

天体物理方法

胡景耀 著

科学出版社

11111

天体物理方法

· · · ·

· · · ·

天体物理方法

胡景耀 著

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书综合论述了天体物理的研究手段和实测方法，同时也注意向读者介绍了本领域的最新发展动态。全书共分两篇，上篇五章较详细地叙述了天体物理研究中常用的各种仪器设备；下篇六章则以此为基础，着重讨论了天体物理的实测方法及数据的后续处理，构成全书的重点。虽然本书主要讨论的是地面光学波段的观测，但其所用的基本概念和一般方法，也同样是其他平台、波段实测的基础。本书读者对象为天文工作者，也可供物理工作者和天文爱好者阅读参考。

天体物理方法

胡景耀 著

责任编辑 夏墨英

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

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

*

1990年2月第一版 开本：787×1092 1/32

1990年2月第一次印刷 印张：11 1/8

印数：001—550 字数：251 000

ISBN 7-03-001360-3/P·243

定价：12.30元

前 言

天体物理学是研究和处理天体观测所取得的各类资料的一门科学。因此，天体物理专业的研究生应该掌握天体物理观测所必备的知识，其中包括观测所用的各种仪器、观测的方法和数据处理。

考虑到天体物理专业的研究生在光学方面有较强的知识背景，所以本书对于天文仪器的介绍主要是从天文角度出发，探讨根据课题的要求对于不同类型仪器的选择，而对于仪器原理的介绍则比较简单。本书的重点是放在天体物理观测的方法和数据处理方面，后者主要是介绍如何改正诸如地球大气对观测资料的“歪曲”，以及如何从观测资料中提取天体物理信息。系统地了解这方面的知识，对于天体物理专业的研究生和年轻的天文工作者都是很需要的。为此，本书还给出了较多的附图和附表，它们在观测和处理数据时是会有用的。

本书的内容基本局限于地面光学观测。这是考虑到：一、天体物理观测虽然已经是在全波段上进行，而且观测手段已扩展到空间，但是地面光学观测在天体物理观测中所占的比重仍然是最大的。二、由于地面光学观测历史悠久，其它观测所用的方法大多与它类似。因此，掌握了地面光学观测的基本方法后，对于了解其它波段的观测方法将是很有用的。三、我社出版的《射电天文技术方法》一书已经介绍有关射电方面的内容，在此毋须重复。

本书是在近年来为科学院研究生院的研究生讲授《天体物理方法》课的讲义基础上写成。在撰写此书的过程中，王绶

琯先生、北京天文台红外组的同志们,尤其是邢张帆同志,给予我热情帮助和支持,在此谨向他们致以衷心的感谢。

作者

1988年3月

目 录

| | |
|------------------------------------|---|
| 绪论 天体物理的研究方法 | 1 |
| § 1 天体物理研究中观测工作的地位及其和理论工作的关系 | 1 |
| § 2 电磁波——天体物理信息的载体 | 3 |
| § 3 地球大气对天体电磁辐射的限制 | 5 |
| § 4 天体物理方法的基本内容 | 5 |

第一篇 天体物理观测仪器

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 概述 | 7 |
| § 1.1 观测仪器的组成..... | 7 |
| § 1.2 作为观测设备的人眼(视觉系统)..... | 8 |
| 第二章 望远镜 | 10 |
| § 2.1 望远镜的基本功能..... | 10 |
| § 2.2 望远镜的光学系统..... | 14 |
| § 2.3 望远镜的装置..... | 22 |
| § 2.4 未来的望远镜..... | 23 |
| 第三章 辐射分析器 | 27 |
| § 3.1 分析器的种类以及它们可以获取的天体物理信息..... | 27 |
| § 3.2 宽带测光仪器..... | 29 |
| § 3.3 作为色散元件的棱镜——物端棱镜和直视棱镜..... | 31 |

| | | |
|------------|-------------------------------|-----------|
| § 3.4 | 光栅一种有效的色散元件——定向光栅····· | 34 |
| § 3.5 | 天体物理观测中常用的光栅光谱仪····· | 38 |
| § 3.6 | F-P 干涉仪····· | 41 |
| § 3.7 | 干涉滤光片····· | 44 |
| § 3.8 | Michelson 干涉仪和 FTS····· | 45 |
| § 3.9 | 外差光谱仪····· | 47 |
| § 3.10 | 颜色滤光片····· | 47 |
| 第四章 | 辐射探测器····· | 49 |
| § 4.1 | 探测器的基本性能····· | 49 |
| § 4.2 | 照相底片····· | 53 |
| § 4.3 | 光电倍增管····· | 59 |
| § 4.4 | 固态探测器····· | 65 |
| § 4.5 | Digicon 和 I+ CCD····· | 71 |
| § 4.6 | 用于天文观测的探测器比较····· | 72 |
| 第五章 | 电信号处理和天体物理观测中的计算机····· | 73 |
| § 5.1 | 光子计数系统····· | 73 |
| § 5.2 | 模拟放大····· | 77 |
| § 5.3 | 模拟信号的数字化····· | 78 |
| § 5.4 | 脉冲计数的 DQE 优点····· | 78 |
| § 5.5 | 计算机····· | 80 |

第二篇 天体物理观测及其数据处理

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 第六章 | 天体物理研究所需要的主要观测数据····· | 81 |
| § 6.1 | 天体的位置····· | 81 |
| § 6.2 | 天体的空间运动····· | 84 |
| § 6.3 | 天体的物质分布、其所处的物理状态和内部 运动····· | 85 |
| § 6.4 | 天体的物理参数····· | 88 |

| | |
|---|-----|
| 第七章 天体的光度和颜色测量 | 92 |
| § 7.1 星等和颜色的定义..... | 92 |
| § 7.2 地球大气消光及其改正..... | 95 |
| § 7.3 <i>UBV</i> 国际系统 | 101 |
| § 7.4 <i>UBV</i> 系统的扩展 | 124 |
| § 7.5 窄带测光—— <i>uvby</i> 及 β 测光系统 | 127 |
| § 7.6 光电光度测量..... | 133 |
| § 7.7 照相光度测量..... | 141 |
| § 7.8 用 CCD 作恒星光度测量..... | 142 |
| 第八章 天体光谱的观测和处理 | 144 |
| § 8.1 恒星的光谱分类..... | 145 |
| § 8.2 谱线的证认..... | 157 |
| § 8.3 视向速度的测定..... | 162 |
| § 8.4 光谱观测条件的讨论..... | 170 |
| 第九章 天体的分光光度测量 | 173 |
| § 9.1 天体连续光谱的观测..... | 174 |
| § 9.2 谱线强度测量..... | 182 |
| § 9.3 谱线轮廓的测定及分析..... | 187 |
| § 9.4 从谱线轮廓分析可提取的天体物理信息..... | 193 |
| 第十章 天体的成像观测 | 201 |
| § 10.1 光学成像观测的一般问题 | 202 |
| § 10.2 消除大气湍流影响的成像观测——光斑干 涉测量术 | 211 |
| § 10.3 用干涉法得到高空间分辨率的观测 | 217 |
| § 10.4 掩星观测 | 224 |
| § 10.5 天文数字图像处理 | 226 |
| 第十一章 偏振观测的资料处理 | 234 |
| § 11.1 产生偏振的机制和 Stokes 参量..... | 234 |

| | |
|--|-----|
| § 11.2 偏振观测 | 235 |
| 附录 | 240 |
| I. 天体物理常数 | 240 |
| II. Schott 滤光片透过率曲线 | 242 |
| III. 全天标准场星 | 266 |
| IV. <i>UBV</i> 标准星团 | 271 |
| V. 赤道消光星对表 | 277 |
| VI. Fe-Ne 空阴极灯光谱图及波长表 | 296 |
| VII. 高色散光谱证认文献 | 300 |
| VIII. 视向速度标准星 | 303 |
| IX. <i>UBV</i> 测光的大气消光和系统归化的 FORTRAN 程序 | 308 |

绪论 天体物理的研究方法

§1 天体物理研究中观测工作的地位及其和理论工作的关系

在天体物理的研究中,人们常常是以观测为基础,并依据其它学科,主要是物理学的知识,通过建立一定的假说模型,来获得有关天体物理状态、其演化和宇宙结构的知识。

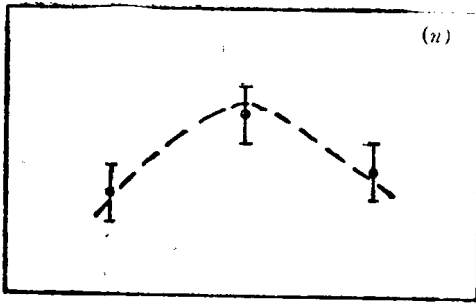


图 1 观测工作和理论工作的关系

如图 1 所示,观测结果实际上如同是 n 维空间中有一定误差范围的点,而理论解释则是要找出能符合这些点的曲面或曲线。若观测结果少且精度低,那么理论工作就容易做,因为通过它们的曲线或曲面任意性较大;若观测事实多而质量又很高,则要建立合理的理论模型就困难了。例如,我们对恒星的认识。在古代,由于不知道它们的距离,至多只能将其看成是天球上一些静止的发光点而已,所以有关它们的各种猜测都很容易自圆其说;但在有办法测定天体的距离,并发现它们都是像太阳一样发射着巨大的能量之后,要建立一个能很好地符合其光谱资料的恒星大气模型,就不是件十分容易的

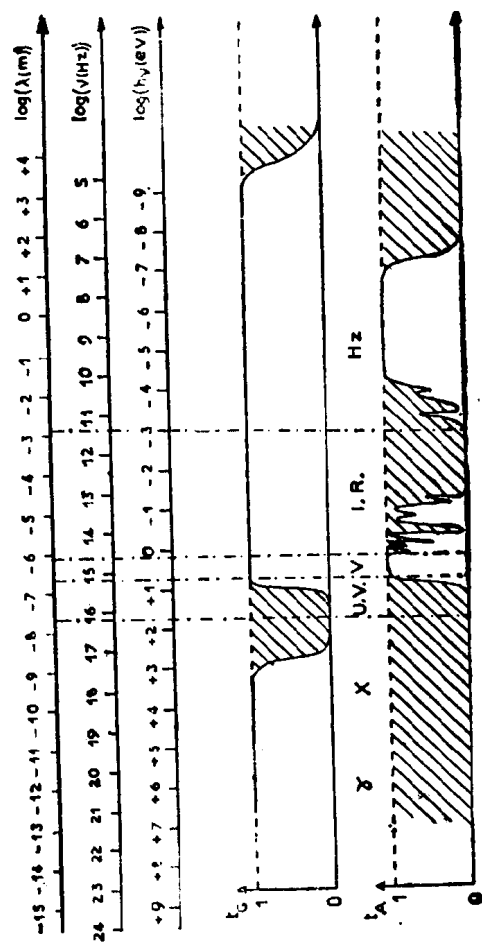


图2 电磁波谱及河内星际介质和地球大气的辐射透射率 t_G, t_A

事了。谚语“画鬼容易画人难”，正是这个道理。

观测工作是天体物理研究的基础，理论工作则是我们对天体认识的深化。一个优秀的理论除了能合理地解释现有的观测事实之外，还应能预见性地提出为了证实自身所需要的进一步观测。那些在观测的误差范围之内，修正他人理论的所谓理论工作，是没有任何价值的。

§ 2 电磁波——天体物理信息的载体

除去陨石、月面物质和宇宙射线，我们可以说，电磁波是获取天体物理信息的唯一通道。

图 2 所示为电磁波谱，同时还展示了银河系星际介质及地球大气的电磁辐射“窗口”。

我们常用波长、频率或光子能量来描写电磁波。在红外区，波数则是一个更为方便的量值。它们相互间的转换关系如下：

$$\lambda(\mu\text{m}) = 3 \times 10^4 / \nu(\text{Hz}),$$

$$\nu(\text{Hz}) = 3 \times 10^4 / \lambda(\mu\text{m}),$$

$$E(\text{eV}) = 1.24 / \lambda(\mu\text{m}),$$

$$N(\text{cm}^{-1}) = 10^4 / \lambda(\mu\text{m}).$$

在天体物理的研究中，最常见的物理量是天体辐射的分光流量密度 $f(\nu)$ 和 $f(\lambda)$ ，两者的关系是，

$$f(\nu)d\nu = f(\lambda)d\lambda,$$

即
$$f(\nu) = \frac{\lambda^2}{c} f(\lambda).$$

若频率单位为 Hz，波长单位为 μm ，则上式为

$$f(\nu) = \frac{\lambda^2}{3 \times 10^4} f(\lambda).$$

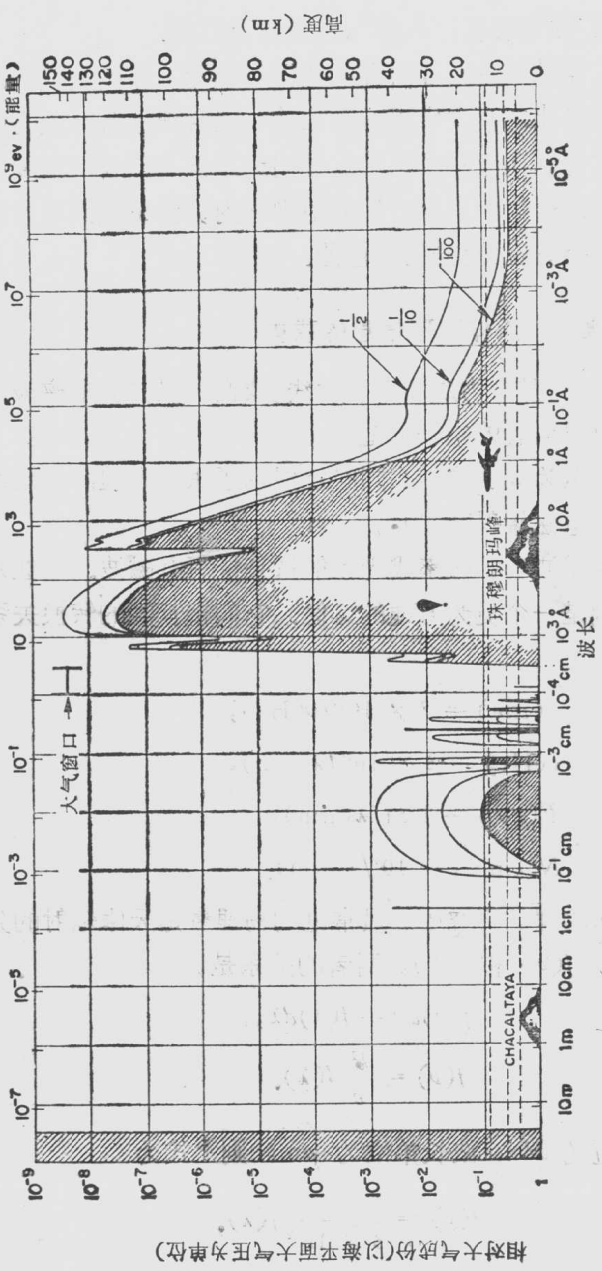


图3 大气对天体辐射的衰减
 实线表示高度和包含的大气，而它的透过率在图2中已标出。只有4000—10000 Å 处的电磁波几乎完全穿透大气。

§ 3 地球大气对天体电磁辐射的限制

由图 2 可见,地球大气对天体辐射并不完全透明,它仅有可见区、射电区等几个“窗口”。图 3 所示为地球表面不同高度处天体辐射的衰减情况。一般而言,地球大气的吸收效应随着观测平台的升高而减小,因而为了克服地球大气的消光作用,我们应尽可能地在高山、气球、飞机、火箭和卫星上进行观测。

地球大气除了吸收(包括真吸收和散射)天体辐射外,还会对其波前有破坏作用,产生诸如辐射的闪烁调制和视影(Seeing)圆面的形成等,所有这些都对天体物理的观测工作产生影响。

§ 4 天体物理方法的基本内容

基本内容包括(1)观测仪器和(2)观测方法及数据处理。

观测仪器用于收集天体辐射和提取物理信息,并尽力使观测工作精确化和自动化。本书第一篇向读者介绍了天体物理研究中各类常用的观测设备。

天体的辐射在其传播过程中,常常为星际介质及地球大气所“歪曲”,因此为了获取有用的天体信息,不但要使用正确的观测方法,还必须有一套合理的数据处理方法,以“复原”天体的物理信息。本书第二篇对这些方法做了分门别类地详述。当然,在第二篇中还包括了一些如何进行观测和如何从观测数据中提取天体物理信息的方法的介绍。



第一篇 天体物理观测仪器

第一章 概 述

§ 1.1 观测仪器的组成

由于天体大都离我们异常地遥远¹⁾，所以，尽管它们本身可能是极强的辐射源，但在地面上，我们却只能接收到非常微弱的电磁辐射。一个视星等为 m 的天体，在光学波段，波长区间 $\Delta\lambda(\text{\AA})$ 之内，它每秒钟投射在单位接收面 (1cm^2) 上的光子数 n 近似满足下式：

$$\lg n = -0.4m + \lg(\Delta\lambda) + 3.0. \quad (1.1)$$

一个普通的探测器，其接收面大约为 1cm^2 。若用它直接探测 $+$ 等星²⁾，那么每秒钟所能接收到的光学波段 ($\Delta\lambda = 7000\text{\AA} - 4000\text{\AA}$) 的光子数也不过数百个。这表明，对于较暗的天体，直接探测是不现实的；特别是当测量准单色辐射流量密度时，由于 $\Delta\lambda$ 较小，直接的探测已成为不可能。例如，一颗 20 等的星，平均说来，我们需要等上一整天，才能在 1\AA 的波长间隔内，接收到它的一个光子。有鉴于此，天体物理的观测必须使用威力巨大的辐射收集器，这就是天文望远镜。在下一章，我们将会看到，望远镜除了辐射收集的功能之外，还具有另外一个重要的功能——对天体成像，它能把来自天球不同方向的天体辐射，汇聚在其焦面的不同位置上。

被望远镜所收集的光子流是“混杂”的，包含有各种偏振

1) 太阳系天体除外。

2) $m = 10$ ，这是不太暗的天体。