

陈载璋 胡中为 尹素英 编著

天文学导论

上册

内 容 提 要

本书系统地介绍天文学，特别是天体物理学的基础知识和基本原理，分上、下两册出版。

上册简述天球坐标系、时间计量和天文仪器；介绍太阳系各天体。

下册介绍太阳系以外的各类天体，由近到远，首先介绍恒星、特殊恒星；然后是恒星集团、星云和星际物质；接着介绍银河系、河外星系和总星系；最后讨论天体的起源和演化。

本书可作为高等学校有关专业天文学课程的教材，也可供天文工作者及有关科学工作者作参考书。

天 文 学 导 论

(下 册)

黄克谅 胡中为 陈载璋 编著

责任编辑 方开文

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年4月第 一 版	开本：850×1168 1/32
1983年4月第一次印刷	印张：12 1/2
印数：0001—2,370	字数：317,000

统一书号：13031·2185

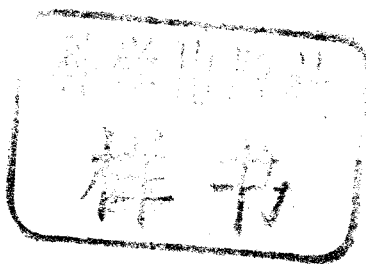
本社书号：2991·13-5

定 价：2.30 元

天 文 学 导 论

(下 册)

黄克谅 胡中为 陈载璋 编著



科 学 出 版 社

1 9 8 3



B028089

前 言

天文学是一门古老的学科，同时它又在不断发展，不断注入新的内容。特别是近二十年来，天文学的重要分支——天体物理学有了飞速的发展。六十年代的四大发现（类星体、脉冲星、星际有机分子、微波背景辐射）以及随后一系列的发现（如X射线源和 γ 射线源），都被誉为天体物理学上的重大发现，引起了广泛注意。随着太阳系空间探测技术的发展，太阳系物理学也取得了巨大进展。同时太阳活动区物理学、星系天文学、宇宙学等分支也十分活跃。可以说，天体物理学的各分支都已成为近代自然科学中最前沿的领域。

本书较全面地系统地介绍天文学的基础知识和基本原理，同时用较多篇幅介绍天体物理学的最新成就，可以作为天文学的入门书。本书可供天文学工作者和有关科学工作者作为参考书，也可作为高等学校有关专业天文学课程的教材。具有高中文化水平的读者，对部分章节可能会感到一些困难，不阅读这些章节，并不影响对其它章节基本内容的了解。

本书上册，简述天球坐标系、时间计量和天文仪器，介绍太阳系各天体，由陈载璋（绪论、第三章、第八章）、胡中为（第四至七章）、尹素英（第一、二章）编写，由陈载璋汇总，参加部分章节审订工作的有戴文赛、许邦信、章振大、张承志、方成、任江平、赵德滋、崔连竖、初一等同志。下册，介绍各类恒星、星系以及天体的起源和演化，由黄克谅（第十至十五章，§16.1—16.6）、胡中为（§16.7—16.11）、陈载璋（第九章）编写，由黄克谅汇总。参加部分章节审订工作的有曲钦岳、朱慈璜、彭秋和、刘汝良、张明昌等同志。由于我们水平有限，书中难免会有缺点和错误，希望读者批评指正。

编 者

1982年7月

• i •

内 容 提 要

本书系统地介绍天文学，特别是天体物理学的基础知识和基本原理，分上、下两册出版。

上册首先论述天球的概念和天球坐标系，计量时间的各种系统，天文观测仪器和方法；接着介绍太阳系内各种天体的研究方法和观测结果，包括地球和月球、行星、卫星、彗星、流星和小行星，太阳（活动太阳和宁静太阳）及其与地球的关系等。

下册介绍各类恒星、星系以及天体的起源和演化。

本书可作为高等学校有关专业天文学课程的教材，也可供天文工作者及有关科学工作者作参考书。

天 文 学 导 论

(上 册)

陈载璋 胡中为 尹素英 编 著

责任编辑 方开文

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年2月第 一 版	开本：850×1168 1/32
1983年2月第一次印刷	印张：15 3/8
印数：0001—2,550	字数：391,000

统一书号：13031·2155
本社书号：2947·13-5

定 价：2.85 元

目 录

绪论	1
§ 0.1 天文学的研究对象和意义	1
§ 0.2 宇宙概观	5
§ 0.3 天文学的分支	10
§ 0.4 天文学简史	14
第一章 地球的运动和天球坐标系	29
§ 1.1 天球	29
§ 1.2 地球自转和天体的周日视运动	29
§ 1.3 地球和地理坐标	31
§ 1.4 天球坐标系	32
§ 1.5 天球坐标的变换	39
§ 1.6 天体的周日视运动现象	41
§ 1.7 地球公转和星空的周年变化	47
第二章 时间的计量	50
§ 2.1 引言	50
§ 2.2 恒星时	52
§ 2.3 真太阳时和平太阳时	53
§ 2.4 地方时、世界时和区时	58
§ 2.5 恒星时单位和平时单位的换算	64
§ 2.6 恒星时时刻和平时时刻的换算	67
§ 2.7 历法	71
§ 2.8 历书时和原子时	78
第三章 天文望远镜和天体物理方法	82
§ 3.1 天文望远镜	82
§ 3.2 辐射接受器	105
§ 3.3 天体光度测量	119
§ 3.4 天体分光学	133
§ 3.5 射电望远镜	151
§ 3.6 天体物理新技术	157

第四章 地球和月球	165
§ 4.1 地球的形状和大小	165
§ 4.2 地球的自转和岁差章动	168
§ 4.3 地球的质量和内部结构	173
§ 4.4 地球的大气层	176
§ 4.5 地磁	183
§ 4.6 地壳变移	187
§ 4.7 月球的大小、质量和距离	191
§ 4.8 月球的运动	194
§ 4.9 月球表面	204
§ 4.10 月球的物理状况	210
§ 4.11 日食和月食	212
第五章 行星和卫星的运动	221
§ 5.1 太阳系	221
§ 5.2 地心体系和日心体系	222
§ 5.3 行星的视运动及其解释	228
§ 5.4 行星的轨道要素和提丢斯-波得定则	236
§ 5.5 万有引力定律	240
§ 5.6 二体问题——开普勒定律的普遍形式	245
§ 5.7 活力公式和宇宙速度	248
§ 5.8 摄动问题	253
§ 5.9 卫星的轨道运动、潮汐和引力范围	257
第六章 行星和卫星的性质	269
§ 6.1 行星的一般性质	269
§ 6.2 水星	276
§ 6.3 金星	278
§ 6.4 火星及其卫星	281
§ 6.5 木星及其卫星	289
§ 6.6 土星及其卫星和环系	295
§ 6.7 天王星及其卫星和环带	300
§ 6.8 海王星及其卫星	303
§ 6.9 冥王星及其卫星	304

第七章 太阳系的小天体	307
§ 7.1 小行星	307
§ 7.2 彗星	312
§ 7.3 彗星的结构和性质	317
§ 7.4 几颗著名的彗星	324
§ 7.5 流星	329
§ 7.6 流星雨和流星群	335
§ 7.7 陨星	339
§ 7.8 行星际物质	346
§ 7.9 太阳系小天体的演化	349
第八章 太阳	354
§ 8.1 引言	354
§ 8.2 太阳的距离、大小和质量	355
§ 8.3 太阳望远镜	358
§ 8.4 太阳的结构	363
§ 8.5 光球	366
§ 8.6 色球层	393
§ 8.7 日冕	400
§ 8.8 太阳活动	406
§ 8.9 太阳黑子	411
§ 8.10 日珥	425
§ 8.11 耀斑	431
§ 8.12 太阳的射电	437
§ 8.13 日地关系	443
主要参考书	449
附录一 球面三角	附1
附录二 日面坐标	附15
附录三 希腊字母表	附21
附录四 简明星图	附22

目 录

第九章 恒星	451
§ 9.1 引言	451
§ 9.2 恒星的距离	453
§ 9.3 恒星的视星等和绝对星等	457
§ 9.4 恒星的大小	458
§ 9.5 恒星的光谱	464
§ 9.6 赫罗图	468
§ 9.7 恒星光谱型的解释	471
§ 9.8 恒星的颜色系统	475
§ 9.9 分光视差	480
§ 9.10 恒星的化学组成	482
第十章 特殊恒星	485
§ 10.1 变星	485
§ 10.2 脉动变星	491
§ 10.3 新星和超新星	501
§ 10.4 金牛座 T 型星和鲸鱼座 U V 型星	512
§ 10.5 早型发射星	517
§ 10.6 A 型特殊星	523
§ 10.7 致密星——白矮星和中子星 (脉冲星)	526
§ 10.8 黑洞	537
第十一章 恒星集团	545
§ 11.1 双星和聚星	545
§ 11.2 双星的轨道运动	551
§ 11.3 恒星的质量	560
§ 11.4 密近双星	564
§ 11.5 几个著名的双星和聚星	575

§ 11.6	星团与星协	585
第十二章	星云与星际物质	597
§ 12.1	星云	597
§ 12.2	星云发光的机制	603
§ 12.3	星际物质	607
§ 12.4	超新星遗迹	615
§ 12.5	星际分子	621
第十三章	银河系	626
§ 13.1	银河和银河系	626
§ 13.2	恒星的空间分布	630
§ 13.3	恒星的运动	638
§ 13.4	星族和次系	650
§ 13.5	银河系的自转和质量	654
§ 13.6	银河系的结构	661
§ 13.7	银河系的射电辐射和高能辐射	668
§ 13.8	旋臂理论	673
第十四章	河外星系	679
§ 14.1	河外星系的分类	680
§ 14.2	河外星系距离的测定	687
§ 14.3	河外星系的一般性质	691
§ 14.4	河外星系的自转、大小和质量	696
§ 14.5	河外射电源	704
§ 14.6	类星体	709
§ 14.7	活动星系	718
第十五章	总星系	728
§ 15.1	双重星系和多重星系	728
§ 15.2	星系团	735
§ 15.3	总星系	743
§ 15.4	总星系模型	748
§ 15.5	总星系的演化	756
第十六章	天体的起源和演化	762

§ 16.1	天体演化学	762
§ 16.2	恒星演化学的观测基础	765
§ 16.3	恒星的内部结构	768
§ 16.4	恒星的起源和演化	777
§ 16.5	双星的起源和演化	786
§ 16.6	星系的起源和演化	789
§ 16.7	太阳系的起源	793
§ 16.8	康德和拉普拉斯的学说	800
§ 16.9	灾变假说	804
§ 16.10	本世纪的星云说	808
§ 16.11	其它学说	813
§ 16.12	戴文赛的新学说	816
主要参考书		829
附表一	星座表	附 1
附表二	最亮的恒星	附 4
附表三	最近的恒星	附 5
附表四	一些目视双星	附 6
附表五	一些星团与星协	附 7
附表六	一些有趣的星云	附 9
附表七	已发现的星际分子	附 10
附表八	本星系群 (不包括银河系)	附 11

绪 论

§ 0.1 天文学的研究对象和意义

天文学是研究天体的科学，具体地讲，是研究天体的位置、分布、运动、结构、物理状态、化学组成和演化规律的科学。

一、天文学的研究对象

什么是“天体”？通常人们把“天体”理解为天空里的物体，这样理解并不完全正确。无疑，太阳、月亮、行星、彗星、恒星、星云、都是天体。但是，白昼看到的飘浮在天空中的云，不是天体，它们是地球上空水汽凝结成的，离地面最多只有几十公里。从地球以外进入地球大气层的流星体以及落到地面上的陨星，则应该是天体，因为它们原来是在地球大气层以外。短时间内飘浮在空中的气球和在天空航行的飞机不能算做天体，而较长时间运行在太空的人造卫星或宇宙火箭，则属于“人造天体”。地球是太阳系的一个行星，从天文学的角度看，当然，它本身也是一个天体。

有不少人常把天文现象和气象现象混为一谈，因而把天文学与气象学混淆起来。天文学研究天体，而气象学研究的是地球大气现象的物理实质和演变规律。在地球大气中经常发生许多自然现象，例如严寒、酷热、风、云、雨、雪、闪电、雷鸣等等，它们属于地球大气中的物理现象，都是气象学研究的内容。这样我们就明白了天文学和气象学有完全不同的研究对象。但是，气象现象和某些天文现象也有一定的联系。例如，四季循环同地球绕太阳公转以及地球赤道面的倾斜有关，长期天气变化也可能同太阳上面发生的变动有关，等等。

二、天文学研究手段

天文学是以对天体的观测作为研究的基本手段，因此，天文学的进展和主要研究内容，在很大程度上决定于观测工具的发展，而各个时代的天文观测工具又决定于那一个时代的生产水平。在发明望远镜以前，天文观测是用量角器以目视方法进行的。那时天文观测局限于天体在天空的视位置和视运动，另外也粗略地估计星星的亮度。十七世纪初，开始使用望远镜进行天文观测，由于它增大了光通量密度和扩大了视角，而开创了现代光学天文学。十九世纪中叶，三种物理方法（分光学、光度学、照相术）广泛应用于天体观测，而望远镜的放大倍数也日益提高，从而提高了天体位置观测的准确度，扩大了观测范围，更重要的是，开始了过去无法进行的对天体的物理状态和化学组成的研究。

到了二十世纪，由于玻璃镜面镀银技术的出现，制造了一系列巨型反射望远镜。口径2米、3米、5米乃至6米的反射望远镜，相继问世。到目前为止，这类望远镜已超过几十架，使得人们探索宇宙的深度和广度与日俱增，新天体和新发现大量涌现。本世纪三十年代以后，人们愈来愈广泛地使用无线电方法研究天体和宇宙的射电辐射，从而诞生了射电天文学。六十年代的四大天文发现（类星体、脉冲星、星际有机分子、微波背景辐射），都是通过射电天文手段取得的。特别是自1967年出现甚长基线干涉仪以来，分辨本领已达 $0.0002''$ ，比现有光学望远镜高上百倍。不仅可用于研究射电源的精细结构，而且还广泛用于天体测量和天文地球动力学领域。本世纪四十年代，已利用火箭拍摄太阳的紫外光谱；五十年代第一颗人造地球卫星发射成功；从此，人类把活动范围由地面扩展到外层空间。由于粒子探测器的应用，通过宇宙飞行器，探测天体的各种辐射，促使紫外天文、X射线天文、 γ 射线天文迅速发展。红外天文学也获得了新的生命力。从此，进入了“全波天文学”时代。过去除了在实验室分析陨星以外，都是用“观测”获

得资料；现在踏上了月球表面和将踏上其它行星表面的科学工作者，开始用实验方法来研究天体。关于“天文学是观测的科学”的提法，已经是不很正确的了。

观测所获得的大量原始资料，只有通过理论分析才能揭示事物的本质。天文学以观测资料为基础，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。天文学从一开始就需要数学的帮助，同时反过来又促进了数学的发展，例如天体力学促进了分析数学的发展。二十世纪开始，近代物理学得到了迅速发展，原子物理学、原子核物理学、量子力学和相对论的建立和发展，使得天文学从仅仅研究天体的位置和机械运动，发展到深入研究天体物理本质的新阶段。天体上和天体际空间的高温、高压强、高密度、高能量、强磁场、强引力场、强辐射场、超高真空等极端环境，只有借助于物理理论才能加以研究和解释。这些特殊条件在地球上的实验室里目前还无法实现，因此，它们反过来也为物理学提供了特殊的实验条件。

我们居住的地球本身就是一颗行星，对它的研究诸如地质学、气象学、地球物理学、地球化学等，都与行星、卫星的研究，在方法、手段方面有许多共同之处，形成相互推动、彼此交叉的局面。天文地球动力学就是天文学与地球科学的交叉而形成的边缘学科。星际有机分子的发现，宇宙生命起源问题的探索，天体演化问题的研究，向化学、生物学、理论物理学提出了新课题。

三、天文学研究的意义

天文学与人类的生存有密切关系，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具有极其重要的意义。下面我们分几个方面谈一谈。

1. 时间服务 又叫授时工作。准确的时间不单是人们日常生活不可缺少的，对测绘、航海、航空、航天、以及其它生产部门

更为重要。时间工作有三个内容：（1）应用测时仪器（如中星仪、等高仪等）观测选定的恒星，经过归算获得准确的时刻；（2）采用守时工具（天文钟、石英钟、原子钟、分子钟）计量时间；（3）定时利用无线电以及电视发播时间，以满足各种工作的需要。这就是测时、守时和播时，加上时号改正的发布，是某些天文台的一项重要任务。

2. 编制年历和星表 大地测量、重力测量、导航等工作，以及大量的天文工作，都经常需要天文年历和星表。编制年历和星表，包括预先测定恒星在天上的方位，需要天文工作者耗费巨大劳动才能完成。目前广泛应用光电技术、自动化技术、电子计算机技术，甚至长基线干涉技术和空间技术，来提高这项工作的效率和精度。

3. 人造卫星轨道计算 自从五十年代发射人造卫星以来，人造卫星在侦察、通讯、气象、测绘、探矿等方面都获得广泛应用。而人造卫星轨道的精密计算，一方面需要运用天体力学理论，另一方面需要不断提供人造卫星的跟踪观测资料，这些都有赖于天文部门同有关部门的密切合作。

4. 太阳活动预报 太阳活动是太阳大气里一切活动的总称，包括太阳黑子、耀斑、日珥、以及光斑、谱斑等。一百多年前就发现太阳活动有11年的平均周期。活动剧烈时紫外辐射和粒子流增强，到达地球就引起地球磁场和电离层的扰动，也影响日地空间环境，导致地面短波通讯中断，影响人造卫星的发射和寿命，甚至也对气象有影响。因此，详尽研究太阳活动规律、预报太阳活动，对于国民经济和国防建设都有实际意义。

5. 揭示宇宙奥秘、探索自然规律 人类对宇宙的认识不断扩大，不仅愈来愈深入地了解宇宙的结构和演化规律，同时还帮助化学发现新的元素和分子，帮助物理学揭开微观世界的奥秘。例如，氦元素就是先在太阳上面发现，二十五年后才在地球上被找到的；分子“异氰化氢”（HNC）是先在星际空间被发现，然后

才在地球上实验室中产生出来的。六十年代天文学有四大发现，类星体的辐射能比普通星系大千倍，其能源是什么？脉冲星被认为是高速自转的中子星，处于恒星演化晚期阶段；X射线源是否就是中子星？（因为据推算，中子星辐射能在X射线波段比可见光波段大100亿倍！）星际分子已发现了几十种，其中有许多是有机分子，星际空间还可能存在氨基酸，它们对生命起源有多大意义？3K微波背景辐射表明天体和天体系统所在的周围环境也有能量辐射，为研究总星系早期情况提供了重要资料。这一系列新发现，促进高能天体物理学、宇宙化学、天体生物学和天体演化学等分支学科的发展，也向物理学、化学、生物学提出了新问题。

6. 树立辩证唯物主义世界观 天文学不仅在人类对自然的斗争中发挥巨大作用，在意识形态领域的斗争中，它也有着重要的意义。天文学是人类认识宇宙的一门科学，天文学的发展为科学的唯物主义世界观提供重要的依据和丰富的内容；而辩证唯物主义又成为天文学发展的指导理论和研究方法。人们在观测研究天象过程中形成了各种宇宙观。天文知识的传播对破除人类的迷信起着重大的作用。因此天文学的研究具有哲学上的战斗意义。

§ 0.2 宇宙概观

人类对宇宙的认识由近到远，由小到大，逐渐扩展到更遥远的宇宙空间和更庞大的天体系统。起初是从“地球”到“太阳系”，后来又扩展到太阳系以外的“恒星”和主要由恒星组成的“银河系”，现在又从银河系扩展到无数的“河外星系”直到150亿光年以上的宇宙深处。人类对宇宙的认识还在不断深化和发展。

一、太阳系概况

地球 经过两三千年的探讨，确定了我们人类所居住的地球不是宇宙的中心。地球只是太阳系的一个行星，同其它行星一

样绕着太阳转动。地球是接近球形的，略扁，赤道半径 6378 公里，极半径约短 21 公里。在地球固体壳外面包围着一层厚度约 3000 公里的大气。

月球 离地球最近的天体是月球（除了有时走进地球大气里的流星体以外），它离地球只有 38 万公里。月球比地球小，半径只有地球的四分之一。它不断地绕着地球转动，是地球唯一的天然卫星；同时，月球也随着地球绕太阳转动。月球上几乎没有空气和水，有时从内部喷出一些气体，但很快就发散了。这是因为月心吸引力只有地心吸引力的六分之一，不能吸引住大气。

太阳 太阳系的中心天体是太阳，它离地球 14960 万公里。太阳的半径等于地球的 109 倍，质量等于地球的 33 万倍。地球和月球都具有固体的外壳，太阳则整个是气态的。地球和月球自己不发光，月光是月球反射的太阳光。太阳是自己发光的，表面的温度是 6000 度，它的中心温度更高，有 1500 万度。在太阳内部进行大量的核反应，不断地释放出巨大的能量。地球上进行的一切运动和所有生命的源泉是太阳。如果没有太阳，地球上温度将降到 -270°C ，它将成为一个黑暗的、冷寂的世界。

行星 围绕太阳转动的较大的行星有九个，按照离太阳的远近，由近到远，依次是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。所有行星都沿着同一方向自西向东绕着太阳转动，它们的轨道都是椭圆（大部分同圆相差不多），大多数行星的轨道平面彼此很靠近。行星可以分成两类，属于第一类的有四个靠近太阳的行星，又称为类地行星。属于第二类的有四个较远的行星，即木星、土星、天王星、海王星，它们的体积比第一类行星大。第二类行星又称为类木行星。

小行星 十九世纪以来还发现了二千个以上的小行星，它们也都绕着太阳转动。大部分小行星的轨道在火星和木星的轨道之间。第一个被发现的小行星是谷神星，半径为 477 公里，是最大的一个。最小的半径还不到半公里。