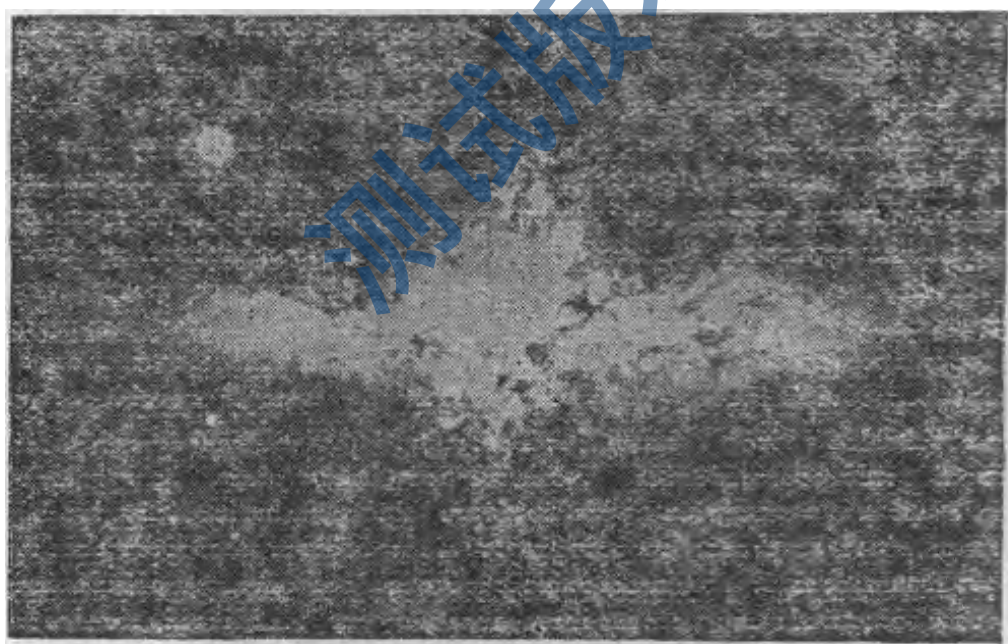


图9-18 不规则星系M82的爆发

M87 (即NGC4486)是已知质量最大的椭圆星系、强射电源和X射线源。在长时间露光的照片上,看来是一个正常的

椭圆星系,但短时间的曝光揭露了它的核心部分和喷射物(图9-19)。该星系喷射是朝某个方向的,喷出的大块物质大到足以形成小的星系。类似的星系发现了不少。

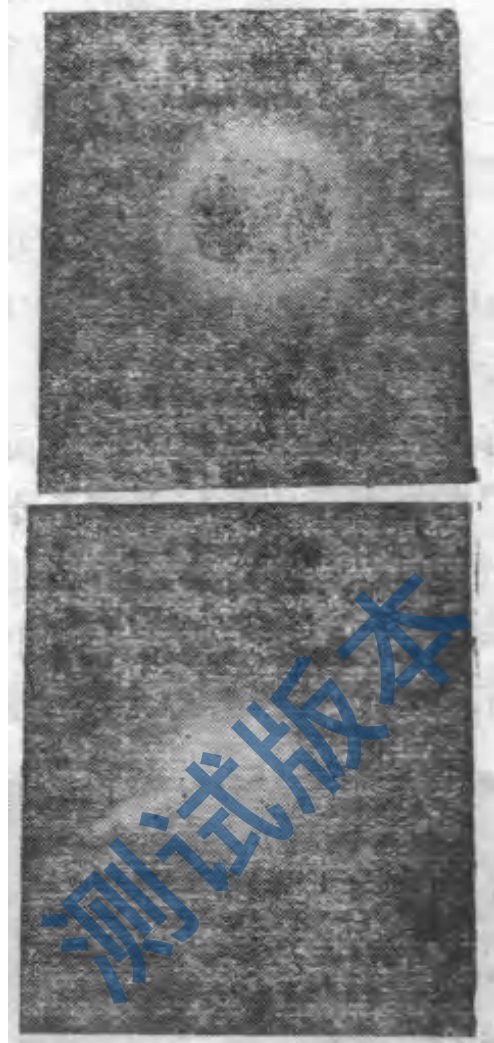


图9-19 椭圆星系 M87

(上)长时间露光的照片; (下)短时间露光的照片

星系核爆发是迄今知道的宇宙中规模最大的爆发,是星系核几种活动形式中最激烈的一种。多数星系是处于比较宁静的状态,气体以每秒几十公里的速度从核宁静地逸出。我们的银河系和 M31 属于这类“普通”的星系,每年从核流出约一个太阳质量的物质。普通星系的核较暗,而活动较激烈的星系具有亮的核。有一类星系在无线电波段发射的能量比普



通星系大得多，获得了“射电星系”的称号。位于半人马座中的星系 NGC5128 是一个著名的例子。该星系几乎呈正圆形，奇特的地方在于被一条很宽的暗带所贯穿（图 9-20）。对此，曾有两种截然相反的看法。一种认为，一个椭圆星系和一个旋涡星系发生了碰撞，旋涡星系的对称面平行于我们的视线，对称面内密集的星际消光物质形成了暗带。另一种认为，一个星系发生了分裂。不管怎样，NGC5128 和其他射电星系的一些特征，都应和星系核的活动相联系。从核喷射出的高能电子在无线电波段产生很强的辐射。

星系核具有怎样的结构？巨大的能量如何产生的？这些挑战性的问题摆在物理工作者和天文工作者的面前。一般认为，星系核除了包含有恒星和气体云外，还应有质量很大的非恒星状态的物体，可能隐藏着物理世界中未知的物质状态和规律。对这些未知的物质状态和规律的探索和揭露，人们对

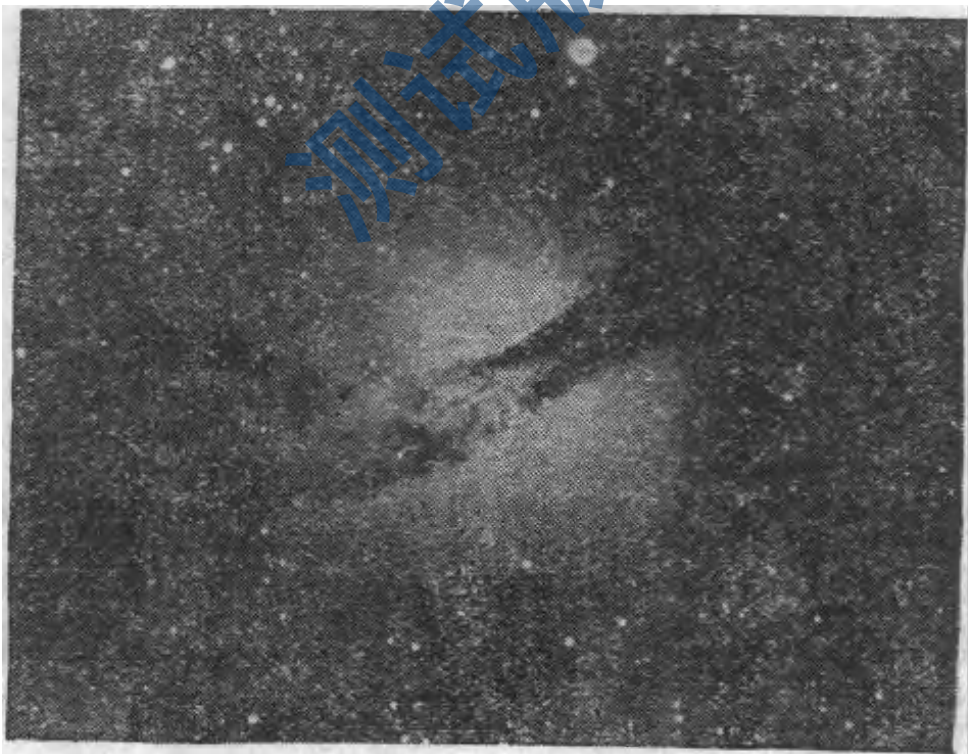


图 9-20 射电星系 NGC5128

星系的认识将会提高到一个新的水平。

## 五、类星体之谜

本世纪六十年代，在星系世界中人们结识了一类性质奇特的天体，它们的发现是射电望远镜和光学望远镜两个“兵种”联合作战取得的重大战果。

射电望远镜问世后不久，接收到了来自天空很小区域内的较强的无线电辐射。这种区域获得了“射电源”的称号。今天已知的射电源数以千计。射电源的资料已汇编成表，例如英国编的“剑桥射电源第三星表”（简称3C）以及修订后的第四星表（4C）。表中的编号之前冠以表的简称作为射电源的名字。射电源是些什么类型的天体呢？射电望远镜是看不见东西的，必需求助于光学望远镜。但有一个先决条件：提供射电源位置的精确数据。不然的话，给出的位置数据误差很大，用大型光学望远镜在天空的一个小区域内可以看到数以百计的天体，就无从证认射电源对应于哪个天体了。随着射电望远镜定位精度的不断提高，证认工作取得很大进展。最先被证认出的天体，少数是银河系的成员，如超新星的遗迹和银河星云，大多数是射电星系。1960年，用光学望远镜在射电源3C48的位置上发现了一个暗弱的（16星等）很象恒星的天体，它的光谱很特殊，在很强的连续光谱背景上有几条宽的发射线，这几条谱线在当时是完全陌生的。突破于1963年来临。在澳大利亚观测了月掩射电源3C273，射电望远镜记录了3C273被月亮掩住和从月亮后面出现的精确时间，根据月亮的轨道，就算出3C273的精确位置。大型光学望远镜瞄准这个位置，发现一颗13等的蓝色暗“星”（图9-21）。它的光谱类



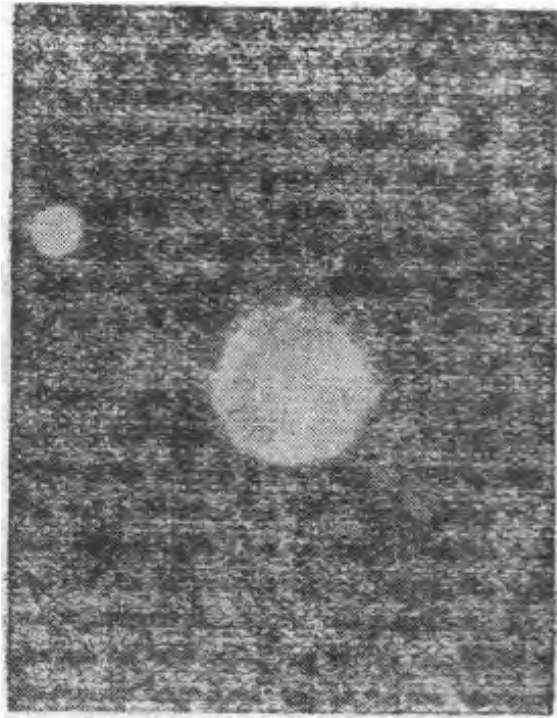


图 9-21 类星体 3C273。注意右下方有喷射物延伸出

似于 3C48。经过仔细分析，证认出发射线是氢原子产生的，只是由于很大的红移 ( $Z=0.158$ )，使得谱线不易识辨 (图 9-22)。循着红移这条线索，3C48 的光谱线之谜也立刻揭晓了，它的红移度为 0.367。这种貌似恒星、光谱线有巨大红移的强射电源称作“类星射电源”。类星射电源的紫外辐射极强，颜色显得很蓝。通过光谱观测，发现一些“蓝星”有巨大的红移，光学性质同类星射电源一致，但射电是宁静的。这种天

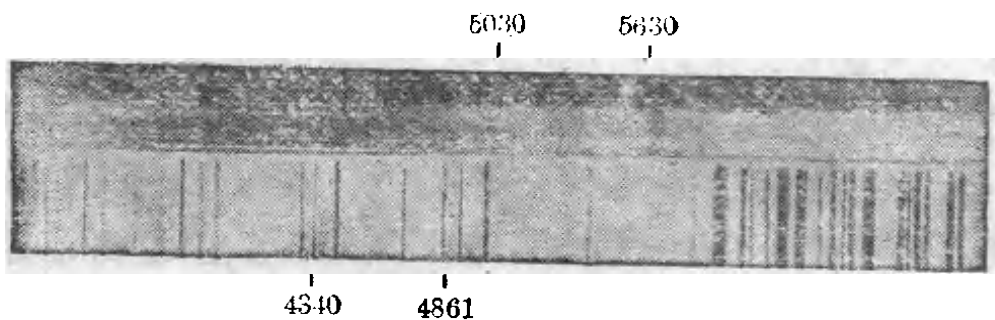


图 9-22 类星体 3C273 的光谱 (上, 负片) 和实验室中的光谱 (下) 比较。在 3C273 的光谱中氢原子的二条谱线已从正常的波长 4861 埃和 4340 埃移至 5630 埃和 5030 埃, 它的红移度为 0.158

体最初曾取名为“蓝星体”。后来将上述的两类天体统称为“类星体”。至今,人们发现了数百个。

近年来由于红外技术的发展,人们发现有些类星体在红外波段的辐射也很强。紫外、红外和无线电波段都很强的辐射,与普通恒星大不相同,不能用热辐射来说明。类星体的辐射机理是个谜。

类星体一个最显著的特征是巨大的红移。在类星体发现之前,红移最大的星系其红移度为 0.46,而大多数类星体的红移度超过了这个记录。目前的记录由 OQ172 保持,  $Z=3.53$ 。我们如果接受类星体红移的原因是多普勒效应,而且红移与距离的线性关系可以外推,那末就得出类星体的退行速度和距离非常大的结论,它们中的大多数应该位于比观测到的最远的星系更遥远的地方。这里我们必需指出,当物体的速度大到接近光速时,基于经典物理学的多普勒位移公式已不适用了,要代之用如下的相对论的公式:

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

对类星体 OQ172 计算,退行速度达光速的 91%,即每秒 27 万公里。

类星体形状象恒星,不象星系。分光观测得出在连续光谱背景上有发射线,有些类星体同时还有吸收线。由此推测,类星体有一个产生连续光谱的极致密的核心,被稀薄的气体云包围,发射线和吸收线在气体云内形成。类星体辐射的能量无论光学波段或射电波段都有变化。这个现象给我们送来了类星体大小的信息。一个体积庞大的天体(譬如直径几十

光年)发生迅速变化,由于其上各部分发出的光到达地球先后不一,各部分的亮度此起彼伏,平均化的结果,就显不出变化。因此亮度显现着变化的类星体便不可能是庞大的天体,据推算,其直径只有几光年或几“光月”。

知道距离的数据,就可计算类星体每秒辐射出的能量。一个典型的类星体,在可见光区和红外区辐射的功率达 $10^{47}$ 尔格/秒,比普通的星系大一千倍,在无线电波段辐射的功率更可大到一百万倍!可是,类星体的直径仅为星系的十万分之一,甚至百万分之一。如此小的天体产生了那样巨大的能量,使科学工作者大吃一惊。解释能量的来源成为理论上的难题。

我们不要忘记,推出类星体具有奇特的辐射本领是有一个前提的,即红移与距离的线性关系也适用于类星体,从而认为类星体离我们非常遥远。近年来的观测揭示了一些矛盾:一些类星体和星系聚在一起,更有几个类星体同星系之间有发亮的物质桥相连接,可是这些类星体的红移度并不是和相关联的星系差不多,而是大得多。这表明红移与距离的线性关系不能心安理得地用于类星体。类星体离我们可能不太远,是“本地的”——靠近银河系。在“本地的”假设下,类星体的辐射功率并不惊人了,能源解释的困难不存在了,但遇到如何解释巨大红移的困难。众说纷纭,有的说类星体都是从银河系核心以很高的速度抛出的,有的认为是由于邻近的射电星系中发生激烈的爆炸而抛射出来的。对于前一种论点,计算表明需要的能量太大,单靠银河系无能为力。对于后一种见解,由于从来没有发现紫移的类星体,不能设想邻近的星系抛射出类星体竟没有一个朝着银河系方向的,因此也被否定。

对类星体的研究,目前还处于左右为难的境地。能源解

释的困难或是红移的困难,都使现有的物理理论相形见绌,不能克服。也许是未知的物理规律在起支配作用。因此,类星体的发现和研究,不仅对天文学,而且对物理学的发展可能会产生深远的影响。

## 六、无限的宇宙

本书读到这儿,读者已可领略到宇宙的无限性。宇宙是物质的;宇宙在空间上无限伸张,没有边界,没有形状,没有中心;宇宙在时间上无始也无终。

人类对宇宙认识的发展,是一个无穷地从有限扩大到无限的过程,是一个从必然王国迈向自由王国的历史。人们从认识自己居住的地球开始,不断扩大视野,探索无限宇宙的奥秘。十八世纪以前,认识了地球所在的太阳系。十八世纪以来,借助光学望远镜的帮助,才知道太阳系外面还有千千万万个太阳,组成了一个更大的集团——银河系。在巨大的银河系中,我们的太阳犹如沧海之一粟,既不显眼,又不特殊。半个世纪以来,人们又认识到,我们的银河系在宇宙中也不是唯一的。银河系的外面还有无数个银河系。这些“河外”的星系又组成了更高级的星系集团——星系团以至总星系。现代,由于射电望远镜的出现,人们的视野已经扩展到了几十万光年的宇宙“深处”。在这样一个巨大的星系世界里,我们的银河系也只是一颗“沙粒”而已。

事情就是这样,尽管人们总是力图去认识整个宇宙,并且认为已经把握了整个宇宙,可是随着新的观测工具和技术出现,又总是在这“整个宇宙”的外面发现了新的世界。从地球到太阳系,又从太阳系到银河系、星系团,以至总星系,人们



对宇宙的认识几经飞跃，每次飞跃都冲破了原先认识的宇宙边界，把我们带到更高级的宇宙层次，但每次飞跃所及的视野又总是有限的。正如列宁指出的：“日益发展的人类科学在认识自然界上的这一切里程碑都具有暂时的、相对的、近似的性质。”即使将来人们认识了总星系，不管总星系所占的空间范围有多大，它总还是宇宙的某一具体的表现，而不是整个宇宙，不是“宇宙的终极”。然而，人们正是透过对这些具体宇宙的相对的、有限的了解，通过从地球到总星系这一个一个宇宙层次的扩展，看到了宇宙空间从有限到无限的过渡，认识到宇宙的无限性。空间的无限性即寓于无数有限的具体的宇宙之中，无数的有限的具体宇宙，构成了空间的无限性。

人们在不断扩大对宇宙认识的过程中，发现宇宙天体呈现出多种多样的形态。有密集的星体状态，有松散的星云状态，还有辐射场这样的连续状态。各种星体也是千差万别，它们的大小、质量和密度不一样；光度、温度和颜色不一样；年龄和寿命也不一样。无数天体并不是同时形成的，有象中子星、白矮星这样已经衰老的星体，有象“黑洞”这样“不发光”的星体，也有象球状体这样刚在形成中的星体。每个天体都有它发生、发展、衰亡的历史，它们的存在时间也总是有限的，总是在不断地发展，不断地从量变过渡到质变，走向它的反面。从密集的星体到松散的星云和连续的场，又从星云状态转化成密集的星体，以至白矮星、中子星、黑洞。形态千变万化，都是物质的一种表现，或者是我们已经熟悉的，或者是我们今天还没有认识的某种形态。各种形态，互相转化。每个天体，有生有死，却都在物质这一点上得到同一。

无疑地，这种物质的同一性和形态的多样性表明了宇宙天体之间有着千丝万缕的联系。当前天文学的发展也正在日



益深刻地揭示着宇宙物质大循环的途径。每个宇宙天体总是在别的宇宙天体的衰亡中诞生，而在它自己临终的时候又转化为别的宇宙天体。旧的死亡，新的诞生，物质不灭。一切天体都处在永恒的产生和消灭中，处在不断的流动中，处在无休止的运动和变化中。由于宇宙天体不断地产生、发展和转化，就构成了宇宙永无止境的发展。每个宇宙天体有生有死，有始有终。物质的宇宙正是由于各别天体的生死转化而不生不死，无始无终。宇宙整体上时间的无限性存在于具体宇宙的有限时间之中。具体宇宙天体时间上的有限性构成了宇宙整体时间上的无限性。

在人们认识宇宙的过程中，经常有人出来对“整个宇宙”提出各种各样的“宇宙学原理”，勾划形形色色的“宇宙图景”。

近代，首先是爱因斯坦在 1917 年提出了一个有限宇宙的模式。他为了解决在他建立的相对论体系中出现的矛盾，提出了“把宇宙看作是一个在空间尺度方面是有限的（闭合的）连续区”的看法，并且在宇宙物质均匀分布的前提下，从数学上建筑了一个“无界而有限”、“有限而闭合”的“四度连续体”，一个封闭的宇宙。这个封闭宇宙的半径是 35 亿光年。

从爱因斯坦的“宇宙模型”发端，半个多世纪以来，许多学者相继提出了其他各种各样的宇宙模型。

1929 年，美国天文学家哈勃发现了河外星系的“红移”是一个普遍的现象，如果把星系光谱中谱线的红移看作是多普勒效应的结果，这个结果说明了遥远的星系正在以很高的速度离开我们向四面八方飞驰远去。同时，哈勃得出了红移和距离的“粗略的线性关系”。英国的爱丁顿马上把河外星系退离远去说成是宇宙膨胀的结果和证据。六十年代，人们发现了具有更大红移度的类星体，宇宙膨胀论者更是活跃。他们

把遥远的河外星系看成是宇宙的边界。这个边界随着宇宙膨胀在继续扩展,现在的宇宙就象一个逐渐吹胀起来的肥皂泡。

那么,膨胀着的宇宙源于什么呢? 是一股什么力量把这个肥皂泡越吹越大的呢?

1932年,比利时的勒梅特提出了一个假说:宇宙开始于一个“原始原子”,“原始原子”极不稳定,不断向四面八方膨胀,一切行星、恒星、星团、星系、星系团,以至总星系,全是由这个“原子”膨胀而成的。英国物理学家米尔恩根据最初观测的“红移”度,计算出这个原始的宇宙是在二十亿年前诞生的,即比地球年龄还小。米尔恩自知出了破绽,不得不根据以后测得的“红移”度把宇宙的“生日”后推为一百亿年了。后来,美国的加莫夫把天体的发展同基本粒子的运动联系起来,用同氢弹爆炸这样的热核反应类似的道理来解释宇宙的膨胀,于是在宇宙膨胀论的基础上出现了“大爆炸宇宙学”。加莫夫认为宇宙开始于高温( $10^{12}$ 度)、高密( $10^{14}\sim 10^{15}$ 克/厘米<sup>3</sup>)的“原始火球”,在这种高温下,不可能存在象恒星、星系等天体,只能充满辐射,充满基本粒子。以后这个火球内基本粒子互相反应,发生爆炸,温度急剧降低,五分钟就降至十亿度,“原始火球”向四面八方均匀地膨胀,发出强烈辐射,辐射的物质凝聚为星云,尔后演化为各种天体。

1965年,人们用射电望远镜对向光学望远镜看不到任何天体的空间,发现任何一个方向都有以连续形态出现的3K微波辐射。原来星际空间并不是漆黑一团,空无一物,而是有“光”有“热”,“光”是肉眼看不见的光,即波长在微波波段的电磁波,“热”是开尔文温度3度,即摄氏零下270度。这一下,大爆炸宇宙学好象找到了证据。你看,原始火球爆炸后的热辐射大部分已凝聚为各种天体,而今只存下3K这么一点儿

余热,成了宇宙的一个均匀、统一的背景。

对于这些“宇宙模型”该如何评价呢?唯物辩证法认为这些模型同宇宙无限论是格格不入的,是形而上学的,唯心主义的产物。而苏修一位学者却对这些“宇宙模型”赞赏不绝,说它们是实验定律所证明了的。更有一些资产阶级学者甚至狂妄地宣称:人类的任何一种哲学如果不进行调整来适应这种理论,“那简直是对现代人类必须在其中活动的理性科学环境熟视无睹”。

果真是这样吗?

物质结构是具有均匀性的,天体分布也具有一定的均匀性。但是,这种均匀性是有条件的,是相对的,局部的。对于特定的空间和特定的天体系统,天体分布具有相对的、局部的均匀性,超出了这个空间和系统,就无均匀性可言。譬如,行星和太阳聚集成太阳系,形成一个层次。和太阳一起,大约一千四百亿颗恒星组成银河系,占据了大约十万光年的范围,形成另外的层次。在银河系外面还有无数别的星系,这些星系也不是均匀分布的,而是聚集成星系集团,形成又一层次。再说辐射场,虽然作用的范围广泛,可能作用于几个层次,但总是有限的。例如,太阳上面磁场的范围是有限的。所以,辐射场也是可分的,又间断又连续,同样可分为层次。

可见,天体总是以集团、层次的状态出现的。即使在一个层次里,物质的形态也是多种多样的。既有一个个间断的天体,又有连成一片的连续性辐射。例如在太阳系里,既有太阳、行星、卫星等以间断形式出现的天体,又有光、磁场这种以连续形式出现的辐射场。所以,宇宙物质总是有实物,又有辐射场,有间断,又有连续。

总之,物质形态的多样性是绝对的,宇宙物质分布的不均

匀是绝对的。

在历史上，牛顿曾经提出宇宙象一个没有边界的大箱子，无数恒星均匀地分布在这个无限又是空虚的箱子里，靠万有引力联系着，结果出了洋相。按牛顿的这种设想，必然会引出一种“光度怪论”：宇宙是无限的，恒星均匀分布，那么在任何一个方向，任何时候看去都能看到星星，整个天空会无限亮。这当然是十分荒谬的。大爆炸宇宙学的前提就是认为宇宙有一个统一、均匀的“宇宙背景”，把宇宙描绘成一个无差别境界，把宇宙物质结构的连续性绝对化，否定了宇宙物质结构在质上的多样性。这样大爆炸宇宙学只能面临两种选择：或者承认宇宙是无限的，这就必然要得出光度、引力等场强无限大的在自然科学上不可思议的谬论；或者为了消除这种谬论，而采用宇宙是有限的 premise！

近代，大爆炸宇宙学者提出了不少“宇宙模型”，得出了许多的数学解、物理解，企图一下子揭晓宇宙的全部奥秘，“最终”完结人类的认识。其实这是永远办不到的荒唐的想法，是纯粹的胡说，正如恩格斯指出的：“世界表现为一个统一的体系，即一个有联系的整体，这是显而易见的，但是要认识这个体系，必须先认识整个自然界和历史，这种认识人们永远不会达到。因此，谁要建立体系，他就只好用自己的臆造来填补那无数的空白，也就是说，只好不合理地幻想，玄想。”诚然，宇宙的某一层次，可以有数学解、物理解，但“整个宇宙”根本不能计算、描述。试问，一个无边无际的，具有无限多样发展形态的宇宙，因而是具有无限多种物理规律，永远不能穷尽的物质世界，怎么能用一个统一的数学方程来计算，用一种统一的物理定律来描述呢！他们妄图解决这一科学的最终任务的时候，实际上已在暗中把无限的宇宙圈了起来，永远也摆脱不了

宇宙有限论的束缚。

有人认为,不管怎么说,大爆炸宇宙学还是有它的科学根据的。我们不是观测到普遍的星系红移现象吗?!可是,在我们看来,这恰恰是大爆炸宇宙学者的一个致命的弱点,他们常常把局部范围观测到的现象,主观地、任意地、不加条件地扩大到宇宙空间去。事实上,在局部范围内是正确的某些规律、定理、原理,在更大范围内不一定是正确的。我们在类星体一节中已经指出,在我们今天观测到的有限范围内,有些处在同一距离上的星系和类星体的红移不同。这说明了距离和红移的关系并不是一个普遍适用的规律,谱线红移产生的原因也是多种多样的,不一定是天体分离的膨胀运动引起的。即使真是这样,那也只是局部的、暂时的,宇宙中某一集团、层次发生的有限的膨胀运动,而决不是“整个宇宙”的膨胀。宇宙万物的运动总是有膨胀,又有收缩,有分离,又有集中,处于对立统一之中,它们的运动形式是多种多样的。每一物理规律也都有它的适用范围,超出了这个范围,就有另外一个规律在起作用。例如,物体在运动速度比较小的情况下,遵循着经典力学的规律;到了接近光速时,就要受另一种相对论力学的规律支配,经典力学就不适用了。把一个只在局部范围内适用的规律,无限外推出去,必然得出荒谬的结论。恩格斯在批判牛皮博士杜林时指出:“把从本性来说是相对的、因而在同一时间始终只能适用于一部分物质的那种状态,当做某种绝对的东西而转移到宇宙。”恩格斯的这一批判,对大爆炸宇宙学者也是十分中肯的。

还有人认为,同大爆炸宇宙学的争论,只是学术上的争论。这种看法是极其片面的。事实上,大爆炸宇宙学的全部基础是哲学唯心主义。同大爆炸宇宙学的争论是唯物辩证法的宇宙观同唯心主义、形而上学的宇宙观的斗争。大爆炸宇宙

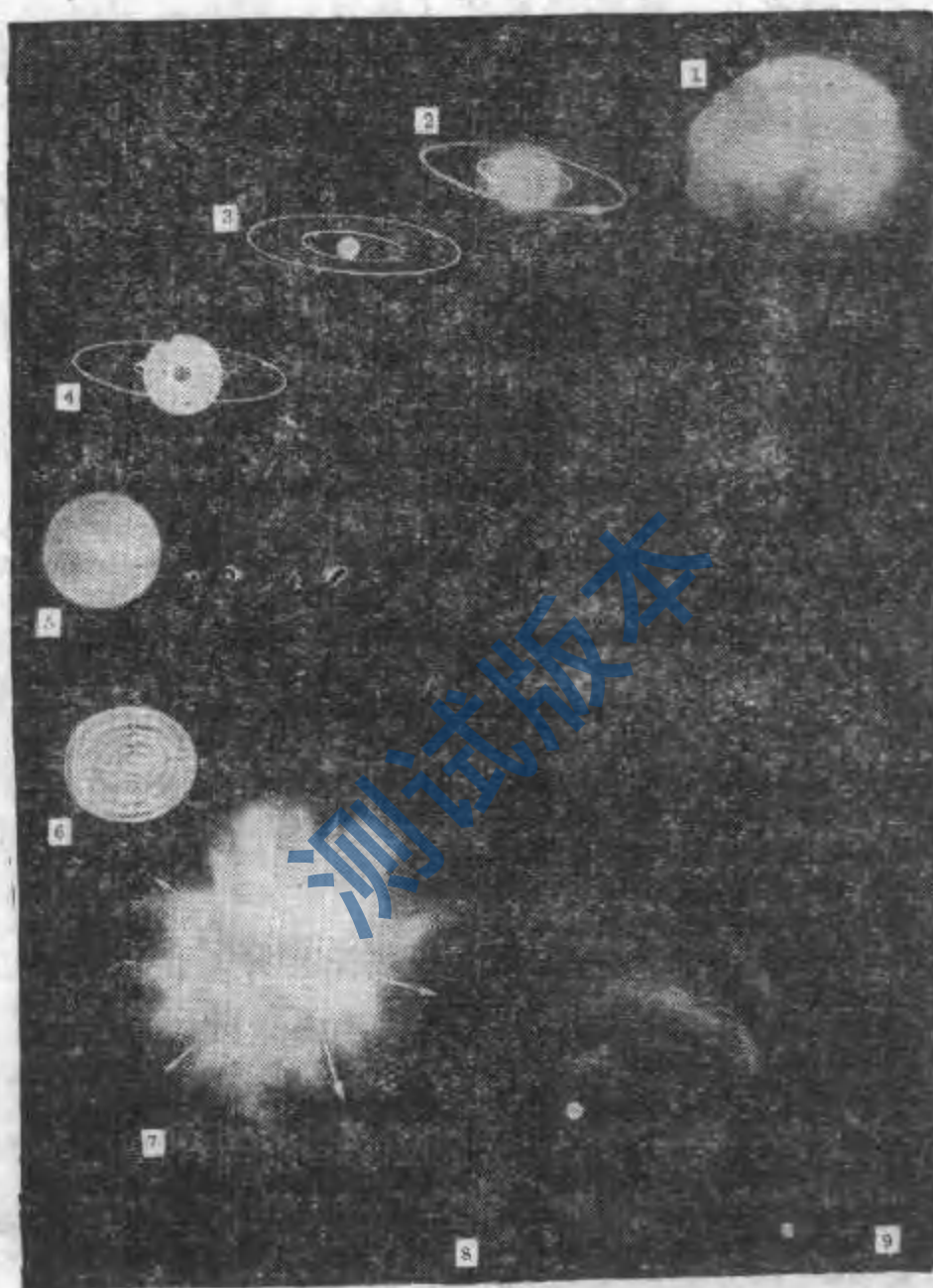


学者英国的爱丁顿在解释“原始原子”膨胀前究竟是什么情况时说：“一切物体的总开始这一问题，根本不在科学认识的范围之内，这是信仰的领域。”另一个麦克雷说：论证大爆炸宇宙学的最重要的武器，根本不是天文观测事实，而是这种宇宙学的“理论上的成果”，“物理定律只是我们对宇宙进行思维时必须遵循的法则”。美国的一位学者说得更加荒唐，说：“在某种意义上，观测者知道的事实太多了，反而不满足于任何理论。”大爆炸宇宙学就是建立在这种主观的愿望上，他们所说的“整个宇宙”是存在于他们思维之中的宇宙，他们认为这并不需要事实的验证，而物理定律也不是自然界的客观规律的反映，充分暴露了唯心论的先验论的实质。

无怪乎，他们的这套东西受到了罗马教皇的赞赏，说它“意味着对《创世纪》第一言的证实，使基督的信徒具有对圣经的崇敬。”苏修的一个学者尾随其后，嚷嚷地说：“谈论宇宙的无限空间、宇宙的无限时间……正如同那些为了解宇宙是蓝色的还是黄色的，或者宇宙整体是否有颜色等问题的引起的讨论同样是没有意义的”，无限的概念是“从宗教里取得”的。苏修学者的胡言乱语，充分暴露了他们学术上的堕落，政治上的背叛，一副马克思主义的叛徒的嘴脸。

我们在前面已经一再看到，天文学发展历程中的每一次飞跃，都沉重地打击了宇宙有限论。但是，人们对宇宙认识的不断深入，决不意味着唯心的形而上学的宇宙观的告终。每当人们对天文学上的一些重大发现暂时还不能解释的时候，总有一小批人要歪曲这些发现，来给他们的旧货披上一件“科学”的外衣，迷惑人们。这种情况在其他学科中也是屡见不鲜的。毋庸置疑，这种认识上的危机必然引起变革；突破了危机，将是人类认识史上的一个长足的进步。

# 第十章 天体的起源与演化



## 一、康德星云说

本书写到这里，我们已叙述了迄今人类观测所及的宇宙空间中各种天体及天体系统的概况。读者自然会追问这些天体和天体系统的来龙去脉，它们是永恒的，还是有时间上的历史？如果它们是演变着的，那末生成、发展和衰亡的过程又是怎样的呢？

天体演化和物质结构、生命起源、人类起源，同属自然科学中重大的基本问题。在这些基本问题上，始终存在着两种宇宙观的激烈斗争。这些问题的研究对人类宇宙观的发展产生过深远的影响。

毛主席教导我们：“在人类的认识史中，从来就有关于宇宙发展法则的两种见解，一种是形而上学的见解，一种是辩证法的见解，形成了互相对立的两种宇宙观。”在天体的起源和演化问题上，古代就开始了两军对阵。在我国古代，这种斗争也很尖锐、复杂，成为我国古代儒家和法家两条路线斗争的一个部分。

关于天地的形成，我国古代有混沌初开的传说。认为宇宙中最初是一片混沌状态的气体，后来逐渐分开，轻清者上升为天，重浊者下沉为地。在殷商时代，有阴阳五行之说，认为万物都是由金、木、水、火、土五种元素构成的，以阴阳两气的矛盾来解释自然现象。汉代法家代表人物王充认为“天地，含气之自然也”。唐代法家柳宗元说：“庞昧革化，惟元气存，而何

---

本章题头图：一个1.2太阳质量的恒星的演化图象。原始星云(1)凝聚成一个恒星和行星系统(2)。主星序阶段(3)结束后恒星膨胀(4)。变成红巨星(5)。然后，恒星可能变成脉动变星(6)和新星(7)。新星爆发出的物质消散(8)。恒星最终变成了白矮星(9)。

为焉！”他们指出，天地万物都是由“气”或“元气”构成的。唐代的刘禹锡认为宇宙空间并非是无物质的绝对虚空，“空者，形之稀微者也”，空间有许多稀薄微小的物质，这些无形的物质相互作用，会变成有形的东西显现出来，会变成明亮的日月星辰。宋代王安石重申了五行是物质基本元素的朴素唯物主义观念。指出万物变化是“五行之为物”，“皆各有耦”，而“耦之中又有耦焉，而万物之变遂至于无穷”。“耦”是什么呢？就是矛盾。在古希腊，关于宇宙的本原也有类似的观点，认为万物源于水、空气、火、土。公元前四世纪，留基伯和德谟克利特创立了原子论，认为天地万物都由最小而不可再分的物质粒子——原子组成，重的原子形成了地球，轻的原子形成了太阳和星星。这些看法，虽然有的很幼稚，有的缺乏科学的论证，但都承认世界的物质性，不附加任何超自然的力量，用某种或某几种具体的物质形态来解释宇宙本原，具有朴素唯物主义的观点。

在唯心主义阵营方面，孔老二竭力鼓吹“天命论”，他虚构了一个有人格和有意志的自然界的主宰者——“天”，万物的生长和四季的变化都体现了“天”的意志。宋朝的程（程颢、程颐）、朱（朱熹）为了维护腐朽的封建统治，把儒学伦理化，炮制了客观唯心主义的理学。朱熹说：“未有天地之先，毕竟也只是理，有此理，便有此地。若无此理，便亦无天地，无人无物”，认为宇宙的本原是“理”，“理在气先”，“理在事先”，日月星辰不过是“理”的体现，而“理”就是独立存在于人的主观意识之外的所谓“客观”的“世界精神”。孟轲则狂妄地叫嚷：“万物皆备于我矣！”世间的一切事物都在孟轲的心中具备了。明朝的王守仁则说：“宇宙万物皆吾心中之物。”他们是主观唯心主义者，把个人的主观感觉、意识作为世界的本原，认为宇宙只存



在于“我”的感觉、意识之中，宇宙是由“我”的感觉、意识产生的。在外国，写在《圣经》上的创世故事，胡说上帝在六天之内赤手空拳创造了天地万物和人类。古希腊的毕达哥拉斯把抽象的“数”理解为事物的本质。客观唯心主义者和主观唯心主义者虽说法不一，但实质相同，都把精神作为宇宙的本原，把宇宙作为精神的产物，都对宇宙面貌进行了歪曲。

关于天地是否发展变化的问题，哲学上的两条路线斗争也很激烈。汉代的孔孟信徒董仲舒宣扬“天不变，道亦不变”的形而上学的思想，认为“古之天下，亦今之天下；今之天下，亦古之天下”。宋代腐儒司马光说：“天地不易也，日月无变也，万物如若也”，认为天地日月是毫无变化的。儒家鼓吹天不变是为了证明封建统治的“道”不变，为维护旧制度服务的。法家要进步，要变革，针锋相对地提出发展变化的观点。如韩非说：“夫物之一存一亡，乍死乍生，初盛而后衰者，不可谓常”，坚信自然界的事物处在一切皆变之中，有生有死，不存在永恒不变的东西。王安石认为“天文之变无穷，人事之变无已”，天体和人类社会都是变化无穷的。正当他革新变法期间，天上出现了彗星，华山发生了山崩地震，地上发生了旱灾，司马光之流趁机大肆攻击，把这些自然现象归咎于王安石变法。王安石痛斥顽儒：“天地与人，了不相关，薄蚀，震摇，皆有常数，不足畏忌”，“尚变者，天道也”，指出天变是自然的规律。

然而，古代先进的思想家不可能超出他们自己的时代所给予他们的限制。由于生产水平的低下，他们的宇宙发展变化的思想还没有建立在坚实的科学基础上。他们观察的是自然界的总画面，但缺乏细节方面的研究。再由于封建教会的统治，科学不得超越宗教规定的界限。因此，正如毛主席指出



的：“古代的辩证法带着自发的朴素的性质，根据当时的社会历史条件，还不可能有完备的理论，因而不能完全解释宇宙，后来就被形而上学所代替。”

社会在发展，到资产阶级革命萌芽时期，哥白尼提出了日心说，掀起了自然科学的革命。天文学和力学一马当先，刻卜勒行星运动三定律和牛顿万有引力定律的相继发现，牛顿力学体系的建立，在人类认识宇宙的历程中达到了一个高峰，物理学、化学、生物学、地质学等自然科学积累了许多实验和观测资料。这个时期的自然科学在细节的了解上远高于古代。可是，分门别类的研究也掩盖了另一种倾向，科学工作者被分工局限于自己的专业中，各自为政，割断了自然界错综复杂的联系，孤立地研究问题，把生动活泼的自然界看成僵死不变的世界。这种考察事物的方法从自然科学移到哲学以后，就使形而上学的宇宙观代替了古代朴素的辩证法，逐步地占了统治地位。牛顿的力学体系和外因论的哲学思想，“动者恒动，静者恒静”，对这个僵化的宇宙观的形成起了很大的影响。牛顿以现有状态的永恒性为前提，不能解释行星绕太阳转动的初始原因，便乞灵于上帝，引入了神秘的“第一次推动”，认为只有“靠一个全智全能的主宰”才能解释天体的运动。他明确地说：“引力可以使行星运动，但是没有神的力量就决不能使它们作现在这样绕太阳而转的运动。”恩格斯指出：“这个时代的特征是一个特殊的总观点的形成，这个总观点的中心是自然界绝对不变这样一个见解。不管自然界本身是怎样产生的，只要它一旦存在，那末在它存在的时候它始终就是这样。行星及其卫星，一旦由于神秘的‘第一次推动’而运动起来，它们便依照预定的椭圆轨道继续不断地旋转下去，或者无论如何也旋转到一切事物消灭为止。……和在时间上发展着的人

类历史相反，自然界的历史被认为只是在空间中扩张。自然界的任何变化、任何发展都被否定了。开始时那样革命的自然科学，突然站在一个彻头彻尾保守的自然界面前，在这个自然界中，今天的一切都和一开始的时候一样，而且直到世界末日或万古永世，一切都将和一开始的时候一样。”近代自然科学刚刚迈出了第一步，又被深深地禁锢在神学之中。而资产阶级作为一个剥削阶级，它的保守、动摇和反动则是把自然科学引向神学的阶级根源。近代自然科学最初在资产阶级革命中产生，也是批判的；但随着资产阶级地位的变化，它的反动的宇宙观便迅速地暴露出来。

形而上学的自然观统治了一个很长的时期。到十八世纪后半叶，德国哲学家康德才在这个僵化的自然观上打开第一个缺口。1755年康德在《自然通史和天体论》这部著作中提出了太阳系起源的星云假说，开端了科学的天体演化学说。

康德运用力学定律，从大自然的原始状态中探索天体本身的形成及其运动的起源。他说：“我不需要任意的虚构，只要按照给定的运动定律，就可以看到整个系统产生出来。”他认为构成天体的原始物质——微粒或如古希腊哲学家所说的原子——最初普遍处于分散的状态。在这样一团混沌的弥漫物质之中，由于万有引力的作用，密度较大部分的微粒把周围密度较小的区域里的物质吸引过来，而它们自己连同所聚集的物质一起，又被吸引到密度更大的地方，如此继续下去，逐渐凝聚成大的团块。在一团弥漫物质中有一个地点引力比其他地方大，成了引力中心。微粒向这一地点落去，于是在引力中心形成一个团块。它吸引的下落物愈多，对周围物质的吸引力就愈大，生长也愈快，最后便形成了太阳。

康德采用了牛顿的力学体系，但和牛顿单纯强调引力作用不同。除引力外，他还引入了斥力，以引力和斥力这对内部矛盾的运动来说明天体的发生和演化。他说：“我十分谨慎地排除了一切任意的虚构。我在把宇宙追溯到最简单的混沌状态以后，没有用别的力，而只是用了引力和斥力来说明大自然的有秩序的发展。这两种力是同样确实、同样简单，而且也同样基本和普遍”。表现了他的朴素的辩证思想。关于斥力，限于当时自然科学的水平，康德未能讲清楚。他说斥力“主要表现在当物质分解成微粒时它们之间的相互排斥，表现在排斥和吸引相互斗争中所引起的那种运动，这种运动好象是自然界的永恒生命。”向引力中心下落的微粒，由于斥力的作用，从直线运动中向侧面偏转，使“垂直的下落运动变成围绕引力中心的圆周运动”。转动的微粒开始方向多种多样，后来逐渐出现一个主要的运动方向，形成了一个旋转着的扁圆的云状物，它就是后来的太阳系。围绕中央团块作圆周运动的同一区域的微粒，在引力作用下凝聚成较小的团块；在它们周围由于斥力的作用形成了小的圆盘，终于生成了行星和卫星系统。

康德进一步阐明了太阳系结构上的一些特征，还把太阳系起源的星云假说推广到恒星世界，推断恒星都有各自的行星系统。他预言，在宇宙中天体不断地形成，又不断地毁灭；千千万万的太阳不断地燃起，又不断地熄灭；宇宙万物都是处于这样永恒的生死成毁的循环中。康德还提出了其他天体上也必然有人居住，或将来必然有人居住；而且，地球上的居民也并不是最完善的人类，在离太阳更远、形成得更晚的行星上可能会有更优越、更完善的居民。

在形而上学的思维方法在人们的头脑中占统治地位的时候，康德敢于提出朴素唯物辩证的假说，这是自然观上的重大

革命。恩格斯赞扬康德的星云说，说它“是从哥白尼以来天文学取得的最大进步。认为自然界在时间上没有任何历史的那种观念，第一次被动摇了”，“关于第一次推动的问题被取消了；地球和整个太阳系表现为某种在时间的进程中逐渐生成的东西”，康德对形而上学的宇宙不变论的批判“包含着一切继续进步的起点”，为十八世纪下半叶到十九世纪进化论的建立开辟了道路，“于是我们又回到了希腊哲学的伟大创立者的观点：整个自然界，从最小的东西到最大的东西，从沙粒到太阳，从原生生物到人，都处于永恒的产生和消灭中，处于不断的流动中，处于无休止的运动和变化中。只有这样一个本质的差别：在希腊人那里是天才的直觉的东西，在我们这里是严格科学的以实验为依据的研究的结果，因而也就具有确定得多和明白得多的形式。”

康德星云说的产生是有其历史背景的。十八世纪五十年代，英国和荷兰已经完成了资产阶级革命，法国革命的风暴正在酝酿，而德国还是一个四分五裂的封建国家，政治上和经济上都很落后，阶级矛盾十分尖锐，激烈的社会变革行将到来。在哲学上，上升时期的资产阶级是信奉唯物主义的，在康德之前唯物论哲学有了蓬勃的发展，而且出现了以笛卡尔和斯宾诺莎为代表的具有辩证思想的哲学家。这一时期的天文学，由于装备了望远镜，有了重大的发现。观测到木星、土星的卫星以及土星的光环，进一步揭示了太阳系的结构。在望远镜里银河分解为密密麻麻的无数星星。又观测到几十个云雾状的天体——星云。在这样的社会历史条件下，青年时期的康德适应了资产阶级革命的需要，吸取了前人在哲学和自然科学上的积极成果，提出了星云假说。在这个理论中包含着辩证的思维，恢复了辩证法这一最高的思维形式，这是以

黑格尔为顶峰的德国古典哲学的最大功绩，而康德正是德国古典哲学的创始人。

然而，星云说既然是历史的产物，也就不能不受到历史条件的局限。康德出身于小手工业主和小商人的家庭。当时德国的资产阶级还很软弱，一方面对腐朽的封建统治不满，一方面又屈服于封建势力，希望走改良的道路。康德无法摆脱这种资产阶级两重性的影响，在青年时期的批判精神后来丧失殆尽。最后，他成为一个二元论者、不可知论者，陷入了彻头彻尾的唯心论的先验论。他一面承认有不依赖于人的意识的“自在之物”，但又把这个外在世界看成是上帝的创作。这样，他就把世界看作有两个本原，一个是物质的，一个是精神的。他一面承认物质发展有其客观规律，批判了牛顿的“第一次推动”，认为大自然决不是由于“一只外来之手”或者从“碰巧的偶然中”产生的，但后来又连忙辩解说这个规律本身就是“神的意志”，就是“最高智慧所安排的计划”，表示他自己是和宗教一致的，企图调和科学和宗教、调和唯物主义和唯心主义的对立。他一面承认天体系统无限发展的可能性，但一面又把这种发展看作是“火凤凰”<sup>①</sup>自焚、再生、再自焚的简单循环，带有形而上学的机械论性质，不懂得事物发展是螺旋式的上升、波浪式的前进。康德不能达到彻底的辩证法的宇宙观。

康德的悲剧说明了资产阶级学者尽管在一定的历史条件下能作出一些贡献，但是它的软弱性和动摇性迫使它的学者日益走向保守、反动，走向自己的反面。

尽管如此，康德关于太阳系起源的观点本质上是批判的，

---

<sup>①</sup> 火凤凰是西方神话中的神鸟。据说生长在阿拉伯沙漠，寿命长到几百年。最后在香木筑成的巢中自焚而死，然后又从灰烬中重生，开始生命的另一次循环。



它的意义远远超出天文学的范畴。因此，他的著作《自然通史和天体论》出版后，反动势力用沉默来扼杀它，初版印数不多，销路不广，出版商宣告破产。直至1796年法国天文学家拉普拉斯独立地提出了同康德类似的太阳系起源的星云假说以后，人们才想起了41年前的那本书，促使那本书再版，康德的星云说才产生了广泛的影响。

就科学内容而言，康德的星云说有其合理的内核，能说明太阳系结构的一些特征，但也有严重的弱点。一个主要的错误是角动量的问题。角动量是衡量物体转动的物理量。一个质点的角动量等于它的质量、转动速度和离转动轴距离的连乘积，而一个物体的角动量等于它包含的所有质点的角动量之总和。对于与外界隔绝的物体或物体系统，它的角动量是守恒的。你可以看一个简单的实验，坐在转凳上双手握着哑铃的人，当从两手侧平举的姿势改为两手缩在胸前的姿势时，他旋转加快了。正是由于角动量守恒，对于前一种姿势，哑铃离转动轴远，旋转速度小；对于后一种姿势，则相反。康德的所谓原先不动的一团弥漫物质通过引力和斥力的作用会旋转起来，这是不可能的。

拉普拉斯的星云说从一个炽热的原始星云出发，认为星云由气体构成，体积比现在的太阳系大得多，大致呈球状，在缓慢地转动。星云因辐射而损失热量，逐渐冷却引起了收缩。由于角动量守恒，星云转动速度随体积收缩而增加，惯性离心力也随之增加。在惯性离心力和密度较大的中央部分的引力联合作用下，气体向星云的赤道平面沉落，星云愈来愈扁。当赤道面上外围的气体的惯性离心力增大到等于星云对它的引力时，外围的气体便停止收缩，脱离了星云本体留在原地，形成一个绕中心旋转的气体环。星云继续冷却和收缩，分离过

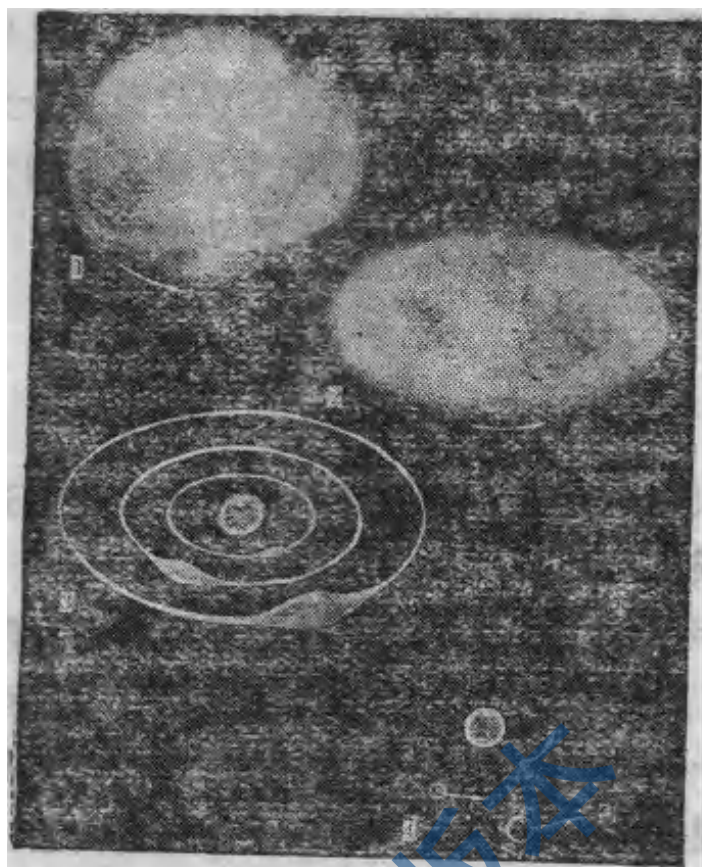


图 10-1 拉普拉斯星云说的示意图

程一次又一次地重演，产生了和行星数目相等的气体环，环的位置大致就是今天行星的位置。星云中央部分收缩成太阳。各个气体环内物质分布不是均匀的，密度较大的部分把密度较小的部分吸引过去，逐渐形成了一些气团。气团相互吸引，小的被大的兼并，最后结合成行星。刚形成的行星还是相当热的气体球，以后慢慢冷却收缩才凝固成固态的行星。较大的行星在冷却收缩过程中又可能分离出一些绕之旋转的小气体环，它们凝聚成行星周围的卫星。

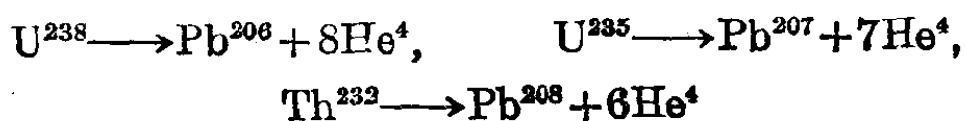
拉普拉斯的星云说能解释太阳系结构上的一些特征，可是也有一些致命的弱点。实际上由观测得知，星云的温度是很低的，收缩时位能转化为热能，温度应升高，而拉普拉斯却颠倒了过来。再说，炽热稀薄的气体是不可能形成环状的，更不可能凝聚成行星。

康德和拉普拉斯的星云说尽管有这样那样的错误，但太阳和行星系是由同一个星云形成的观点已为今天的天文工作者继承了。而且在人类的认识史中，星云说曾为突破形而上学宇宙观的统治建立了不可磨灭的功勋。

## 二、太阳系起源

研究太阳系起源，事关紧要的一点是确定这个过程发生在什么时候。

几十年以前，人们还不清楚自己活动的场所——地球在何时“竣工”的，测定地球的年龄使科学工作者感到很棘手。那时虽然有一些估计，但根据不足，推算的地球年龄太短了。上世纪末发现了放射性物质，在这个难题的面前出现了新的曙光。元素周期表上后面的一些重元素，大多是不稳定的，它们的原子核会天然地放出氦核(He)、电子或 $\gamma$ 射线，蜕变为较轻的元素。而蜕变成较轻的元素一般也是不稳定的，蜕变继续重演，直至形成稳定的元素。在地壳中存在着三族放射性元素，起始元素为：铀 ${}_{92}\text{U}^{238}$ 、钍 ${}_{90}\text{Th}^{232}$ 和铀的同位素 ${}_{92}\text{U}^{235}$ (元素符号左下角的数字代表原子序数，右上角的数字代表原子核的质量数，它等于构成原子核的质子和中子数之和)，三族最后的产物是稳定的铅(Pb)的三种同位素。这可表示如下：



这些放射性元素蜕变的速率已精确测定了。随着蜕变的进行，放射性物质的质量逐渐减少，蜕变的最后产物逐渐增加。放射性物质蜕变一半所需的时间叫做“半衰期”。 $\text{U}^{238}$ 的半衰期是45亿年。任一块 $\text{U}^{238}$ 经过90亿年只剩下开始时的

1/4。1克铀全部蜕变后，将变成0.865克铅和0.135克氦。 $U^{235}$ 的半衰期为8.5亿年， $Th^{232}$ 为139亿年。放射性元素虽然不稳定，但它们的蜕变却进行得有条不紊，半衰期稳如泰山，外界物理条件（温度和压力）的变化或参与了化学反应也都不能丝毫动摇它们蜕变的速率，真可谓“任凭风浪起，稳坐钓鱼台”。放射性元素的这一重要特性使科学工作者通过岩石中铀、钍和铅相对含量的分析，即测定比率 $Pb^{206}/U^{238}$ 、 $Pb^{207}/U^{235}$ 和 $Pb^{208}/Th^{232}$ ，便能可靠地定出岩石的年龄。氦是轻的气体，容易从岩石中逃跑，因此分析时科学工作者选用铅而不用氦。用这种方法测定的地壳中最老的岩石的年龄为35亿年。岩石的年龄是指岩石固化以来的时间。为了确定地球的年龄，还必须加上岩石固化以前冷却的时间。对陨石，测出的极大年龄接近于46亿年。这个数据是现在一般采用的地球和太阳系的年龄。太阳是太阳系的“家长”，不能设想先有地球后有太阳，因而太阳至少是和地球同年的。近代恒星演化理论估计的太阳年龄和用上述方法定出的地球年龄也是不矛盾的。

人生易老天难老。摆在我们面前的问题是要追溯大约在50亿年前发生的事件。人的寿命，甚至人类有文字记载的几千年历史，与太阳系的年龄相比不过一瞬间而已。谁都没有象看电影那样目睹太阳系形成的过程。天文学虽然取得了很大的成就，但迄今能观测到的行星系统仅局限于太阳系这一个样品，我们掌握的感性材料实在很不充分，问题的难度也就不言而喻。

恩格斯在论述太阳系死亡以后太阳残骸的转化时指出：“当然，我们是不会象知道 $2 \times 2 = 4$ 或物质的吸引的增加和减少取决于距离的平方那样知道这一点的。理论自然科学把自



己的自然观尽可能地制成一个和谐的整体，现在甚至连最没有思想的经验主义者离开理论自然科学也不能前进一步；但是在理论自然科学中，我们往往不得不计算不完全知道的数量，而在任何时候都必须用思想的首尾一贯性去帮助还不充分的知识。”天体演化研究的特点在于依据已知的关于天体和天体系统的性质和规律性，综合自然科学的成就，运用理论思维去追溯现存的天体和天体系统的起源和演化的途径。恩格斯说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。”在天体演化的研究中，人们就象处在蜂群之中那样处在种种假说之中。假说总带有暂时的性质，随着科学的发展，它不断地变更。

我们分析太阳系的材料，可以归纳出几条太阳系结构和运动上的特征。一个比较完善的太阳系起源的假说应该而且必须能说明这些特征以及其他的一些细节。

九大行星绕太阳公转的轨道平面彼此很接近，冥王星的轨道平面和黄道平面交角最大，也只不过 $17^\circ$ ，其余都不超过 $8^\circ$ 。如果把九大行星都绘在一个平面上，同真实情况相差不多。

九大行星绕太阳公转的方向是一致的，从黄道平面之北看，都是反时针方向转动。多数卫星绕行星运行的方向也是这样，少数例外。除金星和天王星外，行星和太阳也都按反时针方向绕轴自转。

行星和太阳的距离有某种规律性，可以用一个经验的式子来表示：

$$r = 0.4 + 0.3 \times 2^n$$

指数  $n$  对于从水星至冥王星依次取： $-\infty, 0, 1, \dots, 7$ 。我们将行星离太阳的真实距离和由上式算出的距离  $r$  比较一下



(见下表,都以天文单位为距离的单位)。

行星	水星	金星	地球	火星	小行星
真实距离	0.4	0.7	1.0	1.5	2~3.5①
$n$	$-\infty$	0	1	2	3
$r$	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8

行星	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
真实距离	5.2	9.5	19.2	30.1	39.4
$n$	4	5	6	—	7
$r$	5.2	10.0	19.6	—	38.8

由上表看出,  $n=3$  和位于火星轨道和木星轨道之间的小行星带相对应, 与  $n=7$  对应的不是海王星, 而是冥王星。海王星破坏了这个表示行星距离的经验公式。

行星明显分成类地行星和类木行星两类。前者包括水星、金星、地球和火星, 它们的质量和体积小, 密度大, 所含的氢、氦和其他轻元素较少, 自转周期较长。后者包括木星、土星、天王星和海王星, 情况正相反。

还有一件值得注意的事, 便是太阳系角动量的分布。质量占整个太阳系 99.85% 的太阳, 其角动量不到太阳系总角动量的 1%; 质量不到太阳系总质量的 1% 诸行星, 角动量却占 99% 以上。在拉普拉斯假说中他没有论述太阳系角动量的这种异常分布的问题, 按照该假说推论, 冷却收缩的星云转动愈来愈加快, 在中央凝聚而成的太阳应当占有最大的角动量, 这与事实是不符的。

拉普拉斯的假说问世后, 限于当时的科学水平, 被普遍认为已圆满地描绘了太阳系的起源。整个十九世纪, 天体演化的研究几乎处于停顿状态。随着天文学和其他有关科学的蓬

① 绝大多数小行星位于这个区间内。

勃发展，人们越来越觉察到康德和拉普拉斯星云说中存在的一些错误，同时，观测资料的积累及理论水平的提高使得研究太阳系起源问题的条件比康德和拉普拉斯的时代好多了。进入二十世纪，形形色色的太阳系起源假说象雨后春笋般地出现，迄今已达几十个。假说之多一方面说明本世纪以来对这个问题的研究很活跃，另一方面也表明对这个问题的认识还是初步的，还没有一个假说被普遍接受。

本世纪初最早出现的假说属于“灾变说”。这类假说的共性在于把太阳系描绘成某种偶然事件或某种罕见的巨大灾变的产物。1901年由美国地质学家张伯伦提出，后经天文学家摩尔顿发展的“星子假说”就是一种灾变说。他们认为：曾经有一颗恒星光临太阳附近，它的起潮力在太阳的正面和背面掀起了轩然大波，引起太阳喷射物质，形成两股气流。由于恒星的吸引，物质跟着恒星运动的方向拐弯，这两股气流形成螺旋状，并逐渐汇合成绕太阳旋转的环状星云盘，星云盘具有比太阳大得多的角动量。盘内的气体先凝聚为液体，然后凝固成固体质点。固体质点聚集成固体块，称为“星子”。较大的星子成为行星胎，逐渐长大成行星。

接着，1916年英国天文学家秦斯提出了“潮汐假说”，它和星子假说在细节上有许多不同。这个假说认为：接近太阳的一颗恒星在太阳的正面掀起了一个“瘤”，而太阳背面的潮小得多，很快衰落。“瘤”逐渐拉长，脱离太阳，形成两头细中间粗的雪茄形气柱。在这颗路过的恒星的吸引下，雪茄形气柱朝恒星离开的方向弯曲，以后在其内形成了行星。粗壮的雪茄形中部生成了较大的木星和土星，纤细的两端生成其他较小的行星。

有的灾变说认为太阳从前是双星的一个子星，另一个子

星曾经被第三颗星碰了一下，碰后两颗星象弹子球那样朝不同方向逃之夭夭，并拉出了一长条物质，成为生成行星的原料。有的认为和太阳组成双星的子星在某个时候发生大爆发，成为超新星。朝太阳方面抛出的物质较多，由于反冲作用，超新星离开了太阳。抛出的一部分物质被太阳俘获，后来形成了行星。……

诸如此类，不一而足。在几十个太阳系起源的假说中，灾变说约占三分之一。

各类灾变说虽在细节上各异，但其思想体系上却相似乃尔，都把太阳系归结为由偶然事件产生的。请看曾经风靡一时的潮汐假说的代表秦斯在《神秘的宇宙》一书中的表白：“我们跌进这样一个宇宙，如果不是确实的错误，至少也可以正当地说是由于一种偶然的事件。这样说法，并不必含有惊奇我们宇宙的存在，因为偶然的事件，总要发生。假若宇宙长久继续，每种能想到的偶然事件，全有遇着的时候。我想是赫胥黎曾经说过，叫六只猿胡乱打字，经过几千百万年以后，终会有时打出英国博物院所有的书籍。假若我们查阅某只猿所打的最后一页，发见它的乱打，竟成一首莎士比亚的十四行诗，我们一定觉得这是一桩奇特的偶然事件。但是我们要翻尽了它在过去不知多少千万年里所打完的千百万张纸以后，我们敢断言不定在那里又找出一首莎士比亚的十四行诗，完全是机会胡撞的结果。同样，几千百万的星球，胡乱在太空里游行，经过了几千百万年的时间，当然要遇着种种的偶然事件。其中有限几个，必要遇着那种特别的偶然事件，结果才产生了所谓行星的系统。”

事情真如秦斯所描绘的那样吗？不！

银河系内恒星的空间分布是非常稀疏的。以太阳到最近

恒星的距离为边长的立方体的体积约为太阳体积的  $10^{23}$  倍。因而两颗恒星在宇宙空间相遇是不大可能的。计算表明，一个恒星同其他恒星接近两千多万亿年才发生一次，碰撞的几率还要小。因此，潮汐假说和两星碰撞之类的灾变说几乎是一种梦想。我们并不一概排斥偶然性；但灾变说把偶然性当成决定的因素，用偶然事件代替事物发展的必然规律，在哲学上是反动的。同时，灾变说必然导致太阳系是独一无二的，或是“有限几个”行星系中的一个的结论，进而导致地球上的人类更是宇宙中绝无仅有的结论。这和宗教宣扬的上帝创造地球上人类的教义是一拍即合的。灾变说势必将科学引向神学。灾变说在观点上是对二百年前康德星云说的大倒退。这反映了两种宇宙观斗争的长期性。关于太阳系之外行星系和生命的存在问题，目前天文观测工具还没有能力提供严格的科学证据。但我们相信，太阳系并非得天独厚，地球上的生命不是“天之骄子”，它们的发生都是由自然规律决定的，只要条件具备，不管何时何地，行星系和生命就会自然地发生，因而也就具有普遍性。

灾变说的设计师对事物不作全面的分析，抓住一鳞半爪的事实，便“机会乱撞”地作一番唯心主义的先验的臆想。正如毛主席所指出的：“他们简单地从事物外部去找发展的原因，否认唯物辩证法所主张的事物因内部矛盾引起发展的学说。”按照潮汐假说或星子假说，地球所以能诞生，人类能有今天，多亏那颗不远万里来到太阳附近、扮演了“接生婆”角色后扬长而去的恒星。若问那颗立了大功的恒星的名称，说穿了就叫“上帝”。无怪乎秦斯的假说博得了梵蒂冈的喝采。

在形成行星的物质从何而来的问题上，以苏联的施密特为代表提出了“俘获说”。他们认为，太阳在银河系内运动时

曾经钻进了一个星际云,并从中捞了一把,俘获了一些尘埃和气体,成为形成行星的原料。这些原料开始在太阳的周围运动、聚集,越聚越密,当密度达到一定程度时,就迅速结合、凝聚成行星。

俘获说的炮制者洋洋得意,自诩说俘获说是“自觉的和彻底的唯物主义。”这完全是欺人之谈。星际云体积虽大,但数目比恒星少得多,太阳遇到星际云的机会也不多。即使太阳一头栽了进去,理论研究表明,必须满足特殊的条件,才能俘获星际物质。因此俘获说同样是将太阳系起源建立在偶然性的基础上。在哲学上,俘获说也是否认了事物内部矛盾运动推动事物发展的决定作用,拼命强调外力的作用,对抗唯物辩证法,陷入了外因论和被动论的泥坑。

有比较才能鉴别。有鉴别,有斗争,才能发展。真理是在同谬误作斗争中间发展起来的。建立在“每种能想到的偶然事件”基础上的灾变说漏洞百出,经过比较、鉴别,它们捉襟见肘,窘态毕露。灾变说已如此不得人心,以至有的作者后来宣布放弃他的假说。太阳和行星系统由同一个星云形成的观点被普遍接受。近代的星云说与康德和拉普拉斯星云说相比,已螺旋式地上升,内容丰富得多。提出各种星云假说的科学工作者发挥自己的专长,从流体力学、电磁学、化学等不同方面进行研究。太阳系的形成过程显然是错综复杂的,不可能只有一种因素起作用,因此从不同的方面探讨,无疑是有益的。

恩格斯指出:“如果在现代自然科学中康德的星云球被称为原始星云,那末这不言而喻应该只是在相对意义上来理解的。它是原始星云,一方面在于它是现存的天体的起源,另一方面在于它是我们迄今所能追溯的最早的物质形式。这绝不



排除,而更应当说是要求这样的条件:物质在原始星云之前已经经过了其他形式的无限序列。”近代天体演化学在追溯天体起源时从星云开始,探讨由星云变为星球的物质形式转化的过程。近代天文观测资料表明,形成太阳系的星云——太阳星云,也必然有其时间上的历史。天文工作者认为,重元素是在恒星内部甚至超新星内部的高温高压条件下才能由轻元素合成的,以后通过恒星的爆发,抛到星际空间,成为形成下一代星的原料。太阳、地球和其他行星上存在的重元素直至超铀元素是太阳星云获得的前辈恒星的“遗产”。恩格斯在一百年前的光辉预言正在得到证实。

关于太阳星云的状况,已很难从地球和大行星的资料来考察。大行星内部的热作用和重力作用,外层的地质过程,已将太阳系早期历史的信息磨灭了。近来,科学工作者认识到,太阳系内的小天体(陨星、小行星和彗星)由于它们的渺小,内部不会有高热和其他的过程来销毁它们诞生时留下的信息,因而可能还蕴含着凝聚过程的记录。而且象陨石这样的小天体,它们的内部人们是可以接触到的。科学工作者分析了陨石,发现有一类球粒陨石,它们的化学成分相当稳定,较重元素的相对含量与太阳很类似。因此球粒陨石可能是太阳星云中原始的凝聚团块。在某些陨石内的颗粒中发现有遗留的磁性,为探索太阳星云内的磁性过程提供了线索。有些陨石的颗粒组织内显示着太阳风类型的高能粒子和能量更高的宇宙射线经过的痕迹,这有助于了解太阳风和宇宙射线在太阳系演化过程中所起的作用。更有趣的是在陨石中发现了有机物,如好几种氨基酸和甲醛。有机物是无机物和生命物质之间的过渡物质,它们在陨石中出现,对于太阳系内生命形成以前的化学演化的研究具有重要的意义。天体不论大小,都各

有长处和短处。为了探索太阳系早期历史，对陨石“考古”和研究其他小天体，已引起了广泛的重视。

行星轨道的共面性和公转的同向性表明，太阳系决不是一蹴而就的，必定经历了一个漫长的形成和发展过程，才能变成有秩序的状态。太阳是一颗普通的恒星，探讨太阳系的起源应该密切参照恒星早期演化的研究成果。

现在普遍认为这个漫长的形成和发展过程是这样的：缓慢旋转着的巨大的星云在自身引力作用下碎裂成许多块，其中之一就是我们的太阳星云，它包含着气体和尘埃。太阳星云的体积比现在太阳系的范围大得多，它继续处于引力收缩的过程中。星云中央部分密度增加得比外部快，形成了太阳。由于角动量守恒，体积的缩小导致旋转的加速，太阳星云变扁，在自转很快的太阳周围形成了一个旋转较慢的圆盘。太阳内部在开始热核反应之前，有一个大量抛射物质的不稳定阶段，离开太阳的物质使太阳自转的角动量遭受损失。其中的一部分物质留在圆盘内，增加了圆盘的角动量。有人认为，太阳原先具有较强的磁场，磁力线随着太阳的自转而旋转。圆盘内的气体在太阳辐射的作用下处于电离状态。电离气体不能跨越磁力线，而被磁力线带着转。于是，圆盘转动加快，太阳自转减慢，太阳通过磁场将自己的角动量转移给圆盘。以后由圆盘内的物质形成的行星，轨道几乎在同一个平面上，以同一个方向绕太阳旋转，并且占有很大的角动量。因耀斑之类的太阳活动被抛离的电离气体，受太阳磁场的磁力线带动，获得了绕太阳转动的角动量，这可能也是使太阳角动量减小的机理。

圆盘内物质的化学组成起初和太阳一样，就是太阳星云的化学成分，氢最多，氦居次，这两种元素占了质量的98%左

右。在引力收缩阶段的太阳光度很大，太阳辐射控制了圆盘的温度分布。圆盘靠近太阳的部分温度最高，氢、氦等挥发性物质受热蒸发，并在太阳的光压和抛射物质的作用下，被驱赶到离太阳较远的地方，甚至被逐出太阳系。剩下的以硅、铁、镁等为主的重元素构成了小而结实的类地行星。在木星和土星区域，温度较低，氢和氦保留下来。尔后形成的庞大的木星和土星，富含氢和氦，密度最小。天王星和海王星区域远离太阳，受太阳的吸引微弱，脱离速度小，氢和氦“开小差”，跑掉了很多，剩下的物质以氧、氮、碳最丰富，其次才是氢和氦。氧、氮、碳都和氢化合成水、氨和甲烷等分子。在这个区域形成的天王星和海王星比木星和土星小，密度则大些。最外面的冥王星更是小而密。

圆盘中除气体外还有少量的尘粒。根据对星际物质研究的结果，尘粒的半径约  $10^{-5}$  厘米。气体以尘粒为凝聚核心。尘粒在椭圆轨道上绕太阳旋转，轨道的倾角和扁度多种多样，因此碰撞频繁。在碰撞中尘粒常会粘合，聚成团块，团块增大到一定程度，它的引力开始起作用，把周围的物质吸引过来，象滚雪球那样迅速壮大自己。同时，在碰撞过程中，轨道逐渐平均化，轨道的扁度和倾角在减小。最大的木星和土星在形成过程中这种平均化最彻底，因而它们的轨道最接近圆，轨道的倾角最小。

团块之间经过激烈的斗争，“大鱼吃小鱼，小鱼吃虾米”，最后兼并成几个行星胎。有的假说分析了各行星胎的“引力范围”，也可以说是行星胎瓜分的势力范围。在某个行星胎势力范围内的物质迟早要被它吞并，不可能再凝聚成另外的行星胎。行星距离的规律正是这种引力范围的反映。有人则认为：行星的距离最初很不同于现在的样子，由于巨大的木星和

其他行星相互吸引，轨道发生变化，向着稳定轨道演变。眼下行星轨道变化非常缓慢，已接近于稳定的配置了。

行星胎周围的残余物质小规模地重演行星系统形成的过程，产生了规则卫星。逆行的以及轨道较扁、倾角较大的卫星属于不规则卫星，它们很可能是在别处形成，后来被行星俘获。俘获时可以绕行星顺转，也可以逆转。例如木卫六至十二和两个火卫可能是被俘获的小行星。关于火星和木星之间的小行星带的成因，是一个有争议的问题。有的认为，小行星是太阳星云物质直接凝聚而成的，由于受邻近迅速增长的木星胎的干扰，未能继续长成一个大行星。有的认为小行星是一个大行星爆炸的碎片，造成了多种多样的轨道扁度和倾角。陨星也要追溯到这次爆炸，它们来自这颗粉身碎骨的行星的不同层，才有化学成分明显不同的陨铁、陨石和陨铁石之分。第三种意见认为，在小行星区域内太阳星云的物质很稀疏，凝聚成了为数不多的中介天体，有些留存下来成为今天较大的小行星；有些在运动中撞碎了，变成众多的较小的小行星。

今天，人们对于太阳系起源的认识还是很不完美的，存在的问题很多，一些对立的见解不能判断孰是孰非。但与几十年前比，毕竟已前进了一步。恩格斯在批判杜林时说：“认识就其本性而言，或者对漫长的世代系列来说是相对的而且必然是逐步趋于完善的，或者就象在天体演化学、地质学和人类历史中一样，由于历史材料不足，甚至永远是有缺陷的、不完美的，而谁要以真正的、不变的、最后的、终极的真理的标准来衡量它，那末，他只是证明他自己的无知和荒谬”。

### 三、恒星的一生

人类的注意力突破太阳系伸向恒星世界,始于十八世纪。十九世纪光谱分析方法出现后,在这个领域里的研究才蓬勃地展开。对恒星起源和演化的探讨是本世纪以来的事,尤其在近二、三十年内才取得较大的成就。论历史,恒星起源和演化的研究不如太阳系起源的研究悠久;论观测条件,太阳系内的天体“近在咫尺”,一些细节看得更清楚。为什么前者会后来居上,比后者取得更大的进展呢?

我们看到的恒星何止千千万万。有确凿的证据表明,种类繁多的恒星处于不同的演化阶段,有的正在形成,有的进入中年,有的行将衰亡。尽管恒星非常遥远,一些细节看不到,但就演化的角度而言,恒星的感性材料比太阳系这个行星系统只有一个样品要丰富得多。我们综合大量的处于不同演化阶段的恒星的资料,结合理论分析,对恒星来龙去脉的图景比太阳系的形成过程容易描绘。正如,人们要了解人从生到死的演变过程,并不需要等待自己暮年临终时由于有了毕生的经历才能总结出来,而是看到世界上几十亿人口有婴儿、少年、青年、中年和老年之分,就可描绘出人的一生了。

恒星世界也有老、中、青之分。诚然,要搞清楚某类恒星是年青还是年老的,并不象看一个人是老人还是小孩那样容易,需要收集多方面的证据,经过大量的研究,才能判别。但是如果分清了恒星世界中的老、中、青,无疑对恒星演化的研究有很大的启示。因此,在描述恒星的一生之前,我们首先举几种明显的例子,说明恒星在年龄上的巨大差异。太阳的年龄根据地球的年龄估计约五十亿岁,在恒星世界中属于中年。有



比太阳年轻的。比如，一个 $35M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$ 为太阳质量)的O型主序星，其核心要承受巨大躯壳的挤压，温度和压力很高，热核反应猛烈地进行，释放的能量达太阳的10万倍，燃料耗损得很快。这种星尽管贮藏的氢燃料35倍于太阳，实力雄厚，但是经不起大手大脚的挥霍，而这种“赫赫扬扬”的场面只能支撑短暂的几百万年至几千万年，便会渐渐地露出了那下世的光景来，因而它是很年轻的。银河系中的天体，尤其是质量高度密集的银心部分，施于星团的起潮力对星团起了“散伙”的作用。疏散星团比较松松垮垮，在起潮力的影响下其成员星聚在一起一般只能维持几亿年到几十亿年；而现在尚未瓦解的疏散星团通常年龄是不大的，著名的昴星团很松散，它不过二千万岁。正在扩张的星协，是更稀疏的恒星集团，很不稳定，年龄更小，几百万年便分崩离析，其成员如O型星，都是年轻的天体。而球状星团结构紧密，即使经过几百亿年，起潮力也不易使它瓦解，如后面要讲到的，它们的成员比太阳老得多。

我们在第七章提到的赫罗图在恒星演化的研究中占有举足轻重的地位。且看各类恒星在这张“棋盘”上摆开了颇有考究价值的阵势：90%的星集中在从左上角至右下角的主星序上，右上方是红巨星的区域，左下方是白矮星的阵地，种类繁多的变星介于主星序和红巨星之间（图10-2）。这种分布格局为天文工作者探索恒星演化提供了线索，同时成为检验演化理论是否科学的一个标准。

在这张“棋盘”上，人们怎样“跃马横车”，探索各种恒星移动的路径，从而找出它们之间的演化关系呢？事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。近代科学的恒星演化理论正是从寻找恒星内部的矛盾、研究这些矛盾的运动入手，来探索演变的原因。恒星内部

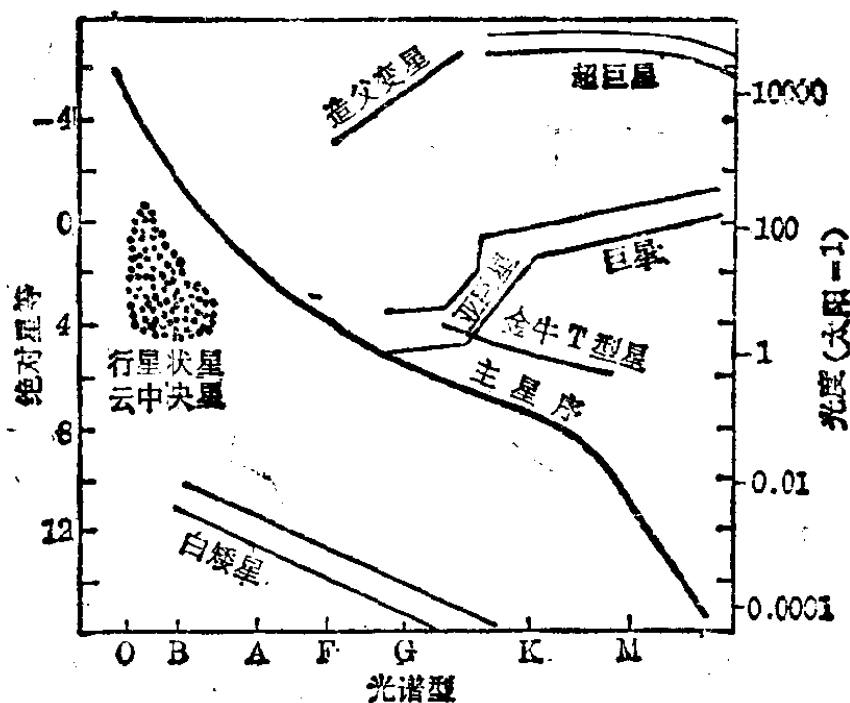


图10-2 赫罗图上的星序

吸引和排斥这对固有的矛盾运动的发展，恒星内部发生的各种热核反应，不断地改变了恒星的内部状态，成为推动恒星演化的动力。近代恒星演化理论认为，质量和化学成分是两个基本的量，这两个量决定了恒星内部的热核反应和能量向外输送的过程，从而自中心到表面温度、压力、密度、能流等物理量的分布都可以计算出来，恒星的光度和表面温度也就可以知道，因而恒星在赫罗图上的位置也就唯一地确定。随着恒星内部吸引和排斥这对矛盾运动的发展和热核反应不断进行，恒星的化学成分便逐步改变。恒星在某一时候的化学成分可以从恒星形成时的初始化学成分、热核反应速率和演化经过的时间(即年龄)推算。人们打从恒星诞生时开始，给定了质量和初始化学成分，随着时间的推移，可以一步一步地推算恒星在各个时候的内部状态，从而可以看到恒星在赫罗图上的移动。这就是从近代恒星演化理论上推出的恒星这只“棋子”所走的路径。它必须接受观测资料的检验，即能否解释

赫罗图上恒星分布的格局，从而判断走的是“好棋”还是“丑棋”。

本世纪初叶赫罗图建立之后，罗素就来解释这张图。那时候，还不知道热核反应，人们普遍认为星体引力收缩是它能量的来源。罗素认为：赫罗图上主星序右上方的红巨星是演化的早期阶段，它们开始引力收缩，体积缩小，表面温度增高，在赫罗图上表现为向左移动；演化到 B 型主序星时，表面温度达到极大。之后，收缩产生的能量不足以补偿辐射损失的能量，恒星就象固体或液体那样地冷却，光度愈来愈小，依次向 A、F、G、K、M 型星演变，在赫罗图上表现为沿着主星序“滑”下去。罗素的假说提出后不久，发现了主序星的光度和质量之间有一定的关系，即光度随质量以幂函数的形式增加，幂指数大体上界于 3 和 4 之间。原来光度大的早型星比光度小的晚型星质量大好多倍，如果恒星沿主星序向右下方移动，在演化过程中应损失大部分质量，这是没有观测根据的。罗素的假说很快被否定了。限于当时的科学水平，他走了一步“丑棋”。

恒星由星云转化而来的这个观点已被广泛地接受。有一些观测资料成为这种观点的台柱：年轻的 O、B 型星常和星云在一起，它们同星云的相对速度很小，表明它们不可能是萍水相逢，而是休戚相关。此外，人们已经发现了一些不是星云却似星云，不是恒星却似恒星的“亦此亦彼”的天体。例如在一些亮星云的背景上发现了称为“球状体”的暗圆斑(图 10-3)，大小为几千天文单位，可能是正在收缩阶段还没有开始发光的星云。又例如，有一类名叫赫比格-哈罗天体，云状的物质裹着一个类似恒星的核(图 10-4)。它们似云非云，似星非星，可能是正在孕育着的恒星。在这里我们又一次领



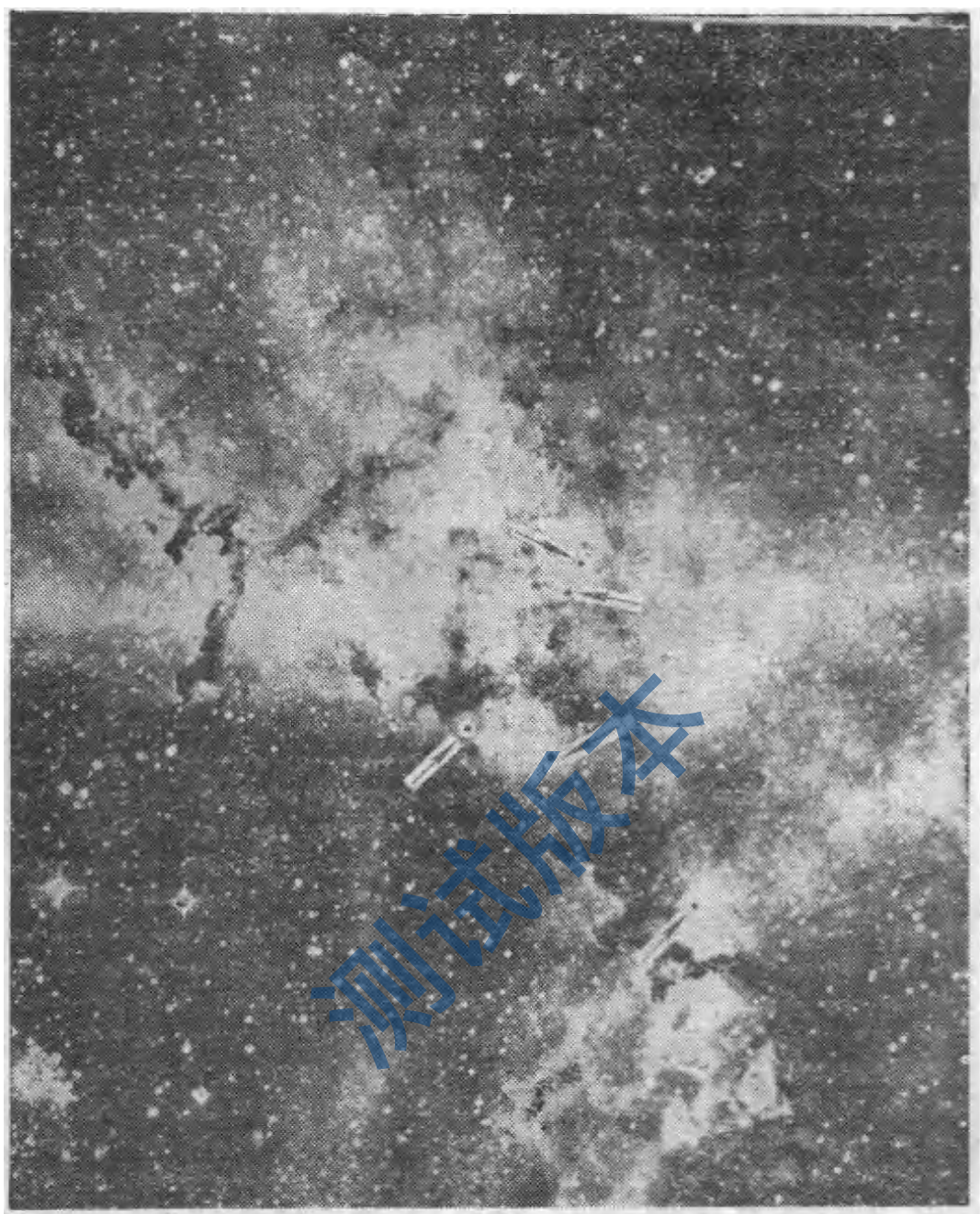


图 10-3 玫瑰星云背景上的球状体(图中箭头所指)

会到恩格斯的教导：“辩证法不知道什么绝对分明的和固定不变的界限，不知道什么无条件的普遍有效的‘非此即彼！’”赫比格-哈罗天体嘲笑了把恒星和星云一刀切开的界限。还有，六十年代以来，红外线观测的技术应用于天文上，发现了几千个红外源。这些红外源一部分是目视也能看到的晚型巨

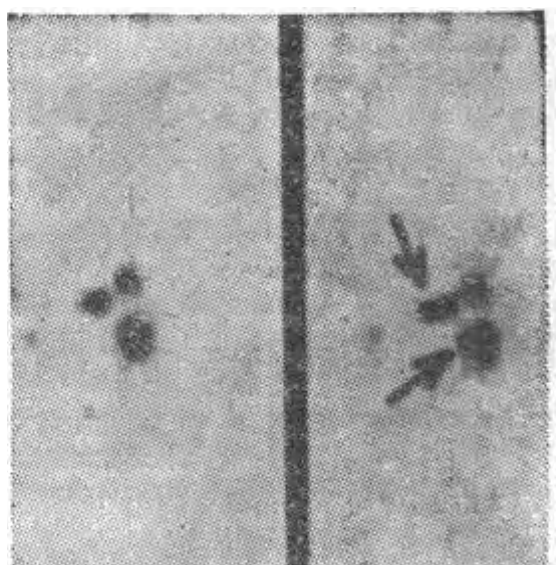


图 10-4 在猎户座中的一组赫比格-哈罗天体  
(负片)。(左) 1947 年拍摄, (右) 1954 年拍  
摄, 箭头指示的天体已明显增亮

星和超巨星; 另一部分在可见光波段不能看到, 可能是正在形成中的恒星。例如, 1967 年在猎户座星云里发现的红外源, 温度只有 600K, 辐射的能量却为太阳的 700 倍, 这表明它的体积巨大, 可能是由星云转变而来的一小群恒星的胚胎。

恩格斯指出: “一切运动的基本形式都是接近和分离、收缩和膨胀, ——一句话, 是吸引和排斥这一古老的两极对立。” 在恒星内部, 引力是吸引的方面, 能量释放、气体压力和辐射压力是排斥的方面。吸引和排斥这对矛盾的发展推动了恒星的演化。

星云在自身引力的作用下开始收缩, 质量小的星云以后形成单个恒星; 质量大的形成几个、几十、几百甚至成千上万个星, 以后成为双星、聚星和星团。引力收缩分成两步。第一步是快收缩阶段, 由于星云密度低, 引力占压倒优势, 物质几乎是向中心自由降落。在几万年到上万万年内密度递增了十多个数量级。象瀑布的位能转化为动能那样, 在引力收缩



的过程中，位能转化成热能，温度升高，同时产生一股抵御引力的压力，并不断加强。当压力基本上能和引力较量的时候，便转入第二步——慢收缩阶段。在快收缩阶段的后期，辐射主要在无线电波段和红外波段。所发现的一些红外源可能正是处于该时期的“原恒星”。

慢收缩阶段开始后，星体由于温度不断升高，开始发射出红色的光芒，星云转变成了恒星。此时的恒星还没有完全达到力学平衡，吸引稍占上风，仍是矛盾的主要方面。星体继续收缩，但比前一阶段收缩缓慢得多，经历的时间比前一阶段长得多。不同质量的恒星，收缩阶段的时间长短不一，质量愈小，历时愈长。 $1M_{\odot}$ 的恒星，慢收缩阶段的时间约7千5百万年， $15M_{\odot}$ 的恒星只有6万年，而 $0.2M_{\odot}$ 的恒星长达17亿年。在赫罗图上，光谱型晚于F型的主星序之上分布着的金牛座T型变星（见图10-2）是非常年轻的还未到达稳定阶段的星。已发现的1千多颗距离都在2千余光年以内，更远的不易看到，因此在整个银河系内这种年轻的恒星应该是很多的。它们被认为是在赫比格-哈罗天体之后，处于慢收缩阶段、中心还未开始热核反应的诞生不久的恒星。

不断地收缩，使温度不断增高。当恒星中心的温度升高到700万度以上时，氢聚变为氦的热核反应开始“点火”，恒星大量释放能量，气体压力、辐射压力同引力达到分庭抗礼的程度，吸引和排斥这对矛盾的双方势均力敌，星体停止收缩，处于力学平衡的状态。此时恒星便演化到了主星序阶段。不同质量的恒星进驻主星序的不同部位，自左上至右下，质量由大到小（图10-5）。因此主星序并不是一条演化的序列，各种光谱型的主序星老死不相往来。在主星序阶段，恒星以最丰富的氢元素为燃料。因氢聚变为氦的反应比较缓和，所以这是

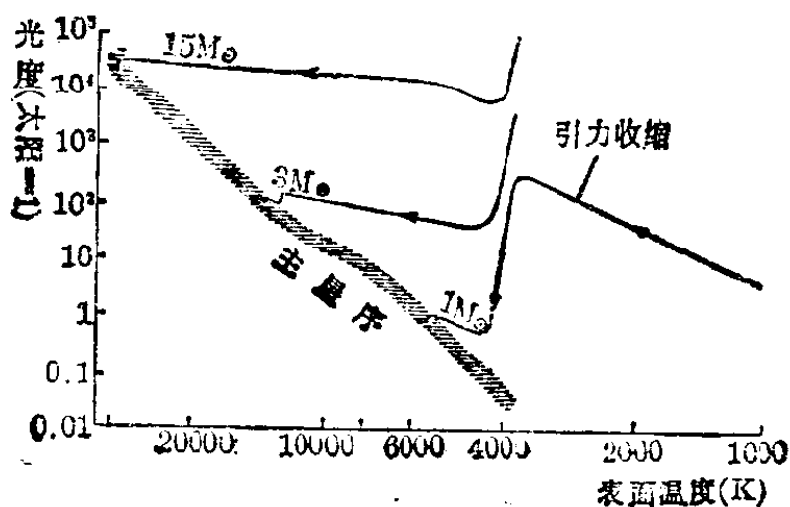


图 10-5 三种质量的恒星从慢收缩阶段到主星序的演化程

恒星一生中最安定的、停留最长的时期。不同质量的星所驻留的时间不同。太阳可在主星序上驻留 100 亿年； $15M_{\odot}$  的 B 型星驻留 1 千万年； $0.2M_{\odot}$  的 M 型星驻留 1 万亿年，比它们引力收缩的时间以及尔后演化的时间长得多。无怪乎在赫罗图上 90% 的恒星在主星序上安营扎寨。主序星处于平衡的状态只是相对的和暂时的，其中包含着不平衡。日面的各种活动，如耀斑爆发，都是不平衡的表现；有些早型主序星，经常有物质从星面抛射出。但这些活动的规模尚小，无损于整个星体的大局。就总体来说，主序星处于量变的过程中。但量变总有一天会导致质变。

对于在主星序阶段之后恒星演化的研究，以星团赫罗图为重要的线索。星团内的每个星在赫罗图上都占有一个点子，合起来就构成一张星团赫罗图。天文工作者发现，疏散星团和球状星团的赫罗图的形态差别很大(图 10-6 和图 10-7)：前者大都与太阳附近的星构成的赫罗图类似；后者则面目全非，分成了几个支：主星序、亚巨星支、红巨星支和水平支(图 10-8)；而球状星团里的天琴 RR 型变星总是位于水平支的中

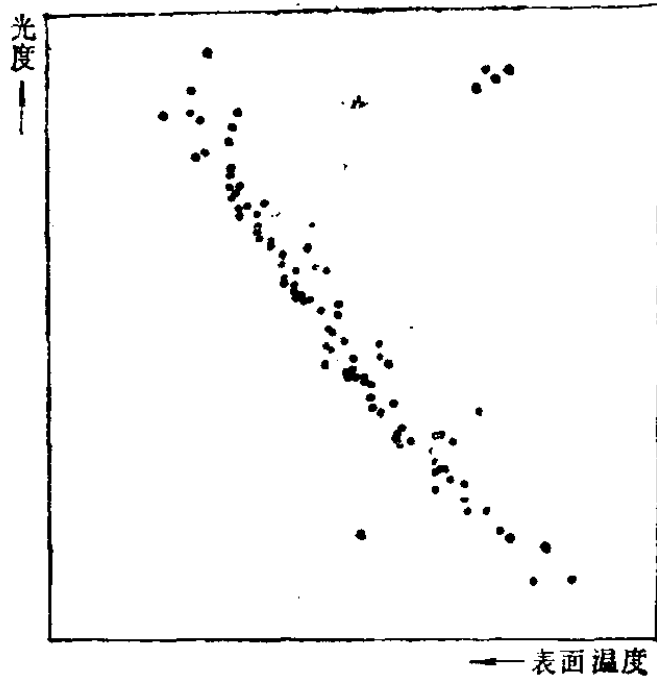


图 10-6 毕星团的赫罗图

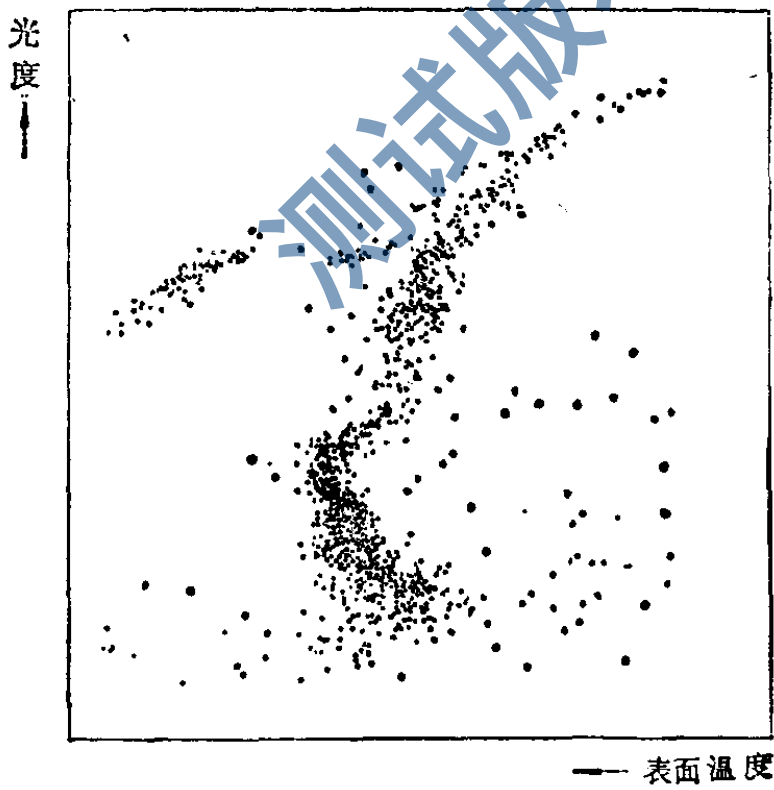


图 10-7 球状星团 M5 的赫罗图

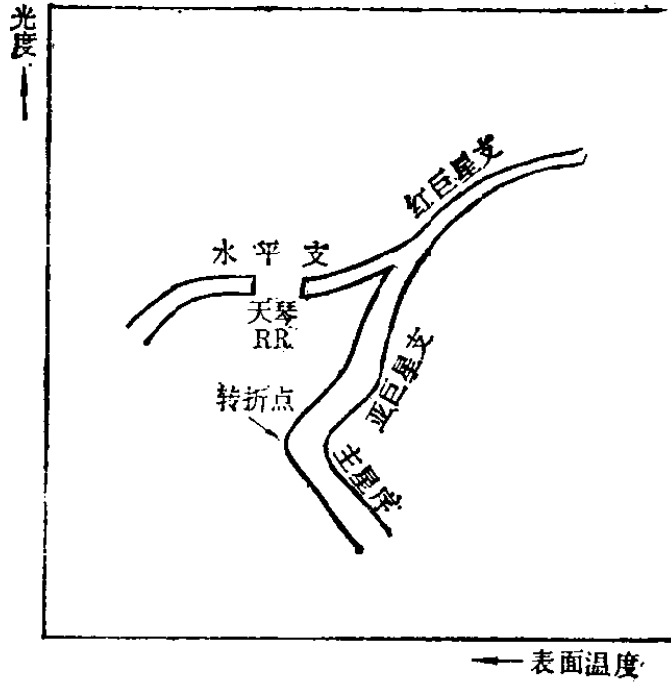


图 10-8 球状星团赫罗图的几个星序

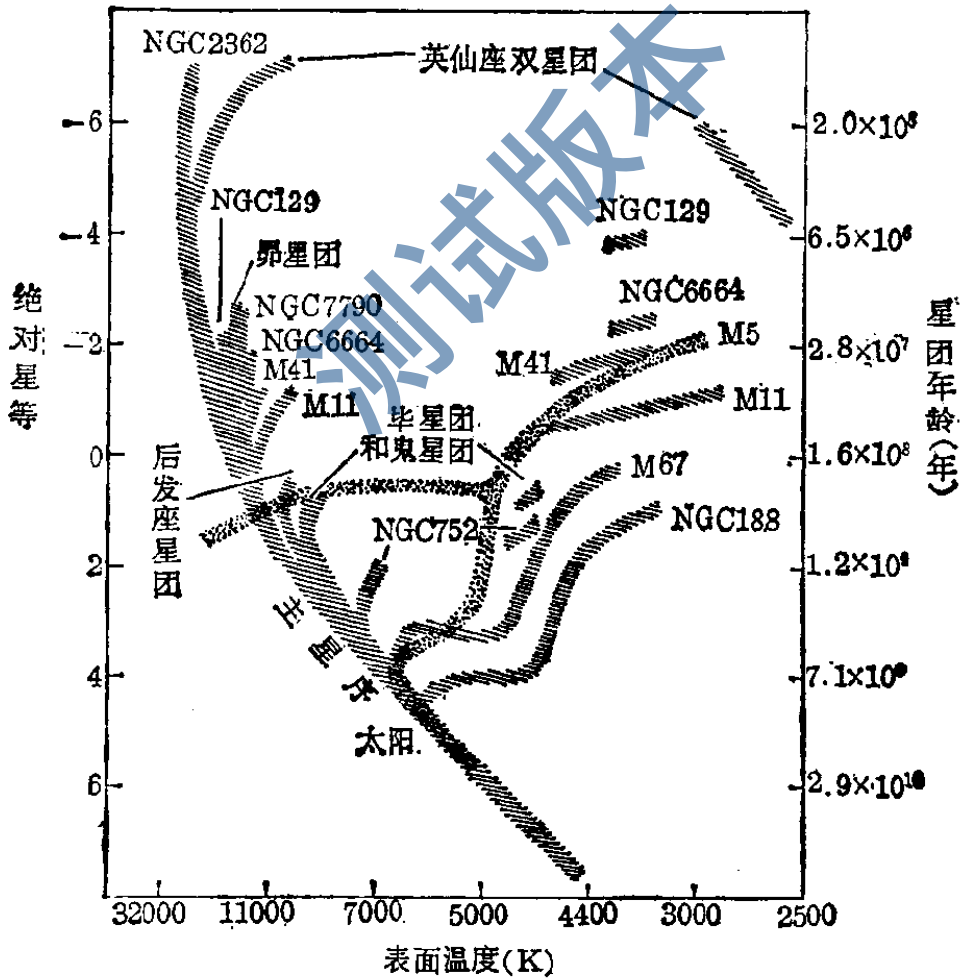


图 10-9 十四个疏散星团和一个球状星团(M5)的复合赫罗图

部。不同的疏散星团赫罗图也有差异(图 10-9):主星序的顶端都有折向巨星方向的趋势,称之为“转折点”,转折点的高度各不相同,有的星团如 NGC2362 只有主序星,有的星团如英仙座双星团、M41 和 M11 既有主序星又有巨星,而 M67、NGC188 和球状星团的赫罗图何等地相似,绝对的界限再度被打破。

在恒星内部,温度和压力向里递增,氢聚变成氦的热核反应限于在核心进行,在中心反应最猛烈。愈近中心,氢愈早耗尽,形成了一个氦核。氦核的周围是正在“燃烧”的氢产能壳层。随着氢的不断枯竭,氢产能壳层向外推移,氦核不断在扩大。几千万度的温度不足以使氦发生热核反应。氦核成了一个不产能的地方。核心不产能便不能维持温度向中心递增的局面,必然趋于同温的状态。一个正在增长的同温氦核潜伏着危机。我们知道,大桥的桥墩必须设计成上细下粗才能使基础坚实,如果下部和上部一样细,就有压垮的危险。同温的状态发展到一定程度就不能提供足够的向外的压力来顶住星球的躯壳。恩格斯说:“纯粹量的增多或减少,在一定的关节点上就引起质的飞跃”。大于  $1.5M_{\odot}$  的大质量恒星,当同温氦核的质量扩展到大约占整个星球质量的 10% 时,就达到了关节点,此时吸引和排斥这对矛盾相持的局面被打破。吸引压倒排斥,使氦核收缩。收缩释放的能量一部分使氦核温度升高,另一部分涌向外壳,在外壳排斥占了上风,星球的外壳急剧膨胀,体积增大,表面温度降低,向红巨星演化;在赫罗图上表现为恒星脱离主星序迅速向红巨星方向移动。当中心温度上升到 1 亿度以上时,三个氦原子核聚变成一个碳原子核的又一种方式的热核反应“点火”了,恒星变成了红巨星。请见图 10-10。



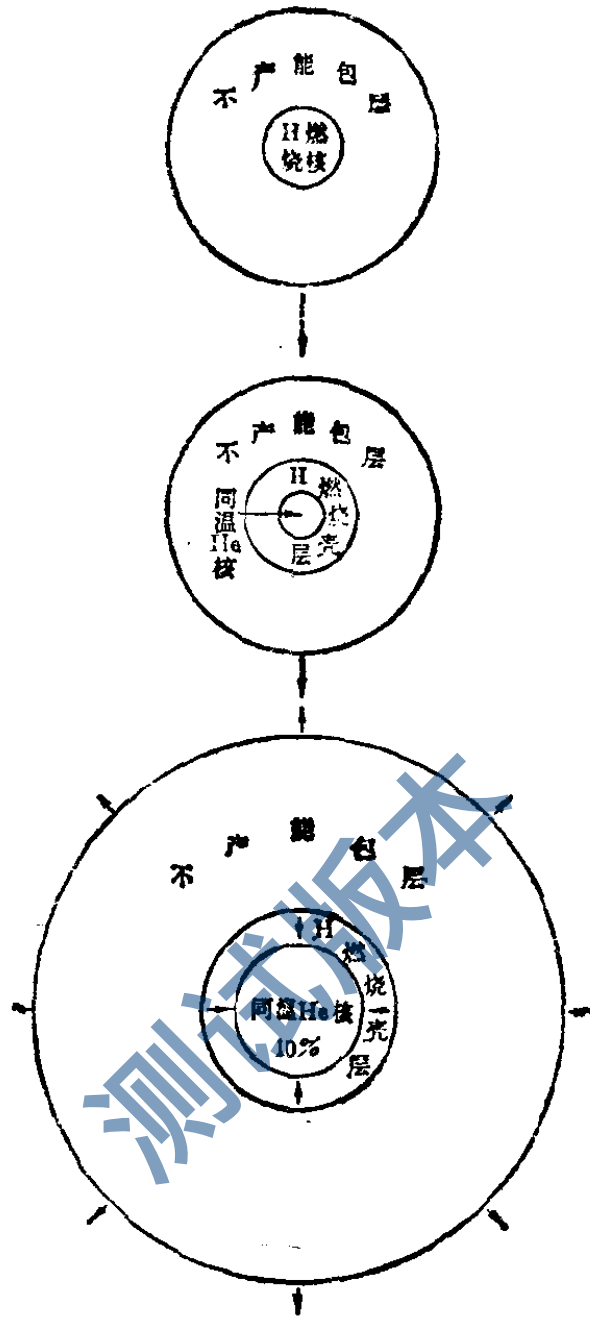


图 10-10 主序星向红巨星演变

氦核收缩、外壳膨胀的过程是很迅猛的，主序星几乎跳跃式地过渡到红巨星，因此观测到正处于过渡时期的恒星的几率是很小的。这就很自然地说明：如图 10-9 所示，介于主星序和红巨星之间有一个几乎找不到星的空区。前面已说过星的质量愈大，演化愈快。在一个星团内，恒星按照质量的大小依

次由主序星变成红巨星，因此在演化过程中星团赫罗图上主星序的转折点在降低。转折点愈低的星团，年龄愈大，资格愈老。从恒星演化的理论可以计算与星团转折点相对应的年龄，在图 10-9 的右边已标出。象 NGC2362，主星序的转折点位于其他星团之上，该星团内质量最大的星还未脱离主星序，这是一个非常年轻的疏散星团。而 NGC188 大约已有 100 亿岁了。

属于星族 II 的球状星团都已年迈寿高。星团里的大质量恒星早已到达演化途程的终点，在赫罗图上已无影无踪，小质量恒星的演化业已充分展开，有的已爬上了红巨星支。小于  $1.5M_{\odot}$  的小质量恒星，演化过程和上述的大质量恒星有所不同。同温氦核中电子的压力很强，可以抵御外壳的压迫，不存在 10% 的质量的关节点。氦核缓慢地收缩，主序星逐渐向红巨星演变，所以赫罗图上在主星序和红巨星之间恒星连续地分布着，出现了亚巨星支、红巨星支（见图 10-8）。当中心氦燃烧点火时，恒星抵达红巨星支的顶端。

往后，一个燃烧的氦核以及在氦核外面的氢燃烧壳层成为恒星能量的产地。随着氦从中心开始逐步枯竭，星体从中心向外由如下几层构成（图 10-11）：尚未燃烧的碳、氧<sup>①</sup>核，氦燃烧壳层，未燃烧的氦层，氢燃烧壳层，化学组成保持原始星云化学成分的不产能的包层。恒星将愈演愈烈，且每个阶段历经的时间愈来愈短。在红巨星阶段之后，恒星在赫罗图上的演化程折向左方。对于大质量的星，演化程穿过造父变星的区域。现已确定，一些脉动变星在演化上排在红巨星之后。对于球状星团内的小质量恒星，红巨星之后便向水平支演化了。

<sup>①</sup> 氧由碳和氦的反应产生，见后面。

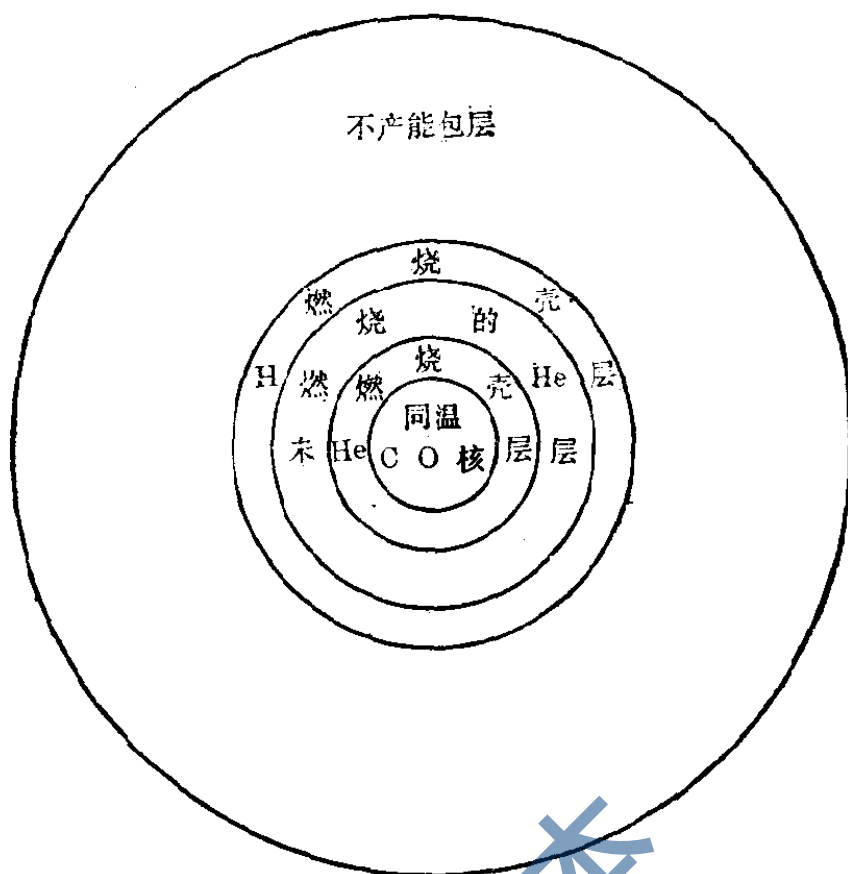
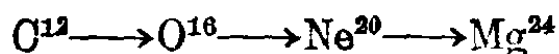


图 10-11 氦燃烧阶段星体的结构

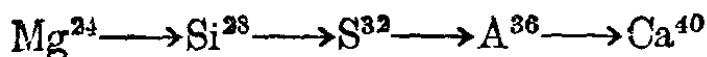
赫罗图上恒星演化程的理论计算非常复杂，天文工作者每走一步“棋”都经过了繁重的计算。在电子计算机发明以前，用手摇计算机和电动计算机来下这种“棋”是不能想象的。本世纪五十年代电子计算机问世后，恒星演化的理论研究才获迅速发展。可是，在主星序阶段慢条斯理地演化着的恒星，到了氦燃烧阶段，内部的过程可以用“瞬息万变”来形容。一方面新的物理过程尚不清楚；另一方面如果不改进现有的计算方法，计算之繁重使现代高速和大容量的电子计算机也望而生畏。恒星演化程的理论计算目前停留在氦燃烧阶段。

恒星从主星序经过红巨星阶段，以后可能发展成超新星，中心温度和密度持续地上升，具备了进行各种热核反应的条件，恒星内部成了以氢为原始材料制造各种重元素的“工厂”。

主序星是由氢变氦的工厂。红巨星内则进行着氮到碳的转化。碳俘获氮原子核，又引出一系列的热核反应：



在超新星内几十亿度的高温下，上述的俘获氮原子核的反应可继续进行下去：



直到形成  $\text{Fe}^{56}$ 。同时，又可以通过俘获中子和质子的过程，合成更重的元素和另外一些较轻的元素。超新星爆发把内部制造的重元素抛到星际空间，同星际物质混在一起，成为形成下一代星的原料。因此，银河系里最先形成的第一代星，它们的大气中重元素的含量应该很少；而第二代星、第三代星，大气中重元素的含量将一代比一代丰富。在第八章我们已提到：星族 I 的星重元素含量比星族 II 的星多十几倍。这再一次表明，星族 II 的星是年老的第一代星；星族 I 的星，包括太阳在内，是第二代或第三代星。

恒星演化到晚期，核能源全部枯竭，吸引和排斥这对矛盾又一次发生大变化。星体内的压力支撑不住外壳，于是星体在自身引力作用下收缩。质量小于  $1.3M_{\odot}$  的星，当中心密度达到  $10^6 \sim 10^9$  克/厘米<sup>3</sup> 的范围时，电子压力与引力相抗衡，星体达到了平衡态，形成白矮星。白矮星内原子的电子壳层已压碎，但原子核之间相距尚远。质量介于  $1.3M_{\odot}$  和  $3M_{\odot}$  之间的星，电子压力仍抵挡不住引力，星体继续收缩，直至中心密度高达原子核密度的数量级，即  $10^{14} \sim 10^{15}$  克/厘米<sup>3</sup> 时，中子的压力顶住了引力，星体达到了另一种新的平衡态，成为中子星。白矮星靠散发体内剩下的热能而发光，逐渐冷却。但即使是苟延残喘，白矮星还能拖上 10 亿年左右，才转化为不发光的黑矮星。中子星的表面温度从几千万度开始冷却，经

过几亿年时间降到几百度。对于质量大于  $3M_{\odot}$  的恒星，有些人认为中子的压力也不足以抵御引力，平衡态不存在，星体收缩下去，当恒星半径收缩到小于引力半径时，形成了黑洞。白矮星、中子星和黑洞被认为是恒星的归宿。至于恒星是经过怎样的演化程到达“临终期”的，还缺乏理论计算。可能先经过爆发阶段，如超新星、新星、行星状星云的中央星，然后进入临终期。

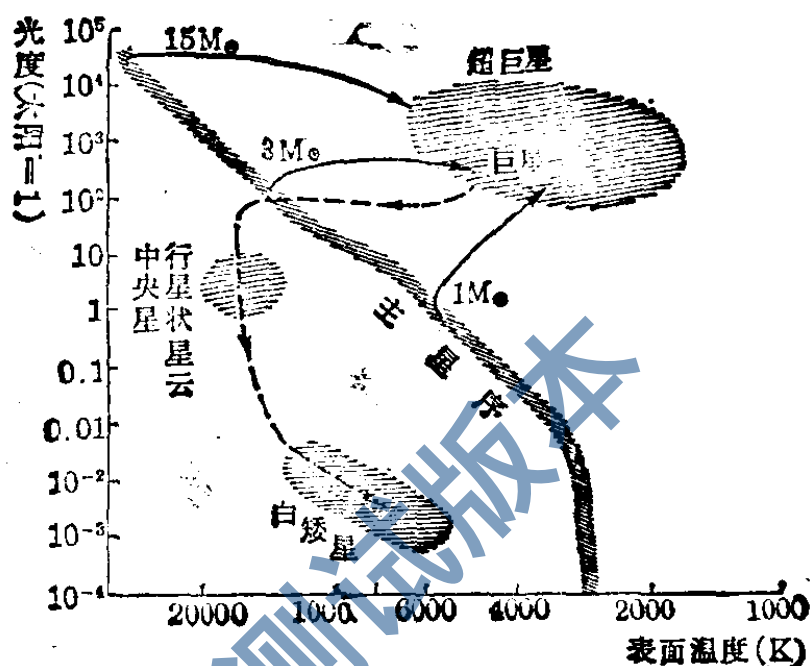


图 10-12 三种质量的恒星脱离主星序后的演化

物质是既不能创造也不能消灭的，但物质的形态是无限多样的、可以转化的。我们说恒星的死亡，是指发光的恒星转化成不发光的的天体。恒星的残骸不会永远僵死下去，我们相信，它们也要转化的，虽然转化的过程我们现在还不清楚。恩格斯指出：“放射到太空中去的热一定有可能通过某种途径（指明这一途径，将是以后自然科学的课题）转变为另一种运动形式，在这种运动形式中，它能够重新集结和活动起来。”

太阳是恒星的一员。它驻留在主星序阶段约 100 亿年，现在正值中年，再过 50 亿年左右将变成红巨星，在红巨星阶



段约 10 亿年，最后演变成一颗白矮星。太阳演化到红巨星，光度将比现在大百倍，体积可能膨胀到超越地球的轨道。到那时，科学技术发达到今天无法想象的地球上的人类能否抵挡得住，或者来个大搬家，跑到其他星球上去呢？我们不写科学幻想小说。有一点是肯定的：没有生，死就看不见；没有死，生也不见。一切产生出来的东西，必定要灭亡。新陈代谢是宇宙间普遍的永远不可抵抗的规律。当然，我们完全没有必要充当杞人这种角色。太阳还能安定 50 亿年。地球上出现人类只有二、三百万年的历史，与今后的 50 亿年比，仅仅是万里征途上刚走了几里路。

宇宙间的每个物体都有产生、发展和衰亡的过程，但宇宙的发展是无限的，它既没有开端，也没有终点。恩格斯说：“物质在它的一切变化中永远是同一的，它的任何一个属性都永远不会丧失，因此，它虽然在某个时候一定以铁的必然性毁灭自己在地球上的最美的花朵——思维着的精神，而在另外的某个地方和某个时候一定又以同样的铁的必然性把它重新产生出来。”一批恒星毁灭了，千千万万个恒星又燃烧起来；一批行星上的生物毁灭了，千千万万个行星上又产生了生物。宇宙间的天体遵循着辩证法的法则，构成了一个永恒的物质循环。宇宙间的天体生生不息，宇宙间的生命也生生不息。

#### 四、星系的来历

大约一百多亿年前，一个几乎呈球状的、缓缓转动着的星系际云，在自身引力作用下收缩。云内较密的部分收缩得较快，凝聚成包括球状星团的第一代星。原始的星系际云的成分主要是氢，一小部分是氦，因此第一代星的重元素含量极

少。形成的恒星在刻卜勒轨道上绕云中心较密集部分转动，轨道的倾角和扁度多种多样。由于云尚未收缩很多，这些星几乎呈球状分布，构成了星族 II。随着云继续收缩，转动加快，原来几乎球状的云愈来愈扁，形成了银盘，在其内逐渐凝聚成大量恒星，它们大致在圆形轨道上绕中心转动，构成了扁平分布的星族 I。在星族 I 恒星形成以前，星族 II 中那些质量较大的恒星已经演化到晚期，通过爆发，星体内包含的重元素较丰富的物质抛射到星际空间，改变着仍在收缩的云的化学成分，致使后形成的星族 I 的恒星有较丰富的重元素。

这是银河系由星云形成的一幅十分粗略的画面。星系是庞大的恒星系统，结构复杂，理论处理不象对单个的恒星容易下手。至今关于星系的来龙去脉的知识十分贫乏。

星系分为椭圆星系、旋涡星系、棒旋星系和不规则星系。这种按形态的分类在本世纪二十年代提出后，立即被认为具有演化上的意义。一种意见认为，星系开始是球状的，由于自转而变扁，并产生旋臂，即从椭圆星系演化到旋涡星系和棒旋星系，最后变成不规则星系。另一种意见正相反。原因是牵涉到旋涡星系旋臂的旋开和旋闭问题(图 10-13)。如果从椭

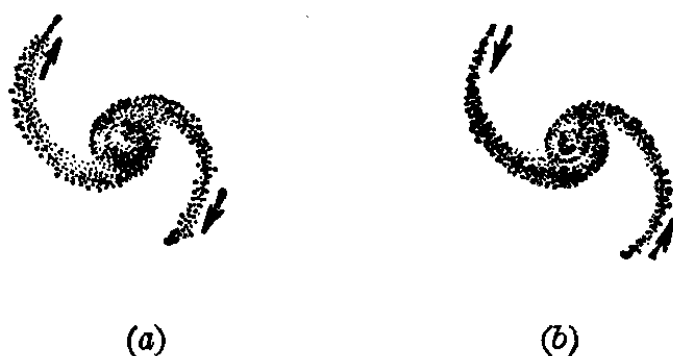


图 10-13 旋涡星系旋臂的旋开和旋闭

- (a) 星系自转的方向(箭头所示)如果是沿着旋臂从核心向外，相当于旋松螺丝钉的情况，就说旋臂是旋开的
- (b) 相反的情况，相当于拧紧螺丝钉，就说旋臂在旋闭着

圆星系演化到旋涡星系,旋臂应当是旋开的。早先,人们曾得出一些旋涡星系的旋臂是旋闭的,因而另一种意见认为应该是旋涡星系演化到椭圆星系。但后来对旋涡星系观测资料的分析并不能对旋臂的旋开或旋闭问题得出统一的结论。星族的划分确立后,持后一种意见的人又指出,不规则星系和旋涡星系里有很多年轻的星族 I 恒星,星际气体和尘埃也丰富,而椭圆星系内没有或只有极少的星族 I 恒星,星际气体和尘埃也很少,所以椭圆星系是年老的,星系应当从不规则经旋涡或棒旋发展到椭圆。可是反驳的论据也是理直气壮的:旋涡星系比椭圆星系扁平,如何可能从扁平的演化到球状的呢?旋涡星系不仅包含年轻的星族 I 恒星,而且包含年老的星族 II 恒星,星族 I 恒星可能是第二代、第三代星。因此未必能说旋涡星系是较年轻的星系。看来,星系按形态的分类并不构成演化的序列,正如恒星的光谱分类也不是演化的序列。各类星系可能分道扬镳,各走各的路。初始的角动量也许是决定星系形态的一个重要因素,角动量愈大,星系愈扁,扁的星系才出现旋臂。

天体起源的星云说描述了物质形态由稀到密的转化。与此针锋相对的,有天体起源的超密说。苏联比拉干学派在 1947 年发现了星协。他们从星协的扩张推断,恒星都是经过星协成群形成的,瓦解了的星协其成员星进入银河系的普遍星场。星协如何会扩张的呢?他们来了个大胆的假说:星协是由一种质量极大体积极小的超密态的“星前物质”爆发产生的。在经过了一段时间的研究之后,他们强调:“我们还没有观测到过星前物质,我们还不会建立任何一个星前物质的理论模型,可能星前物质对于我们来说是完全新的东西,根据目前我们所具有的关于基本粒子性质的知识,是不可能解释星前物质的

特性的。”为了使大家信服这种“完全新的东西”，比拉干学派为他们所说的“星前物质”搜索观测证据，已忙碌了半辈子了。他们收罗的证据除星协外，还可以列举一些。

有一类聚星，几个星彼此间的距离差不多，典型的如猎户座 $\theta'$ ，成员构成了四边型的组态；还有几个星排成链状的星链，它们都是所谓正能量的系统（引力位能取作负值，动能取为正值，系统的总动能如果大于总位能的绝对值，就称为正能量的系统），它们是不稳定的，应该瓦解。多重星系中也有正能量的系统。凡瓦解、分裂和爆发，比拉干学派都认为是于己有利。星系核活动，包括射电星系和类星体的不稳定现象，自然也算重要的一条。变星的一些不稳定现象，如金牛座T型星的不规则发亮，他们认为是星球内收藏的星前物质溢出引起的。蟹状星云发射的高能粒子的能量，他们认为与一般恒星的能量来源毫无共同之处，也是星前物质登场表演，而蟹状星云中心的一颗暗星就是残存的星前物质。

近几年来，比拉干学派甚至断言：“宇宙过程总是从密到稀的不可逆过程。”这是对超密说的最高度的概括。在该学派看来，宇宙间的各个层次，从总星系、星系团到多重星系、星系，都是一级一级爆发出来的。对于星系，先有星系核，然后通过星系核爆发，产生了星团、恒星，恒星爆发产生行星系统，而卫星、小行星、彗星、流星、行星际物质是行星爆发的产物。他们连日面上规模不大的活动也不轻易放过，归之于太阳内部残存的星前物质的活动。总之，他们只要搬出星前物质这个法宝，各种疑难的天文问题，似乎就可以迎刃而解了。

比拉干学派在“创业”之初期并不完全反对星云说。随着他们收罗的“证据”多了一些，自己觉得羽毛逐渐丰满，便对星

云说抱全盘否定的态度。他们认为“观测并没有给出从弥漫态过渡到稠密态的任何迹象”，声言“没有一个事实说明发生过弥漫物质的引力收缩过程”，指责星云说是“毫无根据的”，代表陈旧的、臆想的“经典方向”。他们打着“辩证唯物论的宇宙观”的旗号，强调他们的理论是依据“大量的观测资料”，喋喋不休地标榜他们的学说是一种全新的理论，是与“经典方向”截然不同的，代表着天体起源和演化研究的“正确方向”，并把这个“正确方向”称为“比拉干方向”。这套王婆卖瓜的本领令人叹为观止。

**“事物的矛盾法则，即对立统一的法则，是唯物辩证法的最根本的法则。”**承认还是否认，坚持还是抹杀事物的矛盾法则，是区别辩证法和形而上学这两种对立的宇宙观的标准。吸引和排斥是自然界自身固有的一对基本矛盾，也是天体演化的基本矛盾。超密说却主张宇宙过程总是由密到稀的不可逆过程，宇宙间的一切天体和天体系统全是炸出来的。在这里只存在排斥的因素，吸引的因素靠边站。于是，超密说描绘的宇宙发展的图景，乃是一幅没有矛盾的、单一重复的、死板的画面，对立统一的法则不见了。比拉干学派以形而上学冒充辩证法的伪善面目便昭然若揭了。

比拉干学派一再表白他们尊重观测资料。他们收罗的所有的观测资料，果真是无可辩驳地只有用性质不明的星前物质才能说明的吗？拿蟹状星云来说吧，它的中心星已发现是脉冲星，是恒星演化到晚期的产物，根本不是什么奥妙无穷的星前物质的残余。二十余年来，超密说面临的困难与星云说比，有过之无不及。一个严重的困难是角动量问题。按照超密说，星系的一切都是从星系核抛出的。那末星系的总角动量当初应该全部集中于小小的星系核，这使得星系核赤道自



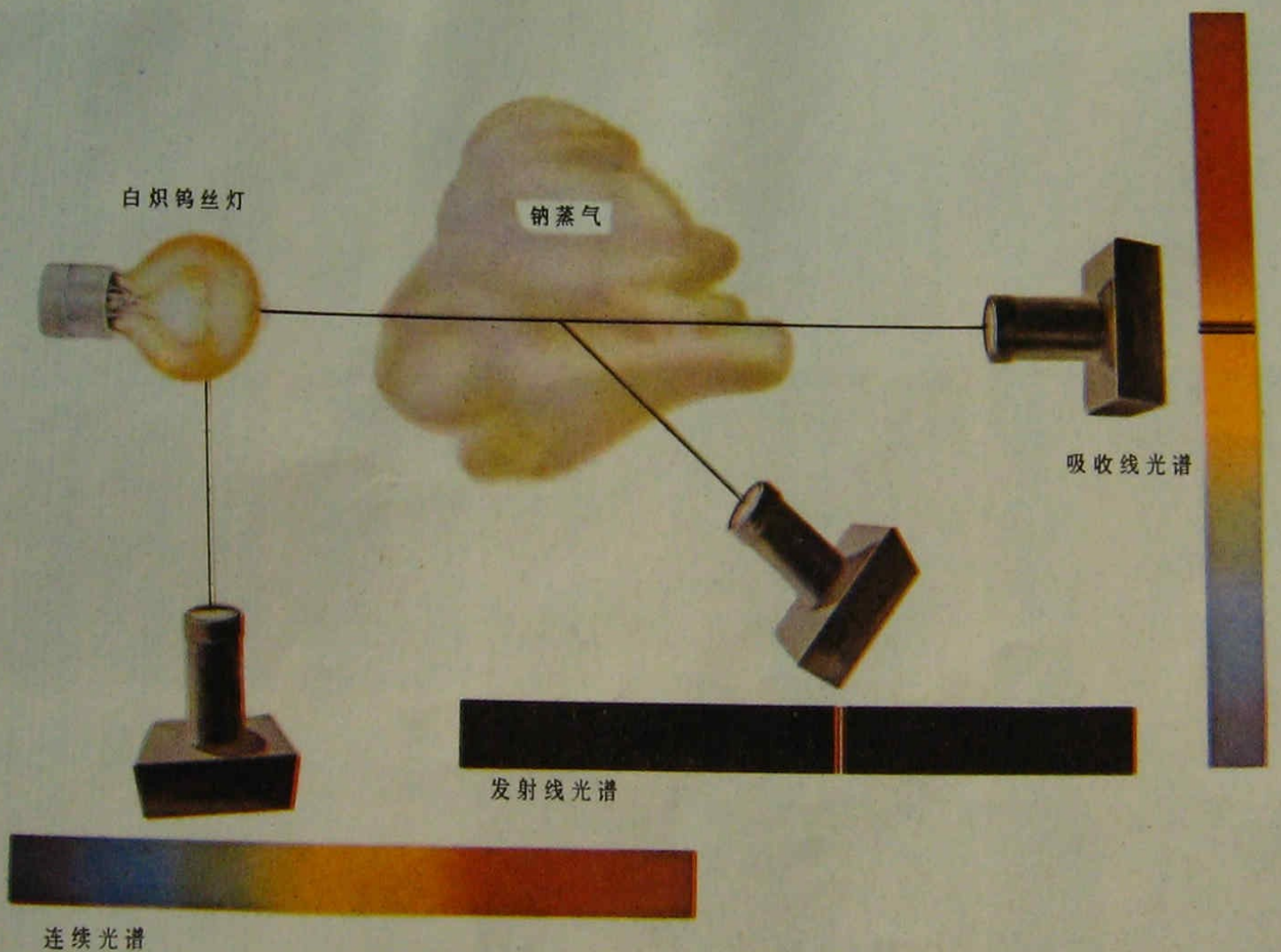
转速度远远超过光速。面对这样的困难，该学派只好睁一眼闭一眼。可是每当发现宇宙间的爆发现象时，如1963年发现的星系M82的爆发，他们便欣喜若狂。这种“选择吸收”的态度难道也算尊重观测资料吗！比拉干学派为了建立一个“统一”、“和谐”的体系，硬着头皮说太阳系也是炸出来的。试问：爆炸能产生一个秩序井然的太阳系吗？除了靠全智全能的上帝来扣扳机，还能说什么呢？正如恩格斯批判江湖骗子杜林时指出的：“我们可以任意转来转去，而在杜林先生的指导之下，我们总是重又回到——上帝的手指上。”

恩格斯说：“一切运动都存在于吸引和排斥的相互作用中。然而运动只是在每一个吸引被另一个地方的与之相当的排斥所抵偿时，才有可能发生。否则一个方面会逐渐胜过另一个方面，于是运动最后就会停止。所以，宇宙中的一切吸引运动和一切排斥运动，一定是互相平衡的。”物质形态从稀到密和从密到稀的转化过程在宇宙间都是存在着的。我们反对的是比拉干学派抽去了矛盾的一个方面，把“从密到稀”说成是宇宙过程的“总方向”。反之，把宇宙过程都说成是从稀到密，我们也认为是同样的荒谬。宇宙间物质结构的层次是无限多样的，宇宙间万物的运动形式也是无限多样的，妄图用单一重复的刻板过程来解释一切，用同样的模子来铸造一切，只能是“热昏的胡话”。

四十年代发现的星协，为天体起源和演化的研究提供了新的资料。依据一些观测资料，提出宇宙中可能存在着超密物质的假说，对于偏重吸引的星云说有启发作用和积极的意义。可是比拉干学派也在“演化”。比拉干学派背离了辩证唯物主义，使得超密说原先具有的积极因素丧失殆尽。按照宇宙过程总是“从密到稀”的信条，愈往前追溯，物质愈稠密，

必然导致宇宙的“初态”是无限的超密。“似曾相识燕归来”，这同比利时大主教勒梅特在三十年代提出的“原始原子”，同美籍俄国人加莫夫在四十年代提出的“原始火球”何等相似乃尔！超密说已拜倒在宇宙膨胀说的脚下，同大爆炸宇宙学合穿一条裤子去了。

列宁指出：“自然科学进步得那样快，正处于各个领域都发生那样深刻的革命变革的时期，以致自然科学无论如何离不了哲学结论。”由于天文学是一门观测的科学，还不能通过实验手段来获得资料，更由于其研究范围的广阔，宇宙在空间和时间上的无限性，宇宙发展的无限性，较之其他学科，天文学更需要哲学的综合。只有“遵循着马克思的理论的道路上前进，我们将愈来愈接近客观真理（但决不会穷尽它）；而遵循着任何其他的路径前进，除了混乱和谬误之外，我们什么也得不到。”



连续光谱、发射光谱和吸收光谱的形成





1976年9月第一版

统一书号: 13171·178

定 价: 0.75 元