



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

天体物理学

(第二版)

■ 李宗伟 肖兴华



Astrophysics



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

天体物理学

(第二版)

Tianti Wulixue

■ 李宗伟 肖兴华



Astrophysics



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是“面向 21 世纪课程教材”。

本书在修订中用现代的观点对原书的内容和体系结构进行了重新审视、选择和组织,尽量减少有关较繁的理论推导,增加了银河系中心黑洞、河外星系、高红移星系、星系形成和演化等内容,加入和反映了大量 20 世纪 90 年代至今天体物理学的最新资料和最新进展,编入了大量的习题。本书内容共分绪论、天体物理中的辐射过程、天体物理观测方法和天体参数的测定、太阳物理、恒星的结构和演化、致密星、星际物质、银河系、河外星系、宇宙学 10 章。

本书主要适用对象为高等学校物理系、天文学系大学生、研究生以及物理和天文专业研究人员。

图书在版编目(CIP)数据

天体物理学/李宗伟,肖兴华编著. --2 版. --北京:高等教育出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-04-036616-7

I. ①天… II. ①李…②肖… III. ①天体物理学-高等学校-教材 IV. ①P14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 301462 号

策划编辑 忻蓓
责任校对 杨凤玲

责任编辑 忻蓓
责任印制 刘思涵

封面设计 张志

版式设计 王艳红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京人卫印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 36.25
字 数 670 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2000 年 7 月第 1 版
2012 年 12 月第 2 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 55.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物 料 号 36616-00

探宇宙之無窮
識盈虛之有則

題贈李宗偉同志

天體物理學

新版問世

王綬琯



序

天体物理学是应用物理学的理论、方法和技术,研究天体的物理性质、化学组成和演化规律的学科。它是古老天文学的一个年青活跃,富于生命力的分支学科。

半个多世纪以来,突飞猛进的科学技术促使天体物理学的内容发生了巨大变革。射电技术、红外探测技术、航天和空间技术的兴起和发展,使早先仅限于光学波段的天文观测,一跃而为包括射电、红外、可见光、紫外、X射线直至 γ 射线的全波段观测,极大地扩展了人们的视野,由此而获得了一系列惊人的新发现。

浩瀚宇宙的研究向人们展现了许多崭新的,甚至是“谜”一般的课题,例如,天体活动过程中释放的无比巨大的能量,能量极高的宇宙高能粒子,每立方厘米有数亿吨质量的超密态物质,以及高达 $10^8 \sim 10^9$ T的脉冲星磁场……这些课题向科学提出了严峻的挑战。可以预期它们的解决必将推动物理学和其他有关学科的发展,甚至有可能成为一次新的自然科学革命的重要组成部分。

正是由于现代天体物理学与物理学之间互相渗透和交融的特殊关系,促使不少物理学工作者涉足天体物理学的研究领域。“普通天体物理学”一书的出版,将为他们提供一本有价值的参考书。全书九章几乎涉及天体物理学所有重要的研究领域,其中既有基本理论和观测处理方法的介绍,又有对各研究领域主要成果的概括和评述。

太阳、月亮、星星、银河等天体常常被文学家引入美丽的诗篇,天文学常被人们看成是一门神秘而又富于幻想的科学。然而,当你步入这门学科的大门时,你就会发现,那些从天体物理观测和理论分析所得到的,许多看起来“神奇”、“玄妙”的不可思议的结果,都是建立在坚实科学理论和实验技术基础之上的。我希望,当人们读完“普通天体物理学”一书后,能认识到天体物理学是一门基础扎实且结构严密的学问。

鉴于《普通天体物理学》一书所涉及的知识的广泛性,可以料想到两位作者在编写这本著作时,付出了何等辛勤的劳动。如果这本书的出版,能使更多的人

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

们了解天体物理学,甚至加入天体物理学的研究队伍,共同来推动我国天体物理学的发展,我相信作者一定会感到无比欣慰!

曲钦岳

1991年6月于南京大学

第二版前言

众所周知,随着地基和空间天文仪器的突飞猛进,天文学和天体物理学发生了革命性变化,激动人心的新发现不断涌现,新理论层出不穷,天文学和天体物理学空前地活跃起来,宇宙学的研究迎来了“精确宇宙学时代”。20 世纪末,天文学家通过对高红移 Ia 型超新星的观测发现宇宙加速膨胀,揭示了宇宙暗能量的存在;发现首个地外行星系统,引发全球寻找地球“同伴”的科技竞赛;对星系中心黑洞以及伽玛暴的本源等的探测,极大丰富了对宇宙天体细节的认识。在过去的几十年里,我们对宇宙的认识经历了重大变革。天文学仍然是对人类认知的巨大挑战,挑战同时也意味着机遇,会不断导致天文学研究的新突破,进而对整个基础学科乃至人类科技文明的进步带来巨大的推进。

宇宙丰富多彩,充满魅力。尽管人类在探索宇宙奥秘的漫长道路上取得了辉煌的成就,但人们对天体和宇宙的认识还有很长的漫漫之路需要深入探索。诸如宇宙是如何诞生、其归宿是什么?宇宙中的暗物质和暗能量是什么?宇宙为什么现阶段处于加速膨胀?恒星和星系是如何诞生的?为什么宇宙中到处充满各种质量的黑洞?宇宙中还有无地球外的生命?是什么自然力量主宰着宇宙的终极命运等根本问题。现今,天文学和天体物理学成为万众瞩目、影响广泛的基础学科和活跃的前沿领域。天体物理学作为基础学科应当将这些新现象、新数据及时介绍给广大读者,为今后深入开展科学研究和教学打好基础。本次集中修订这些年发展迅速的 Ia 超新星和宇宙学、银河系、河外星系的有关内容;至于发展很快并不断更新的星际物质和宇宙学两章在适当时候再修订;同时为了加深对内容的深入理解,重新修订了各章习题并给出答案或提示。

本书自出版以来,国内许多大学的物理系、天文系和研究单位用它作为教材或参考书。此次修改涉及面很广,得到天体物理界许多同行和朋友的大力支持,他们是:陆埏院士、乔国俊教授、孔旭教授、朱宗宏教授、毕少兰教授、邹振隆研究员、詹虎研究员、吴宏研究员、沈志强研究员、陈玉琴研究员,在此一并致谢。

高等教育出版社物理分社的高建和忻蓓二位编辑对本书的再版给予了热忱的建议和帮助,促成本书第二版面世,借此表示由衷致谢。

天体物理学面广且发展异常迅速,编者深感能力有限,虽然尽力完善,但错误和不当之处仍存,诚恳希望读者批评指正。

第二版前言

编者

2012 年秋于北京

修订版前言

《天体物理学》是《普通天体物理学》的修订版,第一版曾获国家教委第三届优秀教材二等奖(1995年),本修订版系普通高等教育“九五”国家教委重点教材。

本书第一版于1992年出版,并为有关大学物理系和理科各专业广泛选作天体物理学课程的教材,许多攻读天体物理硕士学位的研究生也常选其作为喜爱的参考书。鉴于该教材涉及天体物理学几乎所有重要领域,既有基础理论又有各研究领域的主要成果,因而得到广大师生的欢迎和专家的较高的评价。

充满生机和希望的21世纪,即将向我们敞开大门,20世纪90年代天体物理正以昂首阔步的姿态跨入下一个世纪,它以惊人的发现对理论发起了挑战,以天空实验室的身份验证了地面难以证实的理论;现代天文学突出的特点是已实现了全电磁波段观测,为天文学的突破奠定了基础。根据我国高等教育关于面向21世纪教学内容和课程体系改革的决策,为适应新世纪天体物理的迅猛发展,为实施“科教兴国”培养高素质人才的需要,本书作为教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”中“(02-05-12)天文学专业教学内容和课程体系改革研究”项目研究成果之一,在研究中,对原书(第一版)进行了认真的研讨和修订。在这次修订中,我们听取和采纳了许多师生和专家的意见和建议,修订中体现以下几点:(1)增强物理图像,公式删繁就简;(2)充实最新的观测数据和研究成果;(3)加强星系天文学和宇宙学,原书最后两章扩充为三章:银河系、河外星系和宇宙学,(4)增加了习题。后三章用最新的内容完全重写,特别是宇宙学以武向平研究员为主的博士团组(朱宗宏、秦波、陈大明)既注重基础又瞄准前沿,以深入浅出的方式重新撰写了发展异常迅速的宇宙学。以适应天文学教学内容和课程体系改革的需要。

本书的修订工作得到了教育部普通高等学校理科物理学与天文学教学指导委员会天文学教学指导组和02-05-12项目组的指导和帮助;许多同行和朋友,如陆埏、李竞、马骥、汪景琇、乔国俊、卢炬甫和马玉倩教授,赵永恒、韩金林和杨志良博士,杨大卫老师和研究生王晓峰和刘煜以各种方式给予帮助。该书凝聚着大家的心血,在此一并致谢。

我们要特别感谢的是:王绥琯先生审阅了修订大纲并提出修订意见,对有的章节做了仔细修改,同时精心重新题字;邹振隆研究员等受天文学教学指导组的委托在极其繁忙中审阅新书稿,提出许多宝贵的修改意见和建议。

天体物理学面广且发展迅速,作者深感水平有限,步履艰难,依托多方帮助求进。但错误和不当之处仍存,诚恳希望读者批评指正。

作者

1999年仲夏于北京

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 宇宙概观	1
1. 太阳系	1
2. 恒星	2
3. 星际物质	3
4. 星系	4
5. 宇宙	5
§ 1.2 宇宙物质的基本规律和物质状态	5
1. 粒子和四种作用力	6
2. 宇宙中物质的状态	8
§ 1.3 天体物理学和物理学	13
1. 天体物理学	13
2. 天文学(天体物理学)方法	16
3. 天体物理学和物理学的全面渗透	18
4. 21 世纪天体物理学	22
5. 新世界和新视野	24
第二章 天体物理中的辐射过程	26
§ 2.1 辐射转移理论	26
1. 描述辐射场的物理量	26
2. 发射系数、吸收系数和爱因斯坦概率系数	28
3. 辐射转移方程	31
§ 2.2 热辐射	34
1. 黑体辐射	34
2. 普朗克定律的特性	34
§ 2.3 回旋辐射、同步加速辐射及曲率辐射	36
1. 回旋辐射	36
2. 同步加速辐射	38
3. 曲率辐射	44
§ 2.4 逆康普顿散射	45

1. 康普顿散射	45
2. 逆康普顿散射	48
§ 2.5 切连科夫辐射	50
习题	52
第三章 天体物理观测方法和天体参数的测定	55
§ 3.1 获得天体信息的渠道	55
1. 电磁辐射	55
2. 宇宙线	56
3. 中微子	56
4. 引力波	57
§ 3.2 信息的收集和观测视野的扩展	58
§ 3.3 天文望远镜和辐射探测器	62
1. 天文望远镜	62
2. LAMOST 望远镜	63
3. 辐射探测器	64
§ 3.4 天体的光度测量	67
1. 星等	67
2. 测光系统	68
3. 色指数和热改正(CI 和 BC)	69
4. 星际消光、星际红化和色余	70
§ 3.5 天体的谱分析	71
1. 天体物理光谱分析	72
2. 恒星的光谱分类	75
3. 河外特殊天体光谱分类	77
§ 3.6 射电天文方法	79
1. 射电天文的早期发展和成就	79
2. 射电望远镜	80
3. 射电天文测量	83
§ 3.7 空间天文方法	84
1. 红外天文卫星(IRAS)和国际紫外探险者(IUE)	85
2. X 射线天文和 γ 射线天文观测	86
3. 哈勃空间望远镜(HST)	87
§ 3.8 天体的距离	89
1. 视差	89
2. 分光视差法	91
3. 威尔逊-巴普法	91
4. 星群视差法	92

5. 主星序重叠法	92
6. 变星测距	92
7. 谱线红移和哈勃定律	93
§ 3.9 恒星的大小	94
§ 3.10 天体的质量	96
1. 恒星质量的测定	97
2. 星系质量的测定	100
3. 星系团的质量	103
§ 3.11 天体的年龄和宇宙的年龄	104
1. 赫罗图法	105
2. 核纪年法(nucleocosmochronology)	105
3. 宇宙年龄	107
习题	107
第四章 太阳物理	109
§ 4.1 太阳概述	110
1. 太阳的质量和半径	110
2. 太阳常量和太阳光度	111
3. 太阳大气分层	111
4. 太阳作为一颗恒星的基本参量	111
§ 4.2 太阳的结构:内部和光球	112
1. 太阳的内部	114
2. 太阳中微子问题	119
3. 光球	121
4. 米粒组织和振荡	124
§ 4.3 等离子体物理和磁流体力学基本原理	125
1. 等离子体的特征	125
2. 粒子的轨道理论	127
3. 磁流体力学基础	128
4. 太阳磁发电机理论	131
§ 4.4 太阳活动	133
1. 太阳活动和磁场	133
2. 活动区	134
3. 太阳黑子	135
4. 耀斑	137
§ 4.5 日地关系	146
1. 缓变型太阳活动及其影响	147
2. 爆发型太阳活动及其影响	148

3. 空间天气学	149
习题	151
第五章 恒星的结构和演化	153
§ 5.1 恒星的观测特性	154
§ 5.2 星团和赫罗图	155
1. 星团	155
2. 星协	156
3. 赫罗图	157
4. 星团的赫罗图	159
§ 5.3 恒星演化概述	162
1. 恒星演化进程概貌	162
2. 恒星的最后归宿	164
§ 5.4 恒星演化的时标	165
1. 自由下落时标	165
2. 开尔文-亥姆霍兹(K-H)时标	166
3. 爱因斯坦时标	166
§ 5.5 恒星形成和早期演化	167
1. 物质凝聚和恒星形成	167
2. 动力学方程线性化和金斯判据	168
3. 旋转的影响	170
4. 孤立星云的坍缩	171
5. 磁场的影响	172
6. 赫罗图中的林忠四郎线	172
§ 5.6 恒星结构的基本方程	175
§ 5.7 恒星内部物理状态	178
1. 辐射传能	178
2. 对流传能	180
3. 物态方程	182
4. 不透明度	183
5. 能源	187
§ 5.8 各种质量恒星的演化	193
1. 理论 H-R 图	193
2. 主序星的特性	194
3. 低质量星的演化	196
4. 大质量星的演化	199
§ 5.9 恒星演化的重点问题	203
1. 球状星团的高龄	203

2. 褐矮星和破碎与凝聚过程的极限	204
3. M 型星的质量损失 (mass loss)	205
4. 蓝超巨星的 CNO 和超新星的前身星	205
5. 银心中恒星的性质	205
6. 类星体和活动星系核 (AGN) 的化学组成	205
7. 星暴星系的恒星特征	206
8. 本星系群中的大质量星	206
9. 星系中恒星的核聚变和超新星类型	206
§ 5.10 超新星	207
1. 观测特性	208
2. II 型超新星	217
3. I 型超新星	221
4. 核合成	225
5. Ia 超新星在现代宇宙学中的应用	226
习题	235
第六章 致密星	238
§ 6.1 致密星的形成	238
§ 6.2 白矮星	240
1. 白矮星理论简史	240
2. 多方球	240
3. 钱德拉塞卡质量极限	243
4. 理论与观测的比较	244
§ 6.3 中子星	246
1. 历史	246
2. 物态方程和中子星模型	247
§ 6.4 脉冲星	250
1. 发现和证认为中子星	250
2. 观测特性	252
3. 脉冲星表和常用导出量	253
4. 色散量 (Dispersion measure)	256
5. 脉冲星磁偶极模型	257
6. 脉冲星的辐射机制	259
§ 6.5 黑洞	264
1. 爱因斯坦引力论	264
2. 黑洞	268
3. 黑洞热力学	269
4. 黑洞可发出辐射	270
§ 6.6 密近双星	271

1. 洛希瓣和密近双星分类	271
2. X 射线源的双星模型	273
3. X 射线双星的起源	274
§ 6.7 X 射线源和 X 射线爆	277
1. 研究简况	277
2. X 射线脉冲双星	278
3. X 射线爆	283
§ 6.8 γ 射线天文学和 γ 射线爆	285
1. γ 射线天文学	285
2. γ 射线爆 (Gamma - ray Burst)	287
§ 6.9 吸积	290
1. 致密天体的吸积盘	291
2. 吸积盘基本理论	292
习题	299
第七章 星际物质	302
§ 7.1 星际尘埃和星际气体的发现	303
§ 7.2 分子云和恒星形成	305
1. 分子云的特征	306
2. 太阳周围的分子云	307
3. 暗分子云	307
4. 分子云和年轻恒星在银河系内的分布	308
§ 7.3 气体星云在各波段的表现形式	311
1. 光学观测	311
2. 射电观测	314
3. 红外观测	315
4. 紫外、X 射线和 γ 射线观测	317
§ 7.4 星际气体的物理过程	318
1. 辐射转移	318
2. 电离和复合	319
3. 能量损失机制	321
§ 7.5 星际尘埃	324
1. 尘埃的光学特性	324
2. 尘埃的物理特性	326
§ 7.6 星际气体动力学过程	330
1. 星际空间中的激波	331
2. 星云的运动	334
§ 7.7 恒星和星际物质的相互作用	341

1. 恒星的死亡	341
2. 恒星的诞生	342
习题	346
第八章 银河系	348
§ 8.1 银河系概貌和基本参量	348
1. 观测证据	348
2. 银道坐标系	351
§ 8.2 恒星的分布	352
1. 恒星计数	352
2. 光度函数	355
3. 高光度星和星团	356
4. 星族 (Stellar population)	357
5. 银河系质量的估算	359
§ 8.3 银河系的自转和恒星运动	360
1. 恒星运动的组成部分	360
2. 恒星的运动	361
3. 本地静止标准 (LSR)	363
4. 银河系的自转	364
5. 银河系自转曲线和质量	369
§ 8.4 旋臂结构	371
§ 8.5 银核和银心	373
§ 8.6 银河系中心黑洞	377
§ 8.7 太阳系系外行星	380
习题	386
第九章 河外星系	389
§ 9.1 河外星系	389
1. 沙普利-柯蒂斯论争	390
2. 星系的分类	393
3. 星系的光度和光谱	399
4. 星系的非光学窗口	401
5. 光度函数	404
6. 星系的表面亮度	407
7. 星系类型的统计分析	409
8. 星系中的磁场	411
§ 9.2 星系的质量	413
1. 星系质量的确定	413