

高等学校哲学专业试用教材
自然科学基础之四

天文学概论

吴延濬 肖兴华 主编

中国人民大学出版社出版

高等学校哲学专业试用教材

自然科学基础之四

天文学概论

吴延洵 肖兴华 编著
朱光华 堵锦生

中国人民大学出版社

高等学校哲学专业试用教材

自然科学基础之四

天 文 学 概 论

吴延济 肖兴华 主编

*

中国人民大学出版社出版

(北京西郊海淀路39号)

北京丰华刷印厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本: 850×1168毫米32开 印张: 13.25

1987年5月第1版 1987年5月第1次印刷

字数: 328, 400 册数: 1—6000

*

ISBN7-300-00037-1/P·1

书号: 13011·32 定价: 3.10元

前 言

本书是受原教育部委托为高等学校哲学专业（本科）编写的教材，也可供文科其他专业参考。

1982年我们编写了《普通天文学》讲义（供哲学专业用），在北京师范大学哲学系试用了几次，在广泛征求同学意见的基础上，对讲义作了较大的修改与补充。考虑到哲学专业的特点，我们按照以下两条原则来建立这本教材的体系结构：第一，天文学的历史、内容与哲学相结合，包括天文学简史，天文学的基本内容（尽量减少繁杂的定量计算和数学推导，而侧重于基本概念、基本理论和最新进展方面）以及对天文学中重大哲学问题作一些简要分析；第二，依据从存在到演化的原则，对于天文学的基本内容依次安排如下：太阳系的现状及太阳系的演化，恒星世界的现状和恒星的演化，星系、宇宙的现状和星系、宇宙的演化。

本书由吴延濬、肖兴华主编，各章编写人是：第一章，吴延濬（中国人民大学哲学系）；第二章、第三章，朱光华（北京师范大学天文系）；第四章，吴延濬；第五章，堵锦生（北京师范大学天文系）；第六章，堵锦生、吴延濬；第七章，肖兴华（北京师范大学天文系）；第八章，肖兴华、吴延濬。

本书在编写过程中曾得到有关专家的帮助。1986年7月，我们又邀请一些专家，在北京召开了教材审稿会。根据专家们的意见，我们对各章进行了修改。先后对本书进行审阅并提出宝贵意见的有：北京师范大学天文学系冯克嘉教授、李宗伟副教授、杜升云副教授，中国科学院北京天文台卞毓麟副研究员，中国科

学院自然科学史研究所翁士达副研究员等。此外，中共中央党校现代自然科学与自然辩证法教研室傅立同志对本书第一章提出了一些有益意见，中国人民大学出版社为本书的出版给予了大力支持，谨在此一并致谢。

在当代自然科学奔向社会科学的历史潮流中，如何编写一本适合于哲学和其它文科专业的天文学教程，是一个新课题，本书是个初步尝试。由于我们水平不高，经验不足，加之时间紧迫，缺点和错误在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	
§ 1.1 天文学研究的对象、方法和意义	1
§ 1.2 人类当前认识的宇宙	10
§ 1.3 天文学与哲学	17
第二章 天文观测和天体物理预备知识	23
§ 2.1 天体的视运动和天体位置与时间的确定	23
§ 2.2 天文观测工具	49
§ 2.3 天体物理预备知识	66
第三章 太阳系	84
§ 3.1 太阳系研究简史	84
§ 3.2 太阳系天体的运动规律	103
§ 3.3 行星的物理状况、化学成分及内部结构	128
§ 3.4 太阳系的小天体	157
第四章 太阳系的起源与演化	170
§ 4.1 太阳系的主要特征	170
§ 4.2 太阳系起源与演化的研究简史	172
§ 4.3 康德和拉普拉斯的星云说	177
§ 4.4 灾变说	185
§ 4.5 本世纪的星云说	189
§ 4.6 太阳系起源和演化的图象	195
§ 4.7 太阳系起源与演化中的哲学问题	199
第五章 恒星世界概况	209
§ 5.1 太阳	209

§ 5.2	恒星参数的测定	233
§ 5.3	赫罗图	245
§ 5.4	变星和新星	249
§ 5.5	白矮星、中子星、黑洞	258
§ 5.6	恒星集团——双星、聚星、星团、星协	264
§ 5.7	星际物质	275
第六章	恒星的起源与演化	284
§ 6.1	恒星起源与演化研究简史	284
§ 6.2	恒星的结构与能源	288
§ 6.3	恒星的起源与演化	289
§ 6.4	恒星起源与演化过程中的辩证法	300
第七章	星系	312
§ 7.1	星系研究简史	312
§ 7.2	银河系	316
§ 7.3	河外星系	331
第八章	宇宙论	348
§ 8.1	20世纪以前的宇宙观	349
§ 8.2	相对论时空观	354
§ 8.3	现代宇宙论简史	361
§ 8.4	宇宙模型	370
§ 8.5	大爆炸宇宙模型	374
§ 8.6	暴涨宇宙模型	388
§ 8.7	宇宙起源与演化的辩证过程	395
附表1	梅西叶星云星团表	409
附表2	星际分子	413

第一章 绪 论

§1 1 天文学研究的对象、方法和意义

一、天文学的研究对象

天文学是自然科学的重要分支。经典天文学研究的对象主要是天体，近年来发展起来的现代宇宙学则已包括观测所及的时间、空间和物质的总体。天体跨越着自然界的三个结构层次，即太阳系天体、银河系天体和总星系天体。这三个结构层次一个高于一个，太阳系包含在银河系内，总星系又包含了银河系以及与之类似的星系。这三个层次的天体系统之间不仅有范围的差异，还各具分布、相互作用、运动等不同特点，其中天体的物理特性更是各具特色。但是，天体的基本特点却是一致的。首先，天体的空间尺度和时间过程远远超出了地球实验室里的范围，物理条件也很难与地球实验室中的物理条件相类比；其次，天体的空间尺度和物理条件以及现象无比多样，不仅时间、空间跨越的幅度巨大，演化过程进行的速度、质量大小、光度、温度等，也都存在极大的差异。正由于上述特点所决定，作为天文学研究对象的天体的概念，是随着天文学研究手段和方法的进步而不断得到充实的。

研究天体的位置、分布、运动、结构、物理状态、化学组成和演化规律的科学就是天文学。

二、天文学的研究手段和方法

天文学的研究手段和方法可以分为经验的和理论的两种，前者以尽可能多的获取宇宙信息为己任，后者以从理论上理解上述宇宙信息的目的。一般说来，天文学的两种基本研究方法之间存在如下的关系：一方面，单纯的理论分析很难确定宇宙天体新的本质和特殊的属性，往往要通过观察才能发现这些属性，因此，天文科学的理论和模型应当建立在不断地概括总结经验材料的基础上。另一方面，观测所获得的大量原始资料，只有通过理论分析才能在新的宇宙知识综合中起重要作用。也就是说，对经验材料进行细致全面的分析具有决定意义。概括而言，对任何一个天体的任一领域的研究可以分成三个连续的阶段：第一，对天体进行细致的观察，获取丰富的观测资料；第二，对观察到的情况进行阐释，努力弄清所观察的天体具有的性质、特点；第三，建立比较完整的理论，其中对现象的原因要有所解释，并能够对未来的发展或尚未发现的现象做出预言。这是认识天体的一个完整的过程，越过了其中任何一个阶段，都不可能达到认识的目的。

经验的方法可以分为观测方法和实验方法两种。观测方法是天文学最基本的研究手段，也是最早使用的方法，人类生活与天体的关系首先是由对日月星辰的观测联系在一起的。千百年来，观测方法经历了两次革命性的变化，这些变化无一不是与观测工具的发展相联系。古代的天文观测主要是用量角器以目视方法进行的，而且只局限于观测天体在天空的视位置和视运动，以及粗略地估计星星的亮度。观测手段的第一次革命性变革是与伽利略的名字联系在一起的，1609年，他首次将望远镜指向天空，开始了光学天文学的新纪元。这次变革使人的视野大大开阔，对一些天体（如行星与恒星）的性质有了初步的了解。自17

世纪初始直至20世纪的今天，以光学望远镜的使用为标志的光学天文学，始终充满旺盛的活力，望远镜的不断改进和提高使这门学科不断发展。值得一提的是19世纪中叶，分光、光度学、照相术等三种物理方法与望远镜的结合，从此，天文学家能够在光学波段对天体的辐射进行研究，开始了对天体的物理状态和化学组成的研究。20世纪以来，由于工艺水平的提高，制造了一系列高精度、大口径的折射望远镜、反射望远镜，光学天文学由此处在发达的巅峰，探索宇宙的深度和广度与日俱增，现代最大的光学仪器已能够观测到比伽利略望远镜所能见到的暗弱百万倍的天体。然而，观测方法的另一重大突破却应归功于射电天文学的出现。

射电天文学的功劳在于打开了又一个采集宇宙信息的通道，结束了只能在可视区对天体的辐射进行研究的局面。本世纪30年代以前，“光学窗口”是天文学家观测天体的唯一通道，天体的大部分辐射都被地球的大气所阻挡，而透过大气的辐射信息中包含的无线电波区，一直未被注意。直到1932年美国工程师杨斯基偶然发现来自外空间的无线电信号，才制造了专门用来探测天体无线电波的仪器，对于天体无线电波（射电波）的研究导致了射电天文学的建立。射电天文学的产生，对于研究宇宙天体的手段而言，是第二次革命性的飞跃。仅仅数十年的时间，它就已经成为获取天体新信息的重要途径，给人类带来了一系列重大的新发现，60年代的四大天文发现——类星体、脉冲星、星际有机分子、3K微波背景辐射，主要都是借助射电观测手段取得的。

实验方法是天文学的经验研究方法进步的重要里程碑。从实验方法进入天文学领域的来龙去脉看，可以认为，它是观测手段发展到高级阶段的产物，与观测方法有着密切的联系。本世纪40年代，观测手段又有了新的突破，人们开始利用火箭在大气外拍摄太阳的紫外光谱，开创了大气外天文学研究的先河。50年代人造卫星的发射成功，60年代登月飞行，80年代的航天飞机、空间望

远镜，更表明人类的活动范围已由地表扩展到了外层空间。对于电磁波观测而言，虽然受星际介质吸收的影响，某些波段上仍然受到阻碍，但总体上说，已经进入了“全波”观测的时代，大气的屏障被冲破，而且其它粒子的观测也逐步开展。然而，更重要的是它不仅仅是天文观测手段的飞跃，也是天文研究方法的飞跃。就某种意义而言，发射卫星等人造天体本身就是一种模拟实验，它是对某类天文知识的检验。用自动化仪器装备和操纵的宇宙飞船来研究天体，或直接登上天体（如月球、行星）考察，更是实验方法在天文学上应用的实例。目前，实验方法在研究太阳系方面已占据了优势地位，也为天文学开辟了新的获得信息的途径。因此，断言“天文学是观测的科学”已经是不很确切的了。

理论的方法主要是指利用数学、力学、物理学以及其它学科的成果，通过理论推理而得到有关天体的科学结论的一种综合分析的方法。天文学发展的历史就是充分应用多种学科研究成果的历史。它不但从始至终需要数学工具的帮助，就象恩格斯所指出的，“天文学只有借助于数学才能发展。”而且任何一个新领域的开拓都离不开物理学的进步。在分析力学的基础上，发展起来了天体力学；由于量子力学、原子物理学和统计力学的发展，才使人们从天体发出的辐射内所包含着的丰富信息，得到恒星大气结构、物质的运动状态、天体中的磁场分布等大量情报；而光谱学的应用，使由光谱特征分析天体的演化和结构成为可能。……总而言之，天体上高温、高压、高密度、强磁场、强引力场、强辐射场和天体际空间的超高真空等极端现象，只有借助现代物理理论才能加以研究和解释。因此，如果排除自然科学理论的作用，天文学就不可能上升到理论的高度，面对高度复杂的宇宙世界，各种各样的事实之间的有机联系无法得到解释和阐明，更难以有机地包括在知识体系中。从而这种以自然科学为基础的理论分析是必不可少的。

至于哲学的观点、方法是否成为天文学研究方法中的一种，争议是存在的，甚至一些天文学家自己就否认哲学思想的影响，但是，事实上，天文学作为一门自然科学，归根结底摆脱不了哲学的影响，它的研究方法特别是理论分析方法更不可能与哲学无关，因为系统地依据材料的内在联系把所得材料加以整理，只有在理论思维也即辩证思维的帮助下才能进行。对于天文学来说，其对象是复杂的、多样的，观测所得的信息又很不充分，往往缺乏关键性的资料，这就需要研究者富有科学的预见和创新精神，既要忠实于所得的第一手资料，又得运用类比、联想、外推等思维方法，发掘材料之间内在的本质的东西。而这种从既有的事实出发，从事实中寻找和发现联系，从而获得新认识的方法，正是一种唯物辩证的思维方法。而且，如果我们注意哲学思想在天文学研究方法中的地位的话，就会发现，研究方法内部经验方法与理论方法之间的关系也正是由它所决定的。

三、天文学的研究内容

天文学的研究内容是由天文学的发展进程和它的研究方法所决定的，不同的时代天文学的研究内容也各不相同，这种差别集中体现在天文学的各个分支产生和发展的状况上。天文学分支的产生与两个因素直接相关，一是观测水平，一是理论分析水平。因此，新的分支学科出现的根本原因，在于天文学研究方法中出现了根本的改进。20世纪以来天文学大批分支的产生就是太空观测技术的发展和各个基础科学理论发展和渗透的直接结果。目前，天文学的分支学科已不下几十种，如果按研究方法分类，可分别归于天体测量学、天体力学和天体物理学这三大分支之内；如果按观测手段分类，则分别属于光学天文学（以光学实测手段为观测手段）、射电天文学和空间天文学三大分支；而如果根据

研究对象来区分,也就是按天体所在的物质层次来分类,又可以与研究太阳系、太阳、恒星、银河系、河外星系、总星系的学科相对应。不过,现在一般的天文学教科书均以研究方法的分类作为归纳的标准,本书也拟以此简单介绍天文学的分支学科。

天体测量学是天文学中最早发展起来的一个分支,它的起源可追溯到人类文化的初期,它的主要任务是研究和测定天体的位置和运动,建立基本参考坐标系和确定地面点的坐标。它包括球面天文学、方位天文学、实用天文学、天文地球动力学等分支学科。天体测量学的基础是方位天文学,测定天体的位置和运动是这门分支的主要内容。测定的技术方法有基本的、照相的、射电的和空间的四种。而确定天体的位置和运动,必须依赖对天体投影在天球上的坐标的表示方式、坐标之间的关系和各种坐标的修正,也就是说,必须借助于球面天文学的研究成果。球面天文学是运用球面三角学和矩阵运算等数学方法进行研究的。以天体作为参考坐标,来测定地面点在地球上的坐标,用于大地测量、地面定位、时间计量和导航,这是实用天文学的研究课题。天体测量学与地学各有关分支如大地测量、地球物理、地球化学、地质学等相互交叉,产生了天文地球动力学,它的研究内容包括地球自转与地壳运动。

天体力学是研究天体的力学运动和形状的分支学科,主要的研究对象是太阳系内的天体,现在也包括一些成员不多($10 \sim 10^3$)的恒星系统。当前天体力学拥有摄动理论、数值方法、定性理论、天文动力学、历书天文学及天体的形状和自转理论等次级分支学科。摄动理论是经典天体力学的主要内容,它运用分析方法研究天体的受摄运动,即探讨天体的二体问题轨道在各种因素干扰下的规律。数值方法是对天体力学中运动方程数值解法的研究,现代电子计算机技术的迅速发展,为此领域开辟了广阔的前景,使大量天体力学问题得到了解决。定性理论不同于前两个分

支,它并不对天体的轨道进行定量的计算和分析,而是定性地探讨这些轨道应有的性质,近年来多应用拓扑学来解决那些用定量方法还无法解决的天体运动问题。天文动力学则是天体力学和星际航行学之间的边缘学科,研究的是星际航行中的动力学问题,这是人造天体给天体力学提出的课题,包括设计和确定它们的轨道。历书天文学可以说是摄动理论和数值方法的实际应用,用来编制各种天体的具体历表,预报天象,编算天文年历,建立天文常数系统。而天体的形状和自转理论主要研究的是各种类型的天体在内外引力作用下自转时的平衡形状,以及自转轴在空间和天体内部的变化规律。从现在的研究状况看,天体力学仍以万有引力定律为基础,只是对于某些特殊的问题才需要应用广义相对论和其他引力理论,因为对于天体力学的绝大多数课题来说,相对论效应并不明显。

天体物理学是应用物理学的技术、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。它的次级学科很多,按照所研究的对象可分为太阳物理学、太阳系物理学、恒星物理学、恒星天文学、星系天文学、宇宙学、宇宙化学、天体演化学等多个分支,根据其观测手段又有射电天文学、空间天文学和高能天体物理学等;而不同的研究方法又分出了两个分支:一是实测天体物理学,一是理论天体物理学。目前,对太阳、太阳系内天体(行星、彗星、行星际物质等)、恒星的物质结构、物理状态和物理过程的研究比较活跃,以它们为研究对象的那几个天体物理学分支发展得比较快;另外,高能天体物理学对宇宙中和天体上发生的高能过程和高能现象,诸如超新星爆发、中子星、星系核的活动和爆发、类星体、宇宙线等的研究也迅速发展。总而言之,近20年来,整个天体物理学都在飞速发展,宇宙中广泛而多彩的物理条件,为它的多门分支提供了良好的生长点,促使它不断向广度和深度发展。现在,天体物理学在天文学

中的比重日益扩大，甚至有人称“天文学”为“天文学和天体物理学”。

四、天文学研究的意义

作为一门重要的自然科学，天文学的任何进步都对人类社会具有重要的积极意义。早在公元前一、二千年前，人类的生活就与高悬在天空的星辰发生了联系，而天文学的发展更加强和扩展了这种联系，人类文明几千年的历史证明，天文知识对于人类的生存和人类社会的发展有着极其重要的意义，发挥着极其重要的作用。概括而言，我们可以主要从两个方面来理解和领会天文学研究的意义和作用，一是天文学研究对人类生活的直接影响；一是天文学研究在人类意识形态领域所起的作用。这里，我们着重从第一个方面加以说明。

天文学研究对人类生活的直接影响是多方面的。首先，由于地球也是天体中的一员，与天体存在着相对运动；因此，对天体运动的考察可以反映出地球上的位置、距离、时间、方向以及它们的变化。具体而言，通过对天体运动的研究，第一，可以得到“时间服务”；这一工作在人类发展的初期就开始了，到了公元前770~476年前，我国已采用土圭测定日影长短来确定季节和一年长短。直到今天，精确的时间和历法也仍然是按照太阳和恒星的运动确定的。测时（应用测时仪器观测选定的恒星，获得准确时刻）、守时（用守时工具，即天文钟、石英钟等计量时间）、授时（利用无线电波发播时间信号）是一些天文台的一项重要任务。第二，可以利用天体的方位进行大地测量、重力测量和导航。编制天文年历和星表正是进行上述工作必不可少的前提。第三，可以运用天体力学的基本理论精确地计算火箭及人造卫星的运动轨道，而且人造卫星发射后的观测和跟踪也有赖于天文有关

部门的合作。

其次，地球与周围的天体存在相互作用，它的现状和历史同它在宇宙空间的运动、同它周围天体的历史和现状密切相关。特别是地球属于太阳系，是其中一颗普通行星，太阳对于它的影响极为重要。太阳大气中的活动，包括太阳黑子、耀斑、日珥、以及光斑、谱斑等，具有11年的周期，每逢活动高峰期，紫外辐射和粒子流增强，严重扰动地球的磁场和电离层，影响日地空间环境，导致地面短波电讯中断，影响人造卫星的发射和寿命，对地球的气象也有所干扰。因此，进行太阳活动预报，认真研究太阳活动规律，对于国民经济和国防建设具有不容忽视的作用。

再次，当代天文学有一个特点越来越突出，这就是与各个基础学科领域的相互渗透。在论及天文学研究方法时，已经揭示了这种渗透、交融的一个方面——各个基础学科对天文学的支援。这个渗透的另一方面就是天文学研究对其他学科的促进。广袤的宇宙向人们提出了许许多多崭新的课题：宇宙的湍流结构，高达 $10^{12} \sim 10^{14}$ 高斯的脉冲星磁场，恒星内部每立方厘米上百亿吨的极高密度，无法与地面加速器产生粒子相比的高能粒子，天体中爆发过程释放的难以想象的巨大能量，星际分子的存在，等等。这些现象和过程无一不向各门学科提出了新的要求，也为各门学科提供了难得的、特殊的实验条件，为各门自然科学的发展增添了活力。不容置疑，如果天文学提出的种种疑问，从太阳中微子短缺到各种天体的爆发机制，从红移之谜到引力本质，从脉冲星到黑洞，等等，一旦解开，就意味着自然科学的重大突破。

当代天文学的研究还有一个相当现实的意义，它能够启发人们去思考、探索与人类的现在和未来息息相关的各种应用技术。例如，现代天文学揭示了许多比聚变能源更高能的天体的存在，就向人们提出了存在新的、更有效的能源转换规律的可能性，鼓励人们去探索。天体的强磁场状态，也使人们设想如果能够方便

地获得强磁场，并在能量转换机制上加以应用所带来的重大突破。对恒星结构和能源的研究，启发人们去探索核聚变过程，并造出了氢弹，进一步研究控制热核反应途径，以解决迫在眉睫的能源危机，这正是人们努力探索并正在进行的工作。因此，天文学的研究对于社会生产力具有重要意义，它的成果可能引起一系列重大的科学革命和技术革命，使人类生活发生巨大变化。

§1.2 人类当前认识的宇宙

随着天文学的不断发展，人类对宇宙的了解不断深化。天文学在自身发展的每一阶段，都为宇宙描绘出一幅与当时所把握的天文知识相符的图景。总的说来，人类对宇宙的认识是由近及远，由浅入深的，因此，宇宙的图景也是由小到大，由表及里的。起初是从“地球”到“太阳系”；后来又扩展到太阳系之外的那些恒星和主要由恒星组成的“银河系”；现在银河系已不是宇宙的边缘，人们的视线又扩展到无数的“河外星系”，可视半径已达200亿光年以上的宇宙深处。今天，也就是20世纪70年代以后的宇宙图景，不仅仅在尺度上比以往的图景大，而且它的基本轮廓、基本含义也已大不相同。本世纪20年代以前的宇宙图景的基本特征是规律性和宁静性，人们认识到的是太阳系的结构、行星及其卫星运动的轨道和周期，恒星的距离和位置等等，给人以永恒和谐的感受。而现代宇宙图景的基本特征却是复杂性和不稳定性。20世纪的天文学已确认：极目所及的整个宇宙（总星系）正以巨大的速度膨胀，宇宙中存在巨大的爆发、大量物质团的抛射、超强辐射源的点燃和衰竭、恒星辐射在光学波段和 γ 波段的瞬间耀发、天体和天体系统的崩解等激烈的过程。也就是说，剧烈的、突然的、不规律事件在各个天体层次发生，宇宙也处在不断地演化。