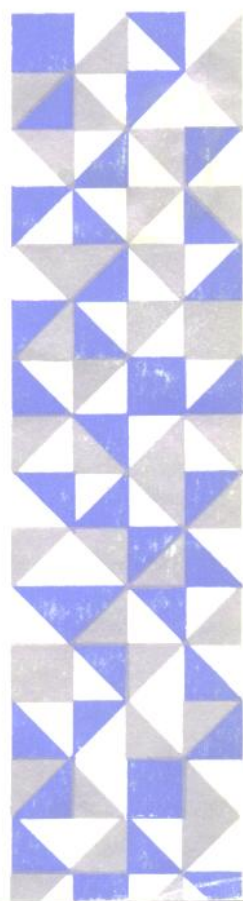


名家科普丛书

天体物理学前沿鸟瞰

方励之著

科学技术文献出版社



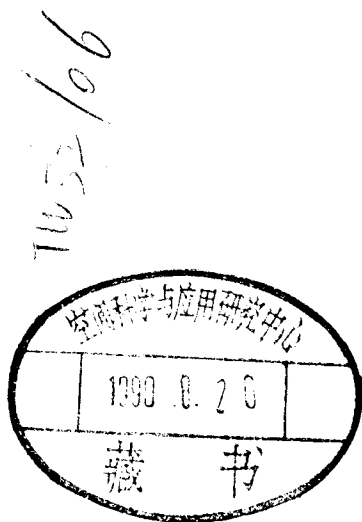
P14-49

FLZ

天体物理学前沿鸟瞰

TIANTI WULIXUE QIANYAN NIAOKAN

方励之 著



科学技术文献出版社

110007

内 容 提 要

天体物理是一门基础学科,最近二十多年来有了长足的进步,赢得了越来越多的人的兴趣。为了有助于广大读者了解这一学科,需要对天体物理知识做些普及工作,本书正是适应这一要求,为各类读者所写的。本书简要介绍了天体物理全景,并特别着重介绍了这一学科发展至今的最重要的成就,以及当前的前沿课题。全书计分五章,即:引力物理和天体物理,宇宙学,高能天体物理,观测手段和方法的发展等。本书可供具有普通物理基础的广大读者(包括大学低年级学生,天体物理爱好者)阅读、了解,也可供大、中学校教师、研究生选择研究课题时参考。

天体物理学前沿鸟瞰

方励之 著

*

科学技术文献出版社出版

上海市新华印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 850×1156 1/32 印张 8.25 插页 2 字数 59,000

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数 1—10,000本

定价: (平装本)1.50元

ISBN 7-5023-0645-5/P·13

序

“天体物理”一词,现在变得相当普及.特别是1987年初之后,知道“天体物理”的人更多了.因此,许多非科学工作者,常问我:“什么是天体物理?”一些物理同行但不从事天体物理研究的人,则常问:“最近以来天体物理有什么成就?”第三方面的问题来自刚刚走入天体物理领域的研究生,他们的问题是:“目前天体物理前沿有那些问题?”

本书的目的,就是回答上述三个问题.显然,这三个问题属于不同的层次,很难统一作答.一种妥协的安排是,对第一个问题有兴趣的读者,请重点读第一章,其后各章可依兴趣选择.想了解天体物理的新成就的人,可主要读第一章的后几节,以及第二、三、四章的前几节.对于天体物理研究生,或者,对于希望了解天体物理学的过去、现在和将来的整个全景的人,则请读全书.正因为如此,本书命名为“前沿鸟瞰”.也尽量作到是一本全景的鸟瞰.

因为是鸟瞰,不能不在许多方面采用粗略的描述.特别,熟悉天体物理学的人都知道,天体物理的领域应包括:

理论天体物理,

观测方法和手段，
恒星天体物理，
星系天体物理，
宇宙学。

对比本书的目录，就会看到，没有专章讨论以下问题：

非引力的理论天体物理问题，
非高能恒星天体物理问题，
星系天体物理问题。

事实上，有关这三方面的问题，在二、三、四、五章中都多次述及。至于太阳物理学，或太阳系物理学，本书极少讨论。现在有两种看法，一种认为太阳和太阳系问题属于天体物理，一种则认为它已经属于空间物理，或者已成为像地球物理那样的独立学科。本书采取了后一种观点。

当然，不必讳言，本书之所以只列引力、宇宙、高能天体、观测这几章，是因为作者认为，这几方面是天体物理学前沿的重点，是最活跃的方面。其实，在估计一个学科之未来时，从来是见仁见智的。因为，科学之所以有未来，正是由于充分包容着每个个人的 insight。

作 者

1988年3月17日

于北京天文台

目 录

一、天体物理的过去和现在	1
天机不可泄漏	1
人体中的超新星遗迹	2
极精巧的配合	4
天体物理学定义	6
天体物理的可行性	7
新的观测视野	10
全面渗透的趋势	14
作为实验室的宇宙	17
二、引力物理学前沿	20
引力是主导	20
普适性	21
平方反比律的再检验	24
广义相对论的经典检验	27
引力的“磁性”	30
引力波探测	31
理论的课题	35

三、宇宙学前沿	39
宇宙学无处不在	39
标准演化模型	40
一张战略图	43
两个宇宙数	45
核合成	46
微波背景辐射	49
大尺度结构的形成	50
宇宙的暴涨	52
宇宙创生期	55
四、高能天体物理前沿	58
高能天体物理缘起	58
恒星的演化	59
引力坍缩	62
中微子天文学	63
脉冲星与中子星	66
黑洞	69
吸积及喷流	71
宇宙线	74
五、观测横断面	77
射电天文学	77
光学和红外	79

国际紫外探险者	82
X 射线天文学	85
γ 射线天文学	87
发现权上的竞争	90

一、天体物理的过去和现在

天机不可泄漏

在中国有的朝代，明令禁止一般人学习和研究天文学，只有政府所设的天文机构中的官员有这种特权。但是，天文官员不得和一般人交往，否则荷以重罪。之所以如此严格，是怕“泄漏天机”。在中国古代，一直认为各种天文现象都有其对应的政治事件，研究天文的基本目的之一就是预言政治前景。正是由于这种极强的“实用性”，中国古代文献中有不少非常有价值的记录。

比如，有一种极引人注目的现象，叫做超新星爆发，即一颗原来很暗的星甚至看不见的星突然变得非常亮。这是很稀有的现象，平均上百年才能用肉眼看到一次。在欧洲的历史文献中，很难找到有关超新星的记载。但在中国文献中，却相当完全而详细。这是因为，中国古代占星术认为，超新星的出现预示着灾难。

公元1054年，正值宋朝，有一次有名的超新星爆发。在宋史文献中有不少记载：

1. 《宋会要》：“至和元年七月二十二日守将作监致仕杨惟德言：伏覩客星出现，其星上微有光彩，黄色。”

2. 《宋会要》：“嘉祐元年三月，司天监言：‘客星没’，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。”

3. 《续资治通鉴长篇》：“至和元年五月己丑客星出天关之东南可数寸，岁余消没。”

4. 《续资治通鉴长篇》：“嘉祐元年三月辛未司天监言：自至和元年五月，客星晨出东方，守天关，至是没。”

这些记录，内容相当丰富，有时间，有位置，有亮度，有变化方式，等等，这些是相当具有科学价值的。

但是，古代如此不厌其详的记录的动力，并不是为了研究超新星的物理，相反，却是为了卜占何处灾难将降临。根据史书，当时天文官员对于1054超新星爆发的卜占结果是：“主崩”。有趣的是，果然，在不到一年的时间里，当时辽国的皇帝耶律宗真（即兴宗）驾崩了。显然，这类天机，是绝对不能让一般的老百姓知道的。

这就是中国古代天文学的一个缩影。

人体中的超新星遗迹

近代科学发展后，证明占星术是没有根据的。各种天体现象是受自然规律支配的，并不对应地球上的政治事件。天文学研究的目的，不是也不可能是为了预测社会的未来。

随着占星术的否定，事情又发展到另一个极端，即认

为：天体现象和地面事件之间没有任何关系，和人的存在更没有关系。似乎世界上各类事物之间是绝对独立的，各类学科可以完全分开地研究，物理归物理，天体归天体，生物归生物，谁也不联系谁。至于人的存在，好像与天体关系更小，地球已经提供了我们生活的自然条件，何必去关心天上的星星呢？这种观念，在诗人的笔下就表现为：地球，应该赞美做“我的母亲”，而天空呢，只不过“充满眨眼的精灵”。

天体物理学的作用之一，就是证明上述的赞词或贬词，都是太狭隘了。实际上，在宇宙中，地球才只是一个极小极小的成员。地球不是孤立的，地球也不能孤立，它的成长、发展、变化，从最深处地核、到最外缘的磁层，从生命的起源到人类文化出现，无一不是同周围天体的过去和现在有着千丝万缕的联系。

为了对这种联系有一个粗浅的印象，我们再举超新星来说明。虽然超新星并不预示是福是祸，但超新星的确与我们每一个人有关。现代天体物理已经确认，超新星爆发的一个重要作用，就是产生重元素。我们知道，地球上各种化学元素，它们都是在天体演化过程中逐渐产生的。比铁重的元素，则大都是在短暂的超新星爆发事件中产生的。地球上现存的重元素，除了为数极少的是人工造的以外，全部都是超新星爆发遗留下来的残迹。铜器时代的鼎觚，中古炼丹家手中的汞制剂，传播文化用的铅字，原子能工业用的铀和钍，不外都是超新星“残迹”的制品。当然，人身体中的微量重元素，也同样是这类遗迹。天体

物理还能进一步告诉你,人体上的这种重元素遗迹,是50亿到100亿年前的超新星爆发遗留下来的。

人体中的其他化学元素,也同样都有一部自己的天体史.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的宇宙线的作用.至于最轻的元素,如氢、氦,它们的起源要追溯到宇宙的早期。

可见,如果宇宙的演化有稍许的不同,今天也许我们就完全看不到地球上的如此繁荣的人类文明了.这不是危言耸听!

极精巧的配合

生物或人之所以能存在,是依赖于许多天体的及物理的精巧配合。

现在介绍几个“精巧配合”的例子。

在宇宙间,目前有两类最常见的粒子:电子和质子.它们有个奇怪的性质:电子和质子的质量差别很大,可两者的电荷的绝对值却相同,即 $e_p = -e_e = e$. 其实,就原子、分子的存在而言,无须 e_p 与 $|e_e|$ 完全相同.早有人证明,即使两者电荷稍有差别,也可以有稳定的原子及分子.但是,从天体角度看,则不同了.已经证明,那怕电子和质子的电荷值相差只有 $2 \times 10^{-18}e$,则宇宙的非电中性将导致静电排斥力超过引力,从而不能形成行星、恒星和

星系. 没有星体也就没有生物赖以生存的条件. 所以, 生物存在的一个必要条件是

$$\frac{e_p - |e_e|}{e} < 2 \times 10^{-18}.$$

可见, 生物的存在比原子、分子的存在更依赖于宇宙环境.

再如, 为什么电子和质子两者质量相差如此之大? 仅从原子存在而言, 也看不清这个差别. 因为即使 $m_e = m_p$, 氢原子照样可以存在. 但是, 这时原子核不再是不动的力心, 而具有电子一样的运动速度. 电子及核都动的原子, 是不能构成晶体的, 因为晶体的骨架是由不动的核所构成的周期排列的格子. 没有晶态物质, 也就没有有序结构, 当然也就不可能形成高度有序的生物. 所以, 生物及人存在的又一个必要条件是, 宇宙中必须演化出质量差别足够大的电子和质子.

第三个例子是为什么中子质量 m_n 比质子质量 m_p 略大, 而不是相等? 实际上, 正因为 m_n 稍大于 m_p , 所以才有 β 衰变, 即

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e,$$

其中 $\bar{\nu}_e$ 表示反电子中微子. 如若 m_p 稍大于 m_n , 则将有下例逆 β 衰变, 即

$$p + e \rightarrow n + \nu_e.$$

这种过程将使氢原子变得不稳定, 其他原子也将由于同样的原因而不能稳定地存在. 如果 $m_n = m_p$, 则宇宙早期将只有相同数量的中子及质子. 在这种情况下, 宇宙早期

的核反应将使全部中子及质子都结合成氦，以至也没有氢存在。总之，只要 m_n 稍稍变小，氢就不可能存在，也就没有今天看见的生物群了。

总之，宇宙间物理的或天体的因素的极小变化，就会极大地威胁到生物及人的生存。可见，哪怕只是为了弄清楚人本身的存在，我们也要面对整个自然界，整个宇宙。

天体物理学定义

当我们面对整个宇宙的时候，需要研究的就有以下四个基本问题：

1. 为什么自然界具有它所具有的规律？
2. 为什么宇宙是由构成它的这些东西构成的？
3. 宇宙间这些东西是如何起源的？
4. 宇宙是如何达到它现今所达到的组织状态的？

显然，为了回答这些问题，仅靠天体物理学是不行的。但是，至少有一点是清楚的，回答这些问题离不开天体物理学。这正是天体物理研究的最根本的目的。

上述四个问题的表述，哲学味道可能多了一些。如果想用更物理化的语言来表达，可以用《中国大百科全书》中“天体物理学”一条。它对天体物理学的定义是：

天文学的一个分支，是应用物理学技术、方法和理论，研究天体的形态、结构、化学组成、物理状态和演化规律的学科。

应当补充一点，天体物理学也是物理学的一个分支。1984

年,国际纯粹及应用物理联盟(IUPAP)设立了天体物理学委员会,平行于粒子物理、凝聚态物理等委员会。这标志天体物理在物理学中已占有重要地位。的确,近三十年来,有越来越多的物理学家投入天体物理研究。图1-1清楚地表明了一些重要的天文学现象是由什么职业的人发现的。在五十年代之前,物理学家所占比例还小;而在五十年代之后,物理学家成为主导成分。还有,从七十年代初到现在的十七次诺贝尔物理学奖中,有四次是颁发给天体物理研究成果的,这也从一个侧面反映了天体物理学的地位和作用。

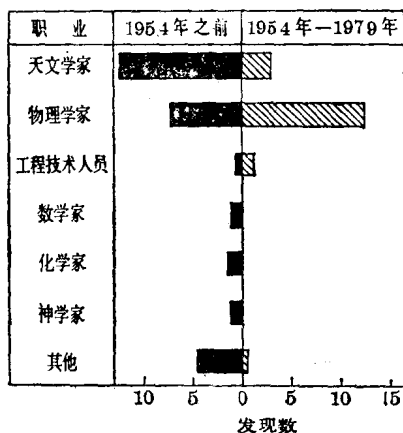


图 1-1 各种职业的人对天文发现的贡献

天体物理的可行性

天体物理学企图研究包括遥远天体在内的整个宇宙,而且,不仅研究宇宙的现在,还要研究宇宙的去,甚至宇宙本身的创生.这会面临一个很大的困难:用什么方法才能探索我们不可能达到的时间空间范围?或者,更根本的问题是:有没有可能认识我们在时间空间上不可能

达到的天体？

这就是天体物理中的可行性问题。上下未形，何由考之？

很多古代思想家认为“考之”是不可能的。古希腊亚里士多德认为月亮之上的星星等完全不同于我们熟悉的火、气、水、土，是富有神性的世界，因此，不可能被我们这些世俗的人所认识。中国古代的标准答案之一是柳宗元的《天对》，其中写道：“彼上而玄者，世谓之天；下而黄者，世谓之地”。然而，什么叫玄，什么叫黄，语焉不详。这种天玄地黄的空论，是毫无自然科学价值的。

天体物理的可行性的关键，是物理规律的普适性，物质构成的普适性。

两千五百年前，有个比亚里士多德还要早的希腊哲学家，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，他是用科学方法来推理，即根据观测到的陨石来判断天上的构成。其次，他的结论是天上的日月是与地球一样，也是由石头、泥土等构成的。

中国东汉时的张衡，也有过重要的、类似的贡献。张衡在解释日食成因时曾说：“夫日譬犹火，月譬犹水，火则外光，水则含景”。大意是：太阳像是火，月亮像是水，因为火会发射光，水会反射光。张衡这些推论的方法也相当科学，他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。这样做，不仅说明天和地的物质构成是一样的，而且

说明地面物质所遵循的物理规律对天体照样适用。这些，正是天体物理学的可行性的最重要的依据。

阿那克萨哥拉、张衡等人的思想，都没有后继者给以发扬光大。在漫长的古代历史中，这些富有开创性的思想闪光，好像暗夜里出现的超新星爆发一样，自生而又自息了。直到物理学发展之后，才重新认识到这种可行性的根据。

第一步是由牛顿(I. Newton)的万有引力理论带来的。牛顿强调他发现的规律的普适性：用同样的规律，即可解释落体的性质，也可解释行星的开普勒(J. Kepler)定律。更有名的事件当然是海王星的发现，它充分证明了万有引力的普适力量。

第二步是由光谱分析带来的。1859年，德国物理学家基尔霍夫(G.R. Kirchhoff)有一次在研究太阳光谱时，让太阳光束通过食盐的火焰再进入光谱仪。他发现，在太阳光谱中出现了暗线；并且，暗线的位置恰与太阳光谱中原有的两条暗线重合。他从而断定：太阳上必定存在食盐中含有的钠元素。直接证明了构成天体的物质成分，和地球的物质成分是相同的、类似的。目前已对太阳光谱中的上千条暗线作了证认，在太阳上找到了67种地面上的元素。这就是物质构成上的普适性。

应用这种物质构成和物理规律的普适性，根据星体的光谱，我们可以推测星体上各种物质的含量比，星体的运动速度，星体转动的快慢；星体表面的压力，温度，磁场，等等。这就奠定了天体物理学的基础，使之成为一门