



现代自然科学普及丛书

# 今日天体物理

中国科技大学天体物理研究室



上海科学技术出版社

55.3  
·现代自然科学普及丛书·

# 今日天体物理

中国科学院天体物理研究所  
中国科技大学天体物理研究室

上海科学技术出版社

现代自然科学普及丛书

今日天体物理

中国科技大学天体物理研究室

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

本书由上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.375 字数 140,000

1980年11月第1版 1980年11月第1次印刷

印数 1—7,800

书号: 13119·864 定价: (科三) 0.53 元

## 出版说明

《现代自然科学普及丛书》是一套中级科普读物。为了发展我国的科学技术,赶超世界先进水平,有必要以辩证唯物主义的观点为指导,及时介绍当代一些基本理论问题、基础学科和发展较快的新兴学科、边缘学科,包括其基本内容、发展历史、目前进展概况和今后动向,供有关的干部、青年和科技人员参阅。

这套读物有数、理、化、生、天、地(包括气象、海洋),以及有关现代农业、现代医学基础理论的选题多种,力求有中等文化水平的读者即能读懂。本丛书将陆续出版,欢迎同志们提出宝贵意见。

## 前 言

一九七六年夏天，上海科学技术出版社的同志到学校来，约我们写一本通俗的册子，目的是介绍一下天体物理学的一些新进展。说实在，当时我们的心里是有些犹豫和不安的。一方面是由于那时的众所周知的环境和气氛，另一方面则因为我们都是七十年代以来才刚刚被“吸积”到天体物理圈子中来的，写这样的书，是不是相称呢？然而，最后我们还是下决心答应了出版社。因为，我们想，我们之所以被“吸积”不正是由于天体物理的这些新进展吗？这就是编写本书的最早的起因。

的确，天体物理的新的进展是不平凡的。我们来看看几个数字。在即将过去的七十年代中，诺贝尔物理学奖金一共颁发过十次，这中间就有三次是奖给天体物理领域的研究的（其中两次与其他领域的工作合得）。二十二位获奖者中，天体物理学家占五位，其他物理领域的人数分别是：固态及凝聚态物理九人；高能物理五人；核物理二人；光学一人。

诚然，我们不能仅仅以这几个数字为依据来评价各个领域之间的相对关系，但是，无疑地，它们多多少少从一个侧面反映着整个物理学的进展的面貌。在人类探索物理世界的现象和规律的进程中，天体物理是一个重要的方面，它曾经起过，现在仍然起着不可替代的作用。这一点已经由历史证明了。本书的内容就是打算给它再提供一些新的素材，新的证据。

因为力求新,就不免要涉及不成熟的东西。特别是,我们觉得,不能仅仅限于罗列一些观测上的新现象,应当而且必须介绍理论上的解释,包括那些目前还有激烈论争的理论观念在内。如果都已是定论的材料,也就谈不上“新”了。实际上,提出理论上有意义的问题本身,就是一种重要的进展。因为,它会刺激人们去思想,“渴望看到(从现象世界到理性世界之间的)先定的和谐,是无穷的毅力和耐心的源泉。”(爱因斯坦)如果这些尚未到达和谐的问题能使某些读者,尤其是青年读者激发起无穷的兴趣和毅力,从而被吸积到今日之天体物理领域中来,那么,我们最初的犹豫和不安就算得到了最好的补偿。

这本书先是由方励之、张家铝、尤峻汉、周又元、王水、程福臻、褚耀泉及程富华等同志分章草拟了初稿,后来,又经华新民同志重新全面整理和统一、补充并改写而成。

一九七九年秋

# 目 录

<b>第一章 天体物理学的兴起</b> .....	1
古老的渊源 .....	2
成为独立的学科 .....	5
从地到天的巨大成果 .....	8
从天到地的著名事例 .....	11
<b>第二章 新视界</b> .....	14
大型光学望远镜的建立 .....	14
从一张白纸谈射电天文学 .....	19
冲破大气圈 走向全波段 .....	28
新的孕育 .....	34
<b>第三章 空间和时间的尺度</b> .....	37
天体系统的空间层次 .....	37
天体的年龄和时标 .....	42
天文数字一定是巨大的吗? .....	46
新尺度带来的新气氛 .....	47
<b>第四章 太阳依旧不寻常</b> .....	50
太阳——一颗寻常的恒星 .....	50
太阳的能源 .....	51
观察恒星内部——太阳中微子实验 .....	54
几种可能的出路 .....	58
<b>第五章 脉冲星与中子星</b> .....	62
关于恒星晚期演化的预言 .....	62
“小绿人”的故事 .....	64
蟹状星云脉冲星 .....	68

脉冲星的辐射 .....	72
中子星的构造 .....	75
<b>第六章 引力坍缩 黑洞和 X 射线密近双星 .....</b>	<b>78</b>
引力坍缩 .....	78
黑洞何处寻 .....	82
天鹅座 X-1 的特征 .....	86
没有最终的归宿 .....	90
<b>第七章 活动的星系核 .....</b>	<b>95</b>
爆发和抛射的明证 .....	95
银河中心也不平静 .....	102
非热辐射及子源的模型 .....	107
星系核的模型 .....	111
<b>第八章 类星体之谜 .....</b>	<b>114</b>
令人困惑的发现 .....	114
红移的争论 .....	117
能源机制种种 .....	124
演化的猜测 .....	128
<b>第九章 行星际-恒星际-星系际 .....</b>	<b>135</b>
我们生活的环境——日地空间 .....	135
来自星际深处的激光 .....	141
有机分子提出的问题 .....	145
下落不明的质量 .....	148
<b>第十章 宇宙线及其它 .....</b>	<b>152</b>
基本观测事实 .....	152
起源和加速 .....	156
化学元素的产生 .....	160
宇宙的考古 .....	164
<b>第十一章 背景辐射的启示 .....</b>	<b>168</b>
消除不掉的噪声 .....	168



大爆炸和背景辐射 .....	172
各向同性说明了什么? .....	176
宇宙模型和实践标准 .....	180
<b>第十二章 并非结论的收尾 .....</b>	<b>183</b>
再谈两个事例 .....	183
再谈大和小 .....	188
再谈天和地 .....	191
广阔的宇宙等待人们去探索 .....	194

## 第一章 天体物理学的兴起

一谈起天体的学科，许多读者自然而然地会认为：它的“永恒”主题只是光耀的太阳、冷漠的月球、徘徊的行星、闪烁的恒星、迷蒙的银河……，尽管多么令人神往，终归是远离世间的天界。

今天看来，这种传统观念已经不正确了。其实，就在你的周围，在你的眼前，甚至在你的身上，已有不少天体的因素。可以说，我们每一个人的身体上都有恒星内部活动的痕迹，都有星际空间中作用的痕迹，都有银河尚未形成时代的痕迹。

构成地球上一切物体的化学元素，都经历过漫长而复杂的演化历程。人体中的元素也不例外。红细胞中的铁，各种组织中的碳、氮，骨骼里的钙，呼吸着的氧，都是在恒星内部高温条件下形成的，比较轻的元素，象锂、铍、硼，则来自极其空旷的星际环境中宇宙线的作用。至于最轻的元素，如氢、氦，它们的起源至少要追溯到银河系诞生之前。

长期以来，人们觉得，地球提供了我们生活的自然条件。比起其它星球来，我们对地球这颗行星，有格外的亲切感。“地球，我的母亲！”就是诗人的赞美词。这一点自然无可非议。可是，只要我们把眼界稍许放宽一些，就不难觉察，这种赞颂多少有些失之狭隘。实际上，地球不是孤立的，在宇宙大体系中，地球只是一名小小的成员，它的成长、发展、变化，从最深处的地核到最外缘的磁层，从生命的起源到人类的文化史，无一不是同周围天体的过去和现在有着千丝万缕的联系。

为了对这种紧密联系有一个粗浅的印象，我们再举化学元素来说。远在太阳系还没有出现的时候，某些恒星就已到了晚年，成为红巨星，当它们进一步衰亡之际，还常常发生非常猛烈的爆发，天文学上称作超新星爆发。现在知道，比铁重的元素，都是在红巨星里，或者在短暂的超新星爆发事件中产生的。地球上现存的重元素，除了为数极少人工制造的以外，全部都是这些爆发遗留下来的“灰烬”。铜器时代的鼎觚，中古炼丹家手中的汞制剂，传播文化的铅字，原子能工业用的铀和钍，不外都是超新星“灰烬”的制品。不妨设想，如果当年（即50到100亿年之前！）没有那些爆发，或者爆发的情况略有不同，这一段历史又该是一番怎样的景象？

天和地之间有怎样的相互联系、相互作用？怎样立足于地面去探索天体的本质？又怎样从天体的广阔角度来认识我们生活的局部，认清我们自己？天体物理学的进展，逐步深入地回答了这些问题。这也就是我们将向大家来讲的事情。让我们从回顾古代开始吧！

## 古老的渊源

在今天，已经很难划清天文学和天体物理学的界线了。它们几乎融汇成了统一的整体。可是，在古代，两者的遭遇却迥然不同。天文学有灿烂而悠久的历史。巴比伦、埃及、中国、希腊、阿拉伯的古代天学家的成就，直到今天还值得称道，并有实用的意义。而另一方面，算得上天体物理学的成果，在古代是相当贫乏的。原因在哪里？

天文学，是从观察日月星辰的分布和升没开始的。天文一词的字面含义就是天体的现象。在希腊文里，天文也是由“星星”和“习性”两个词合成的。星星的分布和升没等习性，

用肉眼就观察到不少,这给天文学提供了丰富的实践基础,使它的蓬勃发展有了雄厚依据。而所谓物理,意即本性。天体物理学的目的就是探讨天体的本性,这立即会面临一个很大的困难:用什么方法才能探索我们不能到达的遥远天区?或者,更根本的问题是:有没有可能认识我们还不能到达的天体?

在古代的欧洲,前后几乎两千年间,正统的答案是亚里士多德的两个世界论,他认为,月亮以上与月亮以下是两个截然不同的世界,是由本性不同的物质组成的。在《天论》里他写道:

“简单的物体将有简单的运动”。“如果运动向上,物体则是火或气;如果运动向下,物体则是水或土”。天体是作圆周运动的,“所以,推论是显然的:存在着一种天然的质料,它不同于我们月下世界中的四种质料,并且,比起所有四种质料来,它具有更多的神性。”

意思是说,月上世界的天体都做简单的圆运动,地面附近的物体只有或上或下的运动,不同运动形式表示本性不同的物质,月下世界的质料是火、气、水、土,月上则是完全不同的神性东西。这样,除了天体更富有神性这一点外,我们不可能再有任何进一步的认识了,因为它全然不同于我们所熟习的火、气、水、土,在这种思想的束缚下,研究天体的本性自然都被看做荒唐的事。

黑暗的中世纪,亚里士多德的观点被进一步神学化,成了不准怀疑的经典。谁要探讨天体的物理本质,谁就是亵渎神灵。所以,那个时代关于天体本质的著述,除了一幅幅荒诞无稽的天堂地狱图外,没有丝毫可取的东西。

两个世界等错误观念之所以能长久地占据正统地位,也是由于当时的生产水平低下,缺乏有力的观测和实验手段,即

便具有唯物主义倾向的科学家，对天体的性质也提不出令人信服判断。我国古代的元气论者，虽然尖锐地批判了天体神创论。但是，在天体的构成上，一直超不出“彼上而玄者，世谓为天；下而黄者，世谓之地”（柳宗元）之类的泛论。天地玄黄等等，依旧是思辨的、脱离实践的、经不起推敲的。这种探讨不可能在自然科学上结出积极的果实。

然而，在古代不利于天体物理学发展的总背景上，也有个别引人注目的思想。两千五百年前的希腊，有个比亚里士多德还要早的哲学家，名叫阿那克萨哥拉。他根据陨石推断，太阳是一块又大又红又热的石头，月亮是由泥土构成的。这个推理固然浅显，意义却深长。首先，他没有古代对天的迷信，认为天上的东西和地面东西是由同类物质组成的。其次，他不是凭借先验的猜测，而是使用科学的方法来推理。根据陨石研究天体，直到今天还是天体物理中一种有用的手段。

陨石是罕见的，而且，只有极少数天体可以成为陨石落到地面上来，所以，陨石方法不是普遍适用的。普遍适用的方法应当是研究每个星体都能传给地球的东西，这就是星光。星光时时刻刻都可以在地球上观看或接收，所以，分析天体的光学性质，是天体物理的最基本的方法。古代也有人使用过这种方法，东汉时的张衡就是著名的一个。

“夫日譬犹火，月譬犹水，火则外光，水则含景”。这是张衡在解释日食成因时说的一句话。大意是：太阳象是火，月亮象是水，因为火会发射光，水会反射光。张衡的结论与阿那克萨哥拉十分相近，但使用的方法又前进了一步。他没有根据陨石（太阳、月亮上的物质也不会成为陨石），而是根据天体的光学现象（太阳发光、月亮反光），再对照地面上物质的光学特性（火发光、水反光）而得到结论的。这样做，不仅要认识到天

和地的物质构成是相似的，而且要认识到地面物质所遵循的物理规律对天体照样适用。这两点，正是现代天体物理学最重要的依据。

从思想渊源的意义上来说，阿那克萨哥拉、张衡等都堪称为天体物理学的先驱。但是，他们的事业都没有后继者加以发扬光大。在漫长的古代历史中，这些富有开创性的思想闪光，好象暗夜里突然出现的新星一样，自生而又自息了。直到十九世纪，当重新开始研究星体的发光性质时，才真正揭开了天体物理的第一页。

### 成为独立的学科

1859年，德国物理学家基尔霍夫有一次在研究太阳光谱的时候，把食盐的火焰放在太阳光束上，出现了他意料之外的结果。后来，弄明白了原因，他断定：太阳上必定存在着食盐中含有的钠元素。这件事成了天体物理学诞生的标志。

什么叫光谱？如何从光谱判断太阳中含有钠？这对了解整个天体物理学都十分重要。天然的光谱人人都看到过，雨后的彩虹就是太阳的光谱。它是阳光经受小水滴的折射后形成的，小水滴的折射把太阳发射的不同颜色的光分解开了。所谓光谱仪，它的作用同小水滴相似，也是用来分解光束中不同的颜色，不过分解能力更强、更精密。利用光谱仪再看太阳的光谱，就发现在红橙黄绿青蓝紫的彩色背景上，还有些极细的暗线。早在1802年就看到这些暗线，当时并不清楚它的含义，还以为是各种颜色之间的天然界限。

后来，又研究其它光源的光谱。用不同成分的物质放在火上烧，就能做出多种光源。观察发现，这些光谱由一系列的亮线组成，而且，不同元素对应着不同的亮线系列。钠的最亮

线是黄色, 氢的最亮线是橙红色, 钙的最亮线是紫色。这些线称做特征发射线。由亮线组成的光谱, 叫发射光谱。根据发射光谱中有哪些特征谱线, 就可以推断光源里面有哪些元素。化工、冶金等工业常用这种光谱学方法来分析材料的成分。不过这是后话了, 光谱分析方法正是脱胎于天体光谱的研究。

回过来再说基尔霍夫的实验。他让太阳光束通过食盐的火焰再进入光谱仪。他原以为, 太阳光再加上食盐的光, 光应增强, 应当在原来的太阳光谱上多出钠发射的黄色亮线来。结果适得其反, 在应该出现亮线的地方却出现了暗线, 并且, 暗线的位置恰恰与太阳光谱中原有的两条暗线相重合。

意外的结果往往更能启发人。这个现象意味着, 如果亮线表示发射, 暗线就表示吸收。在太阳光照射下, 火焰中的钠主要作用不是发射光, 而是吸收光。这个性质并不奇怪。你可以作一个小实验来证明, 拿一支蜡烛, 在黑暗的环境中, 烛焰是光亮的, 如果把蜡烛放在光亮的背景前(如碘钨灯前, 或太阳方向), 烛焰所在范围并不形成亮背景上更亮的区域, 反而相对背景要暗一些。这时, 我们会说烛焰把背景光挡住了。所谓“挡住”, 用物理语言说, 就是光被吸收了。

按照这个分析, 太阳光谱中的暗线应是由太阳外层大气中物质的吸收造成的。发射的亮线和吸收的暗线在同一位置这一事实说明, 同一元素如果能发射某种特定颜色的光, 在吸收过程中, 它也只能吸收这种特定的光。或者说, 同一元素的发射与吸收的特征谱线是一样的。既然在太阳光谱的暗线中有钠的特征线, 那么, 结论只有一个: 太阳大气中必定含有钠。暗线构成的密码, 从此被看懂了。

早在 1814 年, 有个望远镜制造家夫琅和费, 就曾认出太阳光谱中有 574 条暗线, 并标上了名字, 这些名字至今还在使

用。夫琅和费当时也已察觉,有的暗线位置同铁元素的特征谱线完全相合,但是,他没有能从中得出基尔霍夫的结论。这并不偶然。因为,要了解暗线的实质,必须对光的吸收和发射性质有比较深入的了解。这在夫琅和费身上是不具备的,所以,他没有能从他自己的发现再前进一步。天体物理学的第一个事件就说明,只有在生产发展提供了更新更精密的仪器的条件下,在地面物理学获得了越来越深入的物质运动规律的条件下,对天体才可能有更多的了解。这种依赖关系,在天体物理的整个发展史上一再表现出来。

目前,已经对上千条太阳光谱中的暗线作了证认,在太阳上找到了67种地面上的元素。受到太阳光谱研究获得成功的鼓舞,天体物理开展了恒星光谱的研究。由于星光太微弱,拍摄恒星光谱是十分艰苦的工作,为了得到一颗星体的光谱,往往要整夜地守候在望远镜旁。尽管如此,到二十世纪初,已经积累了数十万颗恒星光谱的资料。在同一时期,对地面物质的光谱也开展了广泛的研究,各种原子、分子、离子特征线位置都被标定了,编制了数以十万计的特征线的“档案”。现在,根据星体光谱,经过查对特征线位置的“档案”来证认天体的组成,已是例行公事了。这不仅彻底推翻了月上世界有神性物质的谬论,而且表明最遥远的天体,也是由地面上这些元素构成的。

光谱能告诉我们的消息,除了星体的物质成分外,还有其它内容,根据光谱线的许多细小特征,例如线的强弱,线的粗细形状,线位置的微小移动等等,我们可以推测星体上不同物质的含量比,星体的运动速度,星体转动的快慢;星体表面的压力,温度,星体上的磁场强度等。

古代的占星家宣称他们能领悟星光昏明变化的启示,预



卜人间的悲欢离合，自然是骗人的勾当，不过，星光的确满载着信息，几千年来人们一直“熟视无睹”。光谱分析方法的发展，才使我们能通过星光来探听天外的消息。从此开始，摆脱了思辨和猜测的原始阶段，天体物理学正式成为一门基于科学实验的学科，走上迅速发展的大路。

## 从地到天的巨大成果

天文学和天体物理学，确切地说都是从地到天的学科。它们的对象是天，但研究手段全靠地面上的观测，实验和分析，直到近二十年来，才有一部分结果来自直接上天的探测，但也只限于太阳系范围。所以，如果要谈从地到天的巨大成果，应当罗列天文学和天体物理学的全部重要内容，这样做，当然会使人们对这门学科的成就惊叹不已，但同时也容易使人忘掉它所经历的曲折，实在说，不了解错误，就不会真正弄清楚正确。

象许多其它学科一样，天体物理学的进展有一部分是比较平稳的，延续性的，譬如，从太阳光谱转向恒星光谱，除了技术上的困难以外，在理论概念上是自然而然的。另一部分进展则是在克服错误观念的论争中取得的。后者对学科发展的作用往往更大。

天体物理所碰到的错误观念，大都涉及对天地关系的认识。还是先从克服两个世界论谈起，虽然这个例子已是较老的历史了，但并非没有现实意义。亚里士多德在论证两个世界的时候，也有他的观测依据，这就是“天上与地下的物体运动形态有很大差别，前者是不停顿的圆运动，后者是短时间的上升和下降”。而且，当时的确没有看到过两种运动方式之间的相互转化。在这种情况下，产生两种运动绝对不同的观念，