

292529

天文学教程

(上册)

南京大学数学天文学系天文专业 编



上海科学技术出版社

統一書號 13119·430
定 價 3.05 元

高等学校教学用书

天 文 学 教 程

(上 册)

南京大学数学天文学系天文专业 编

主 编 戴文赛

编 写 者

戴文赛 李春生 曲欽岳 朱慈盛

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本教程有系統地介紹現代天文学的基础知識，共分上、下两册。上册先論述天球的概念和天球坐标系，計量时间的各种系統，天文观测的仪器和方法；然后就各种类型的天体分別介紹其研究方法和研究結果；由近到远，先介紹地球和月球；其次介紹太陽系的行星、卫星、彗星、流星；再介紹太阳、恒星、双星、变星、星团、星云、銀河系、河外星系；最后討論天体的起源和演化問題。下册包括天体测量和天体力学部分。天体测量方面，先介紹观测数据的处理方法(包括最小二乘法)和影响天体坐标的各种因素：視差、大气折射、光行差、岁差和章动等等，及改正方法；然后介紹时间和地面經緯度的各种測定方法，恒星位置和距离的測定方法。天体力学方面，介紹天体运动的研究方法，討論二体問題，摄动理論，人造卫星运动理論和岁差章动的理論。

本教程可作为綜合大学及高等师范学校天文专业天文学基础課程的教材。高等学校理科其他专业及高等工业学校中某些专业設有天文学課程的，也可选用本教程作为教材或参考书。本教程也可作为天文及其他有关科学工作人員的参考书。

参加本书个别章节編写工作和修訂工作的有赵却民、程廷芳、陈載璋、郑宁英、黄佑然、黄克諒、徐振韬。

高等学校教学用书

天 文 学 教 材

(上 册)

南京大学数学天文学系天文专业編

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印張 18 2/32 插頁 32 字數 447,000

1961年12月第1版 1962年5月第2次印刷

印數 1,001—3,000 (其中簡裝本 1,000册)

統一書号：13119 · 430

定 价：(十) 3.05 元

目 录

(上 册)

| | |
|------------------------|----|
| 緒論 | 1 |
| § 0.1 天文学的研究对象和意义 | 1 |
| § 0.2 宇宙概观 | 8 |
| § 0.3 天文学发展简史 | 18 |
| 第一章 天球和天球坐标系 | 29 |
| § 1.1 天球 | 29 |
| § 1.2 球面三角 | 30 |
| § 1.3 地球和天球 | 40 |
| § 1.4 天球坐标系 | 46 |
| § 1.5 坐标的变换 | 52 |
| § 1.6 天体的周日视运动现象 | 55 |
| 第二章 时间的计量 | 62 |
| § 2.1 天文学中计量时间的原则 | 62 |
| § 2.2 恒星时 | 64 |
| § 2.3 太阳的周年视运动 | 66 |
| § 2.4 真太阳时和平太阳时 | 70 |
| § 2.5 地方时和区时 | 73 |
| § 2.6 恒星时单位和平太阳时单位间的关系 | 79 |
| § 2.7 平时和恒星时的换算 | 83 |
| § 2.8 历法 | 88 |
| § 2.9 历书时 | 92 |
| 第三章 天文望远镜和天体物理方法 | 95 |
| § 3.1 天文望远镜 | 95 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| § 3.2 | 望远镜的装置 | 104 |
| § 3.3 | 辐射接受器 | 109 |
| § 3.4 | 天体光度测量 | 116 |
| § 3.5 | 天体分光学 | 121 |
| § 3.6 | 天体物理新技术 | 127 |
| 第四章 | 地球和月球 | 134 |
| § 4.1 | 地球的形状和大小 | 134 |
| § 4.2 | 三角测量和弧度测量 | 138 |
| § 4.3 | 地球的自转 | 139 |
| § 4.4 | 地球的内部结构 | 143 |
| § 4.5 | 地球的重力和磁场 | 145 |
| § 4.6 | 地球的大气层 | 149 |
| § 4.7 | 月球的距离、大小和质量 | 154 |
| § 4.8 | 月球绕地球的转动和会合运动 | 158 |
| § 4.9 | 日食和月食 | 164 |
| § 4.10 | 月球的自转和天平动 | 172 |
| § 4.11 | 月球的物理状况 | 176 |
| § 4.12 | 月球表面的结构 | 180 |
| 第五章 | 行星的运动和万有引力定律 | 188 |
| § 5.1 | 行星的视运动 | 188 |
| § 5.2 | 宇宙地心体系和宇宙日心体系 | 191 |
| § 5.3 | 行星视运动的解释 | 195 |
| § 5.4 | 行星的轨道要素 | 200 |
| § 5.5 | 万有引力定律 | 202 |
| § 5.6 | 摄动 | 206 |
| § 5.7 | 岁差和章动 | 207 |
| § 5.8 | 潮汐 | 212 |
| § 5.9 | 引力定律的发展 | 215 |
| 第六章 | 行星和卫星 | 217 |
| § 6.1 | 概况 | 217 |
| § 6.2 | 行星和卫星的观测 | 222 |

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| § 6.3 | 水星和金星····· | 224 |
| § 6.4 | 火星····· | 228 |
| § 6.5 | 木星····· | 234 |
| § 6.6 | 土星····· | 237 |
| § 6.7 | 天王星、海王星和冥王星····· | 239 |
| § 6.8 | 小行星····· | 241 |
| 第七章 | 彗星和流星····· | 244 |
| § 7.1 | 彗星及其运动····· | 244 |
| § 7.2 | 彗星的物理结构和化学组成····· | 247 |
| § 7.3 | 几个著名的彗星····· | 256 |
| § 7.4 | 流星····· | 258 |
| § 7.5 | 火流星和陨星····· | 265 |
| § 7.6 | 流星群····· | 272 |
| § 7.7 | 行星际物质····· | 277 |
| § 7.8 | 太阳系小天体的演化····· | 282 |
| 第八章 | 太阳····· | 287 |
| § 8.1 | 研究太阳的意义····· | 287 |
| § 8.2 | 太阳的距离、大小和质量····· | 288 |
| § 8.3 | 太阳的外部结构····· | 291 |
| § 8.4 | 光球····· | 297 |
| § 8.5 | 黑子····· | 308 |
| § 8.6 | 色球层····· | 317 |
| § 8.7 | 日珥····· | 325 |
| § 8.8 | 日冕····· | 330 |
| § 8.9 | 太阳的射电····· | 335 |
| § 8.10 | 日地关系····· | 340 |
| § 8.11 | 太阳的内部结构和能量来源····· | 345 |
| 第九章 | 恒星····· | 350 |
| § 9.1 | 恒星的距离····· | 351 |
| § 9.2 | 恒星的视星等和绝对星等····· | 354 |
| § 9.3 | 恒星的大小····· | 357 |

| | | |
|-------------|----------------|------------|
| § 9.4 | 恒星的光谱 | 359 |
| § 9.5 | 赫罗图 | 366 |
| § 9.6 | 恒星的化学组成 | 370 |
| § 9.7 | 恒星的空間速度 | 371 |
| § 9.8 | 太阳的运动 | 376 |
| § 9.9 | 各类恒星的运动特性 | 385 |
| 第十章 | 双星和变星 | 390 |
| § 10.1 | 双星 | 390 |
| § 10.2 | 双星的轨道运动 | 395 |
| § 10.3 | 恒星的质量 | 405 |
| § 10.4 | 几个著名的双星和聚星 | 410 |
| § 10.5 | 变星和不稳定星 | 417 |
| § 10.6 | 变星的分类 | 420 |
| § 10.7 | 脉动变星 | 423 |
| § 10.8 | 新星和超新星 | 430 |
| § 10.9 | 一些较特殊的不稳定星 | 438 |
| 第十一章 | 星团和星云 | 444 |
| § 11.1 | 星团 | 444 |
| § 11.2 | 星协 | 455 |
| § 11.3 | 星云 | 460 |
| § 11.4 | 星际物质 | 469 |
| 第十二章 | 银河系和总星系 | 477 |
| § 12.1 | 银河和银河系 | 477 |
| § 12.2 | 银河系各个次系的空間分布 | 484 |
| § 12.3 | 银河系的射电 | 491 |
| § 12.4 | 银河系的大小和形状 | 495 |
| § 12.5 | 银河系的自转和旋臂结构 | 499 |
| § 12.6 | 河外星系 | 506 |
| § 12.7 | 星系集团 | 522 |
| § 12.8 | 射电点源 | 535 |
| § 12.9 | 总星系的結構 | 543 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第十三章 天体的起源和演化····· | 548 |
| § 13.1 天体演化学····· | 548 |
| § 13.2 恒星的起源和演化问题····· | 551 |
| § 13.3 现代有关恒星起源的各种看法····· | 555 |
| § 13.4 赫罗图在恒星演化上的意义····· | 559 |
| § 13.5 太阳系起源问题····· | 567 |
| § 13.6 康德和拉普拉斯的学说····· | 571 |
| § 13.7 灾变学说····· | 574 |
| § 13.8 现代有关太阳系起源的各种学说····· | 578 |
| § 13.9 关于宇宙的结构和演化的几种学说····· | 592 |
| 习题····· | 598 |
| 参考文献····· | 612 |
| 附表(一至七)····· | 614 |
| 附录(一至三)····· | 625 |

緒 論

§ 0.1 天文学的研究对象和意义

天文学是研究天体的科学,是研究如何利用天体的知識来为人类服务的科学。最初,天文学主要研究天体的运行,后来进一步研究天体的距离、天体在空間里的分布、天体所組成的各种系統,然后又进一步研究天体上的物理情况、天体的結構和化学組成、天体的起源和演化以及宇宙的构造和发展等。

1. 天体 把“天体”理解为天空里的物体,这是不完全正确的。不錯,太阳、月亮、行星、彗星、恒星、星云都是天体,但白昼看到飄浮在天空中的云,却不是天体,它們是在地球大气内的东西,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以及落到地面上的隕星,却應該当做天体,因为它們原来是在地球大气层以外。地球是太阳系的一个行星,把地球当做一个行星来討論和研究时,也把它当做一个天体,也把它当做天文学的研究对象。短時間内在空中飄游或飞行的气球和飞机不当做天体,但較長時間在天空运行的人造卫星或宇宙火箭,則当做“人造的天体”。

2. 天文和气象 有不少人常把天文現象和气象現象混为一談,因而把天文学和气象学混淆起来。事实上,天文学和气象学有截然不同的研究对象。天文学研究天体;气象学研究地球大气层内气流的規律,各地区气候和天气变化的規律。但也必須指出,气象現象和某些天文現象有一定的关系,例如四季循环同地球繞太

阳公轉和地球赤道对黄道面的傾角有关(参閱 § 2.3), 长期天气变化可能同太阳上面的变动有关等等。

天文学和气象学还有一个共同的地方, 就是它們都以观测作为获得本門科学知識的基本手段, 因此常說它們是观测的科学。近年来随着科学技术的迅速发展, 天文学研究也愈来愈多地采用实验方法。除了在实验室里化验隕星以外, 雷达技术已經被用来研究月球、流星等天体。1957年苏联发射第一个人造地球卫星以来, 实验方法在天文学研究上应用更广。在不久的将来, 踏上了月球表面和火星表面的天文工作者, 将就地用实验方法来研究这些天体。天体力学的一些理論, 将通过人造天体的运行情况来加以验证。

3. 天文学的观测工具 天文学的研究既然以观测为主要手段, 天文学的进展和主要研究內容, 便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。望远镜发明以前, 天文观测是用量角器以目視方法进行的, 那时天文观测的对象局限于天体在天空的視位置和視运动, 另外也粗略地估計星星的亮度。十七世紀初, 望远镜开始用于天文观测以后, 不仅观测所及的空間范围大为扩展, 观测的准确度也大为提高。十九世紀时, 分光术和照相术被应用于天体的观测, 望远镜也愈造愈大, 愈造愈好, 这样就使天文工作者, 一方面提高了天体位置观测的准确度和扩大了观测范围, 另一方面又开始了过去无法进行的对天体的物理結構和化学組成的探討。二十世紀时, 电子学和无綫电技术愈来愈多地应用于天文观测上, 为解决天体的結構和演化問題提供了丰富的新資料。近年来宇宙航行事业的发展, 給天文观测开辟了一个全新的方向。

4. 天文学的理論工具 观测工具以外, 理論工具也是天文研究所必需的。天文学一产生就需要数学的帮助, 这种需要也促进

了数学的发展,球面三角学的产生和发展,就是一个明显的例子。十七世纪时,为了说明太阳系天体的视运动,便推动了万有引力定律的发现和力学的建立。随着望远镜的使用和大量精密观测资料的积累,专门研究天体的运动的力学(称“天体力学”),在十八世纪里进入蓬勃发展的阶段。十九世纪中叶以来,有关天体的物理性质和化学组成的大量观测结果,只有依靠近代物理学的理论才能得到满意说明。天文学同数学、力学、物理学的关系一直都是很紧密的。此外,由于地球是一个天体,因此天文学同地质学、地球物理学、地球化学、气象学、地理学也有关系,尤其是在讨论太阳上的变动对地球的影响以及地球的早期发展史的时候,关系更密切。

5. 研究天体的意义 天文学是研究天体的科学。研究天体有甚么意义?天文学怎样为人类服务?

天文现象是最显著的一种自然现象,天文学一向是广大群众最感兴趣的一门科学。古代人为了社会生活的实际需要,要求有一种计量时间的方法,而昼夜更替、月亮盈亏和四季循环是最自然的时间单位。从事农业的民族,需要知道什么时候应当耕种和收割,他们就注意到季节变化同中午的太阳高度有关。游牧民族在辽阔的草原上流动,需要利用星象来辨别方向。这些社会生活的实际需要,促使天文科学建立和发展起来。

测时:测定准确的时间,一直是天文学的一个任务,因为准确的时间是测量工作者、航海和航空工作者所迫切需要的。由于天文观测准确度的逐步提高和新型守时工具(石英钟、原子钟、分子钟)的应用,测定时刻的准确度已经提高到千分之一秒或更高。同时,天文工作者也可以测定准确到十亿分之一的标准频率,这对于和无綫电电子学有关的许多技术部门,都是必需的。

天文年历和星表:除了准确时刻以外,大地测量工作者、重力测量工作者、航海和航空工作者,也经常需要天文工作者花费巨大

劳动制定出来的天文年历和星表。天文工作者正在利用各种新技术(包括光电技术、电子计算机、自动化)来提高这方面工作的效率和准确度。

了解对地球的影响：太阳和月球这两个天体，除了可以利用它们的视运动来决定时刻和历法以外，同地球还有密切的关系。地球上的潮汐，就是月球和太阳的吸引力所产生的。太阳给地球以光和热，又通过煤、石油、风力、水力来供给地上人类以巨大的能量。现在知道，太阳上面一有变动时就射出较多的紫外光和X光，也射出较多的物质点(微粒辐射)，这些东西到达地球时就引起了地球磁场和电离层的变动，因而影响了地面上的电讯交通。上面已提过，太阳上的变动同地上天气变化也有一定关系。因此，详尽研究太阳和它上面各种变动并掌握太阳变动的规律，对于国民经济的发展也有直接的关系。

揭开微观世界的奥秘：天文学的研究，不仅使我们愈来愈深入地了解宇宙的结构和发展，同时也协助物理学揭开微观世界的奥秘，使我们愈来愈深入地了解物质的结构和运动规律，因为天体提供了地上实验室还没有能够获得的或者很难获得的物理条件——以很高速度运动着的大物体、维持很长时期的高温、比水的密度大百万倍以上的高密度、比地上所谓“真空”的密度还低好些个数量级的低密度、极大的体积等等。观测研究物质在天体条件下的情况可以帮助我们掌握物质运动的规律。氦这个元素就是先在太阳上面发现的，后来才在地上发现。原子能是二十世纪科学上最重要的一种发现，在研究太阳和恒星的能量的来源时，对原子能概念的建立起了促进作用。现已知道太阳和极大部分恒星的能量就是热核能，在这些天体的内部进行着热核反应，使这些天体发出光来。

探索新的能源：天文学的另一个重要的任务，是探索新的能

源。特别是在社会主义国家，随着生产水平和人民生活水平的迅速提高，对动力的要求也愈来愈大。埋藏在地下的石油和煤是有限的，总有一天要用完的，因此寻求新能源是一个迫切的任务。目前原子能的和平利用正在日益扩大其范围和规模。但一般所谓原子能，是通过重原子核的裂变而释放出来的。它们的燃料是铀和钚这两种元素，但它们的藏量也是有限的。目前苏联和其它一些国家，正在努力探讨和平利用热核能的方法。热核能的主要燃料是重水，这可以从普通的水提炼出来，而地球上水的贮量比任何矿物都丰富得多。

另一种能量来源是太阳能的直接利用，有许多地方已经直接利用太阳能来烧水煮饭、焊接、使种子干燥、制造冷气等等。最近也利用半导体制成太阳能电池。但还没找到更有效和更经济实用的直接利用太阳能的方法。虽然这主要是一个工程的问题，天文工作者仍应积极参加。

太阳上面经常有爆发产生，猛烈的程度远远超过火山的爆发或原子弹的爆炸。在几种不稳定的恒星上面发生爆炸的规模比太阳上的大千千万万倍。“超新星”一发生爆炸，在几天内释放出的能量，比太阳在一年内发射出的全部能量大几百万倍以上。天文工作者的任务，就是在原子核物理学工作者的协助下，探讨天体上巨大爆发的原因。这样的探讨，除了帮助解决天体的结构和演化的问题以及帮助物理工作者解决物质结构问题之外，对于新能源的探索也可以做出重要贡献。

建立辩证唯物主义的世界观：天文学不仅在人们对自然的斗争中能起巨大的作用，它在人们的思想意识斗争中也能起巨大的作用。天文学研究遥远的天体，研究宇宙的结构和发展，因此天文学同哲学中的宇宙观和认识论都有密切关系。天文知识的传播，对于破除迷信也能起很大作用。

天文学的研究成果說明，宇宙間所有天体都是按照自然規律在运动发展着，并且都是可以認識的。天文学的发展过程說明了世界观对于科学研究工作的重要意义，从不同的观点出发，使用不同的思維方法，可以对同一現象得出完全不同的結論来。在天文学中，不断地在进行着唯物主义和唯心主义的斗争。一直到今天，仍有些学者由于在天文学研究中暂时遇到了困难，就宣揚“宇宙不可知論”，或者用錯誤的观点来解釋天文学的觀測結果，得出了“物质由虛无中产生”、“宇宙在時間和空間上都是有限的”等等唯心主义的观点(參閱第十三章)。因此天文工作者的重要任务，就是运用辯証唯物主义这个强有力的武器，来批判天文学中形形色色的形而上学和唯心主义論点，并以研究成果来丰富和发展辯証唯物主义哲学，帮助广大人民群众建立辯証唯物主义的宇宙觀。

1957年10月，苏联第一个人造地球卫星的发射成功，开辟了人类征服宇宙空間的新紀元，人类已經进入宇宙航行时代了。在这个新时代里，天文学无疑地将获得比以前更快的发展，天文工作者在宇宙航行这个划时代的偉大事业里，义不容辞地将承担重要的任务，包括宇宙航行軌道的設計、人造天体和宇宙火箭的觀測和可見期及可見时刻的預报、利用人造天体和宇宙航行方法来对各种天体进行研究等等。

6. 天文学的分类 为了学习和工作的方便，天文学按照研究对象和研究方法的不同分为下列几个部門：

天体測量学：天体測量学研究精密測定天体位置的方法和对測定結果的应用。它又分为下列三个部門：

球面天文学 运用球面三角和其它数学方法，来研究如何測定天体在假想的天球上的位置，使用各种坐标系把这种位置表示出来，又研究由于各种原因(大气折射、光行差、岁差、章动等等，将在下册里討論)而产生的坐标变化。

实用天文学 利用天文观测来决定观测者在地面上的位置和决定时间。实用天文学中专门应用于航海的部分，称为航海天文学，应用于航空的部分，称为航空天文学。

方位天文学 它的任务是精密测定天体的位置，主要是恒星的赤经和赤纬（赤经赤纬的定义见 § 1.4），利用观测结果来编制各种星表，供实用天文和恒星天文（见下面）之用。现代天体测量工作者的一个重要任务，是研究怎样利用各种新技术（光电技术、电子计算机、自动化等等），来提高天体测量工作的准确度和效率。

天体力学：天体力学研究天体（包括人造天体）在万有引力和其它力的综合作用下的运动规律、天体轨道的计算方法、天体在某一时刻的位置的预测方法、天体由于自转而具有的形状等。在苏联，天体力学中计算天体轨道和预测天体位置的这些部分，被称为“理论天文学”。

天体物理学：天体物理学研究天体的物理性质、化学组成、内部结构和能量来源，以及星际空间里的弥漫物质。天体物理学可以按照研究对象而分为太阳物理、行星物理、彗星物理、恒星物理、星云物理等等。

恒星天文学：恒星天文学运用统计方法，研究银河系内恒星的分布和运动、银河系的结构、其它星系和各种星系集团的结构等。

射电天文学：射电天文学研究天体的无线电辐射，也用雷达方法研究流星、月球等天体。

天体演化学：天体演化学研究各种天体和各种天体系统的起源和演化。

天文学各部门之间都有着密切的联系，有时候很难说某一个天文问题是属于哪一个部门。例如射电天文学研究太阳的无线电辐射，太阳物理也研究太阳的无线电辐射，但前者着重于太阳无线

电輻射的觀測技術,后者着重于探討太陽無線電輻射的產生原因。天體演化學同天文學其他部門都有關係,事實上它是把天文學其他各部門的觀測研究結果綜合起來加以分析,得出有關天體的產生和發展的完整圖景。

§ 0.2 宇宙概觀

1. 地球 經過了兩三千年的探討,才確定了我們人類居住的地球不是宇宙的中心體,地球只是太陽系的一個行星,同其他行星一樣地繞着太陽轉動。地球是接近球形的,略扁,赤道半徑 6378 公里,極半徑約短 21 公里。在地球固體殼外面包圍着一層厚度約三千公里的大氣。

2. 月球 除了有時走進地球大氣里的流星體以外,離地球最近的天體是月球,它離地球只有 38 萬公里。月球比地球小,半徑只有地球的四分之一。它不斷地繞着地球轉動,是地球唯一的天然衛星;同時,月球也隨着地球繞太陽轉動。用肉眼看月球,可以看到月面有些部分比較暗,有些部分比較亮。用望遠鏡看月球,就看出較暗的部分是月面上較平坦的部分。用望遠鏡也可以看到月球上有很多山,大部分具有圓環的形狀,叫做環形山。月球上沒有空氣和水,有時候從內部噴出一些氣體,但很快就發散了。這是因為月心吸引力只有地心吸引力的六分之一,因此不能吸引住大氣。

3. 太陽 太陽是太陽系的中心天體,離地球一億五千萬公里。太陽的半徑等於地球的 109 倍,質量等於地球的 33 萬倍。地球和月球都具有固體的外殼,太陽則整個是氣態的。地球和月球自己不發光,月光是月球反射的太陽光。太陽是自己發光的,它的內心溫度很高,不斷地進行着氫聚變成氦的原子核反應過程——熱核反應,不斷地釋放出巨大的能量。

4. 行星、小行星、衛星 環繞太陽轉動的較大的行星有九個,