

430252

恒星光球的 观测和分析

D. F. 格雷 著

科学出版社

恒星光球的观测和分析

D. F. 格雷 著

黄磷 李宗伟 蒋世仰

何香涛 蔡贤德 译

科学出版社

1981

内 容 简 介

本书从观测方面阐述恒星光球的基本知识,重点阐述恒星连续谱和吸收线的研究方法,包括理论模型的计算和观测技术及资料分析。书中广泛应用傅里叶变换作为处理观测资料的基本手段。本书共分十八章,广征博引,插图丰富,有助于读者进一步理解本书内容。本书可作为天体物理专业教材,也可供天文工作者、物理工作者参考。

D. F. Gray

THE OBSERVATION AND ANALYSIS OF STELLAR PHOTOSPHERES

John Wiley, 1976

恒星光球的观测和分析

D. F. 格雷 著

黄磷 李宗伟 蒋世仰

何香涛 蔡贤德 译

责任编辑 夏墨英

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

*

1981年12月第一版 开本:787×1092 1/32

1981年12月第一次印刷 印张:16

印数:0001—1,300 字数:360,000

统一书号:13031·1763

本社书号:2401·13—5

定价:3.25元

译 者 的 话

D. F. 格雷著的《恒星光球的观测和分析》，是一部论述恒星大气基本知识的教科书。它与其他教科书相比，无论在写作目的，叙述方式或取材上，都有很大的不同。首先，本书的着重点是在恒星大气的观测方面，它第一次系统地详细介绍了与恒星光球的观测和分析有关的各种问题，包括仪器原理、观测技术、资料的分析方法和观测结果的讨论等。这些内容大多是其他有关恒星大气的专著所忽视的。其中特别是通过观测资料的分析获取恒星物理性质的许多重要内容，是第一次以书的形式有系统地加以讲述的。因此，本书是对已有著作的重要补充。

本书的第二个特点是大量应用傅里叶变换，这是近年来在观测天体物理学中显示强大生命力的分析技术；特别是在观测光谱学方面，它已成为进行创造性工作所必须掌握的工具。本书将它成功地运用于从数据采集直到资料的最后处理等观测和分析过程，从而使读者有机会接触到有关内容的最新结果。作者在第二章专门介绍了傅里叶变换的基本概念和定理，它将有助于读者学习本书。

恒星大气的研究内容是异常广泛的，但本书并未试图涉及本领域的一切方面，而是集中讨论了恒星大气最基本的部分——正常星的光球，不涉及色球和冕，更不涉及变星和不稳定星。这样集中取材，使作者有可能比较深入地讨论对正常星来说最为重要的连续谱和吸收线；而且在突出恒星光球的观测和分析时，没有忽视介绍必要的理论。书中相当详细地

讨论了光球模型的构造和吸收线性质的理论知识，并把它与观测较好地结合起来，使读者可以从理论模型计算和观测资料分析这两个方面，掌握研究恒星光谱的基本方法。正常星光球的理论和观测结果，是恒星大气研究中最成熟的部分。因此，本书介绍的方法和结论，即使在当前天体物理学迅猛发展的形势下，也不致很快过时。

本书内容不深，容易读懂，可作为大学教材，也可作为科研工作者的参考读物；书中所引文献相当全面，对希望在学完本书后继续在某些问题上进一步钻研的读者有指导意义；书中所附大量插图，有助于读者对所论题目作直观的理解。因此，我们把它译成中文，以满足国内读者的需要。

在译校本书的过程中，发现原书有许多数据和公式不对或叙述欠妥之处，其中有些肯定是排印上的错误，有些则显然是作者一时疏忽所造成。对于这类问题，凡是发现了的，我们都作了相应的改正，必要时还加了译者注或校者注。原书各章末的参考文献，是按文献作者姓氏字母和发表年代的顺序编排的，我们在中译本中仍然保持这种编排方式不变；为了便于在阅读正文时查找文献，我们对译文中的外国人名也保留原书中的英文名。我们估计，在目前我国读者掌握英文的人越来越多的情况下，这样做是会受到读者欢迎的。

本书译文校订工作由黄磷同志承担，何香涛、蒋世仰两位同志也参加了个别章节的校订。在译校过程中，我们曾多次与沈良照、张阳春等同志进行讨论，使我们得益非浅，在此表示衷心感谢。关于译文中的缺点和错误，欢迎读者批评指正。

译校者

1980年1月28日于北京

原 序

恒星发来的光,使我们可以了解恒星的奇异性质.星光来自叫做大气的恒星外层.一颗恒星的完整的大气可以广义地理解为从恒星内部到星际物质的过渡区.然而,几乎全部可见区的恒星光谱来自称为光球的相当薄的部分.显然,我们不能把光球与大气相邻的部分截然分开,但实际上对大多数恒星而言,光球却是我们能够对之进行广泛研究的唯一区域.正是由于这一原因,光球将是本书讨论的中心题目.

过去十年间出版了几本论述恒星大气理论的书,它们大多数写得很好.本书所阐述的内容大部分是这些书所忽视的.一个时期以来,我的学生和我本人都感到需要有一本书从恒星大气的观测和分析这一角度介绍本领域的基础知识.

我认为,一个课题的入门书应该写得使以前未曾研究过这一课题的读者能够看懂,因而内容应尽可能以简明而直观的方式加以论述.傅里叶变换(第二章)是有助于实现这一目标的通用课题,因而我们很自然地把它应用于数据采集、光学仪器、仪器轮廓、线吸收系数、速度场和谱线分析等方面.此外,我还挑选并发挥了一些我认为对恒星观测者和试图理解观测现象的人是很重要的课题;同时,我力图用最不复杂的方式来叙述这些材料.“复杂”一词是指那些难以理解的事物,因而复杂事物通常是不宜选来供初学者学习的.我们不必追求可以想象的最普遍情形,而应探寻那些最简单然而有用的事例(这是最少假设原理的一种表述方式).

每一个主要论题均从初等水平入手,然后对此论题加以

讨论,最后指出较高深的文献,读者不难从这本书扩充到感兴趣的领域。考虑到天体物理学是一个异常活跃的学科,我在举例时总是用文献(或用其他方式)来指明材料的来源。在未指明出处时,所用资料则是我本人的观测或计算。一般说来,选择的参考文献对所讨论的课题都是很好的例证,或者它们具有基本的持久的适用性。我还偏重于引用文献中的开创性工作以及学生们较易读到的评论文章和刊物。参考文献列在每章之末,按作者姓氏和发表日期编排。

前两章是预备材料,主要内容从讨论分光工具的第三章开始。一般说来是先介绍连续光谱的知识,然后再讲较艰深的线光谱。第十四章(化学分析)到第十八章,完全是关于分析和推论的材料。后面几章与前面各章是紧密联系的。

本书可选作为期一年课程的教科书,并可供较高水平的读者参考。

D. F. 格雷

1975年4月于加拿大安大略省伦敦

目 录

第一章 预备知识	1
1.1 什么是恒星大气?	1
1.2 光谱型	3
1.3 星等和色指数	7
1.4 气体定律	10
1.5 速度分布	10
1.6 热动平衡条件下原子的激发和电离	12
1.7 一些重要的图表和资料	15
第二章 傅里叶变换	19
2.1 定义	19
2.2 一些常用变换	23
2.3 数据抽样和数据窗	30
2.4 卷积	31
2.5 与 δ 函数的卷积	33
2.6 高斯函数和色散轮廓的卷积	34
2.7 几个有用的定理	34
2.8 分辨定理	36
2.9 抽样和混淆	38
2.10 变换的数值计算	41
2.11 傅里叶域之间的噪声传递	43
第三章 分光工具	47
3.1 望远镜	47
3.2 摄谱仪——一些普遍关系	49
3.3 衍射光栅	52
3.4 定向反射光栅	59

3.5	定向波长的真值	64
3.6	荫蔽效应	66
3.7	光栅的鬼线、卫线和异常	67
3.8	摄谱仪狭缝放大率和光谱纯度	72
3.9	干涉仪	73
第四章	探测器	79
4.1	什么是照相底片?	79
4.2	光电倍增管	80
4.3	量子效率和分光响应	82
4.4	探测器的暗输出	86
4.5	线性和照相底片	89
4.6	光电倍增管的线性和其他特性	92
4.7	空间分辨率	96
4.8	噪声	99
4.9	其他的探测器	102
第五章	辐射场	105
5.1	比强度	105
5.2	流量	107
5.3	K 积分和辐射压力	110
5.4	吸收系数和光学深度	111
5.5	发射系数和源函数	112
5.6	纯各向同性散射	113
5.7	纯吸收	114
5.8	爱因斯坦系数	115
第六章	黑体及其辐射	117
6.1	经验关系式	118
6.2	普朗克辐射定律	120
6.3	黑体辐射的计算	123
6.4	作为辐射标准的黑体	125
第七章	辐射传能和对流传能	128

7.1	转移方程及其形式解	128
7.2	各种几何条件下的转移方程	130
7.3	辐射流积分	133
7.4	平均辐射强度和 K 积分	136
7.5	指数积分	136
7.6	辐射平衡	138
7.7	灰色大气情形	140
7.8	对流传能	145
7.9	产生对流的条件	146
第八章	连续吸收系数	150
8.1	连续吸收的来源	150
8.2	受激发射因子	151
8.3	中性氢	152
8.4	负氢离子	158
8.5	含氢的其他连续吸收体	161
8.6	负氦离子	162
8.7	金属	163
8.8	散射	165
8.9	其他不透明源	166
8.10	总吸收系数	166
第九章	光球模型	170
9.1	流体静力学方程	171
9.2	太阳中的温度分布	174
9.3	其他恒星中的温度分布	178
9.4	$P_g - P_g - T$ 关系	184
9.5	模型计算的完成	186
9.6	几何深度标	187
9.7	连续谱的计算	188
9.8	模型的特性: 压力关系	191
9.9	化学组成的影响	195

9.10	随温度的变化	199
9.11	光球模型表	200
9.12	小结	203
第十章	恒星的连续谱及其测量	206
10.1	扫描仪和多色仪	206
10.2	连续谱的观测	212
10.3	绝对定标	214
10.4	测光标准星	218
10.5	实测的连续谱	219
10.6	由光球模型得出的连续谱	220
10.7	谱线的吸收	223
10.8	从模型与从实测所得恒星连续谱的比较	227
10.9	热流量	229
第十一章	线吸收系数	235
11.1	原子的自然吸收	236
11.2	自然致宽的阻尼常数	241
11.3	压力致宽	244
11.4	撞击近似	246
11.5	τ_{λ} 的理论计算	250
11.6	τ_{λ} 的数值计算	252
11.7	撞击模型的局限性	256
11.8	氢线的离子致宽	258
11.9	电子对氢线的附加致宽	264
11.10	热运动致宽	266
11.11	综合的吸收系数	267
11.12	谱线的质量吸收系数	272
11.13	其他致宽机制	274
第十二章	谱线的测量	277
12.1	折轴光栅分光仪	278
12.2	照相机	284

12.3	谱线的光电测量	283
12.4	仪器轮廓	285
12.5	重建过程	288
12.6	噪声及其干扰	289
12.7	傅里叶噪声滤子	292
12.8	离散傅里叶变换	294
12.9	其他的方法	297
12.10	干涉仪的仪器轮廓	297
12.11	δ 函数谱	298
12.12	仪器轮廓的测量	300
12.13	杂散光	301
12.14	杂散光的测量	305
12.15	杂散光的改正	307
12.16	低分辨率的谱线测量	309
12.17	傅里叶域的选择	312
12.18	分光光度标准星	313
第十三章	恒星光谱线的性质	318
13.1	谱线的转移方程	318
13.2	谱线的源函数	319
13.3	能级的粒子数	322
13.4	S_{ν} 的其他形式	324
13.5	局部热动平衡条件下谱线轮廓的计算	325
13.6	谱线的贡献函数和形成深度	328
13.7	谱线强度的变化	333
13.8	温度对谱线强度的影响	334
13.9	压力对谱线强度的影响	339
13.10	丰富度对谱线强度的影响	345
13.11	理论与观测的比较	351
第十四章	化学分析	357
14.1	我们能测定什么呢?	358

14.2	生长曲线: 标度关系	359
14.3	生长曲线: 其他特性	363
14.4	理论模型的生长曲线: 历史回顾	368
14.5	用生长曲线求丰富度	369
14.6	相对分析	372
14.7	综合方法	373
14.8	太阳的化学组成	375
14.9	恒星的丰富度	377
14.10	几点说明	379
第十五章 恒星的温度和半径的测量		383
15.1	斑纹光度测量	384
15.2	干涉仪	386
15.3	月掩星	387
15.4	食双星	387
15.5	表面亮度法	388
15.6	热流量法	389
15.7	由绝对流量求半径	391
15.8	由绝对流量求有效温度	392
15.9	由光球模型求有效温度	395
15.10	帕邢连续谱	396
15.11	巴耳末跳变	398
15.12	氢线	399
15.13	作为温度指示物的金属线	400
第十六章 光球压力的测量		404
16.1	作为压力指示物的连续谱	405
16.2	氢线	406
16.3	其他强谱线	407
16.4	较弱的谱线	410
16.5	重力-温度图	411
16.6	氦丰富度	413

16.7	由目视双星得到的表面重力	413
16.8	食双星的有关数据	414
16.9	表面重力沿主星序的变化	417
第十七章	恒星的自转	421
17.1	转致轮廓	423
17.2	自转的测量	429
17.3	转致轮廓的傅里叶分析	432
17.4	自转轴投影的统计改正	436
17.5	观测的主序星的自转	437
17.6	观测的主星序之上的星的自转	438
17.7	疏散星团中恒星的自转	439
17.8	快速自转	440
17.9	双星子星的自转	442
17.10	结论	443
第十八章	恒星光球中的湍流	446
18.1	由速度到光谱	448
18.2	谱线计算中的微观湍流	449
18.3	谱线计算中的宏观湍流	452
18.4	湍流对谱线轮廓的影响	454
18.5	测量湍流的技术	459
18.6	宏观湍流的傅里叶分析	463
18.7	微观湍流的傅里叶分析	468
18.8	ξ 在赫罗图中的表现变化	470
18.9	微观湍流与深度的关系和各向异性	472
18.10	宏观湍流的观测	474
18.11	短评	476
结语		480
附录 A	常用常数表	481
附录 B	$\text{sinc}\pi\sigma$ 表	483
附录 C	快速傅里叶变换的 FORTRAN 程序	484

附录 D	电离电势和配分函数.....	486
附录 E	太阳光谱中的最强线.....	492
附录 F	随机误差的计算.....	494

第一章 预备知识

我们研究恒星光谱,包括线光谱和连续光谱,是因为我们对恒星大气的性质感兴趣。同时,大气的行为是受其中气体密度和经它所放出的能量支配的,这些又取决于恒星的质量和年龄,并在较少程度上取决于化学组成和角动量。恒星大气是恒星物理的观测和其它部分之间的连接环节。由此产生了两种研究目的。一种是研究大气本身,另一种则是利用大气作为工具,把我们的观测结果和其它所感兴趣的参量联系起来。本书内容对于持有这两种目的的学生都是有益的。

这一章的内容是一些预备知识,是为了读者便于了解后面的叙述而收集在一起的。水平较高的读者完全可以跳过此章而直接阅读第二章。天文学的初学者可以在几本普通天文学教程中找到另外的预备知识,例如 Smith 和 Jacobs (1973), Abell (1969), Menzel (1970) 和 McLaughlin (1961) 等人的著作。

1.1 什么是恒星大气?

如在序中所说的,恒星大气的广义概念是从恒星内部到星际物质的过渡区。通过对太阳上观测到的运动温度随高度变化的讨论,我们可以定量地来描述恒星大气。图 1.1 是根据 Vernazza 等人(1973)的资料而得出的太阳温度变化曲线。图中标出了次光球、光球、色球和日冕。对于恒星大气的观测,有一个概念是非常重要的:可见恒星光谱的大部分来自叫做“光球”的区域。相对地讲,正是因为这个事实,人们对于光球

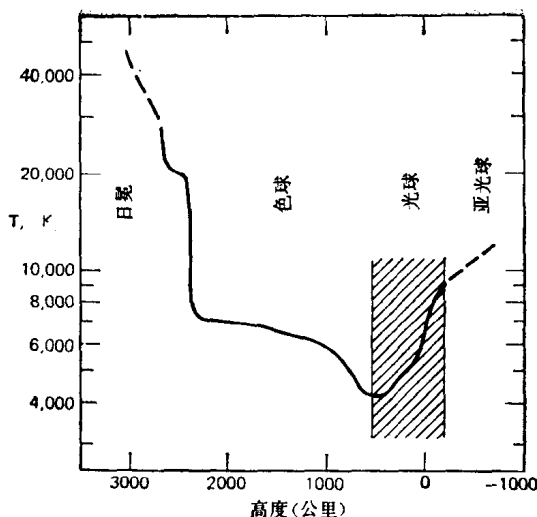


图 1.1 太阳外层中温度随几何深度(公里)的分布。太阳的中心在右边,斜线区域表示光球的范围(取自 Vernazza 等人, 1973)

上面或下面的恒星大气了解得非常少。

如图 1.1 所示,太阳光球层,厚约 10^3 公里。其它恒星光球的几何厚度与由下式定义的表面重力成反比*

$$g = g_{\odot} \frac{M}{R^2} \quad (1.1)$$

其中 $g_{\odot}$ 是太阳的表面重力(2.738×10^4 厘米/秒²),恒星的质量 M 和半径 R 都是以太阳的质量和半径作为单位。光球的厚度还取决于组成光球的气体的不透明度。

对大气性质影响最大的第二个物理变量是大气的“平均”温度。典型地说,温度自光球的底部到顶部下降一倍多,习惯上不是选择某个深度的温度来表征这一“平均”温度参量,而

* 恒星的表面重力通常用恒星表面上单位质量所受的重力来表示,它的数值等于表面重力加速度,因而习惯上就用表面重力加速度 g 来表征这个量——校者注。