

宁静太阳

〔美〕 E. G. 吉布森 著



科学出版社

1782

宁 静 太 阳

〔美〕 E. G. 吉布森 著

林元章 史忠先 译
王家龙 曹昌华

科 学 出 版 社

1981

内 容 简 介

本书是曾参加美国“天空实验室”飞行任务的美国天文学家吉布森为培训宇航员而编写的一本太阳物理学基础教程。作者力求从物理学角度去理解和解释所观测到的各种太阳现象。书中着重讨论宁静太阳现象,探讨其物理本质和机制。全书共分六章,前两章叙述太阳的一般性质,后四章分别对太阳内部、光球、色球和日冕作了比较深刻的论述。本书可供天文、地球物理、物理等专业高年级大学生和工作人员阅读参考。

E. G. Gibson

THE QUIET SUN

Scientific and Technical Information Office, NASA, 1973

宁 静 太 阳

〔美〕E. G. 吉布森 著

林元章 史忠先 译

王家龙 曹昌华 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6月第一版 开本:787×1092 1/16

1981年6月第一次印刷 印张:16

印数:0001—2,150 字数:351,000

统一书号:13031·1563

本社书号:2146·13—5

定价:2.50元

译 者 前 言

美国天文学家和宇宙航员吉布森 (E. G. Gibson) 所著的《宁静太阳》(The Quiet Sun) 一书,基本上只限于对宁静太阳进行详细论述,较少涉及活动太阳内容。然而宁静太阳是整个太阳的基本框架,是理解所有太阳现象的出发点,因而是太阳物理学的基础部分。

本书与一般常见的论述太阳的书籍有所不同,它不是用大量篇幅描述各种观测现象的形态,而是更侧重于探讨各种现象的物理本质及其机制,并力求作出定量论述。正如本书序言作者美国著名天文学家戈德堡 (L. Goldberg) 所指出的,本书是从物理学家的观点,企图在理论物理框架内去寻求了解和解释太阳的观测现象。尤其难得的是,本书许多图表也很有特色,一目了然,有助于对本书内容的理解。而对于一些重要的现象则提供了高质量的照片。因此,这是一本比较好的适用于大学生和研究生用的太阳物理学教程。

本书名为《宁静太阳》,是与“活动太阳”相对照的。原书中的错误凡已发现的,我们已予更正。

本书翻译分工如下:序言和第1—3章由林元章译,第四章由曹昌华译,第五章由史忠先译,第六章由王家龙译。最后,林元章对全稿进行了校订。限于译者水平,译文不当之处,欢迎读者批评指正。

序 言

1942年,艾德伦(Edlen)发现日冕具有很高温度。这一发现从两个方面赋予太阳物理学以新的生命力:一方面是提出了许多新的基本问题,另一方面促进了为解决这些问题所必需的理论和观测技术的发展。宁静太阳领域里最重要的未解决之谜,仍然是要解释为什么太阳的温度自光球的4500K向外增加到日冕的2,000,000K,而不违背热力学第一定律。在我看来,如果我们现在正接近于揭开这一谜底,这在很大程度上是由于理论工作者已能利用从地面、气球、火箭以及轨道太阳观测站*上用太阳仪器对超过36个倍频程的太阳光谱进行的测量结果,它们的波长从 γ 射线直到长射电波段。

在所有波段上对宁静太阳进行研究将在1973年春夏之间达到高潮。那时全世界许多天文台的太阳天文学家将与国家宇航局“天空实验室”飞船上的实验者一起,共同执行一项旨在解决日冕加热问题和其他问题的互相协调的观测计划。

本书作者吉布森(E. G. Gibson)就是这一空前的国际科学合作探险中的主角之一,他和其他八位宇航员已被选定参加“天空实验室”的航行。作为这次航行任务准备的项目之一,宇航员曾集中进行了学习和训练,以便熟悉这次航行的科学目标,熟悉飞船上各种精巧仪器的操作,以及熟悉太阳观测计划中的种种复杂性。这一训练计划显然需要一本现代的包括最新知识的太阳物理学教程;鉴于当时没有这样的可用教材,吉布森博士就亲自动手编写。本书的写法是从物理学家的观点,企图在理论物理学框架内去寻求了解和解释太阳的观测现象。这个方针与写这本书的最初宗旨相结合,使得本书成为太阳物理文献中独特和可贵的一部著作,成为大学生和研究生的优秀教程。

这本书体现了吉布森博士及其宇航员同事们对待“天空实验室”航行科学目标的严谨态度和献身精神。我作为实验者之一,借此机会对于他们的合作表示感谢和赞赏。

国立基特峰天文台台长

利奥·戈德堡(Leo Goldberg) 1972年3月

* 轨道太阳观测站是指专门用于观测太阳的人造卫星——译者注

符 号

A	面积
$A(r)$	临边昏暗函数
A_{rs}	单位数密度中由自发发射从 r 能态向 s 能态的跃迁率
$A_{\infty 1}^s$	单位数密度的离子和电子中, 第 s 电离级的一个离子由光致复合从电离态变成基态的复合率
a	加速度
a, b	日冕扁度参数
a_0	玻尔半径
B, B	磁场
$B(r)$	临边昏暗函数
$B_{\odot}$	太阳总亮度
B_i	入射电磁波的磁场
B_r, B_{ϕ}	分别表示径向和平经方向的磁场
B_s	散射电磁波的磁场
B_{λ}	普朗克函数(每单位波长间隔)
B_{ν}	普朗克函数(每单位频率间隔)
C	常数
CaH	一次电离钙的 H 线, 波长为 $3968 \text{ \AA}$
CaK	一次电离钙的 K 线, 波长为 $3934 \text{ \AA}$
CF	观测者的改正因子
$C(\Delta t)$	太阳速度场的时间相关函数
C_p	定压比热
C_{rs}	单位数密度的离子和电子中由碰撞从 r 能态向 s 能态的跃迁率
C_{∞}^s	单位数密度的离子和电子中, 第 s 电离级的一个离子从基态变成电离态的跃迁率
c	真空中的光速
D_e	日冕等光强线的平均赤道直径
D_p	日冕等光强线的平均极向直径
E	发射日冕强度
E_i	入射电磁波的电场
E_s	s 能态的能量
E_s	散射电磁波的电场
e	电子电荷
e_r	垂直于太阳边缘向外的单位矢量

$\mathbf{e}_t$	与太阳边缘相切的单位矢量(按反时针方向)
$\mathbf{e}_\phi$	平经方向的单位矢量
F	F 冕强度
F_m	单位体积的磁力
f	原子的振子强度(第 4 章)
f	频率, 射电波段(第 6 章)
f	后随黑子(第 2 章)
f_m	迴旋频率
f_p	等离子体频率
G	引力常数
g	单位质量的重力
g_s	s 能态的统计权重
$g_\odot$	在 $1R_\odot$ 处的太阳重力加速度
H	大气标高
H	氢
H_α	氢的巴尔末系 α 线(波长 6563 Å)
H_β	氢的巴尔末系 β 线(波长 4861 Å)
h	普朗克常数
h	太阳大气中从 $\tau_{5000\lambda} = 1$ 处起算的高度
I	电流
$\bar{I}$	对所有波长平均的辐射强度
IS	单个黑子的数目
I_λ, I_λ	波长为 λ 处的辐射强度
I_λ^0	I_λ 的初始值
J	总角量子数
$\mathbf{J}$	电流密度
$\bar{J}$	对所有波长和所有方向平均的辐射强度
$\langle J \rangle$	J_λ 对谱线吸收系数平均
J_λ	对所有方向平均的辐射强度
j_λ	单位质量、单位立体角和单位波长间隔的辐射能发射率
j_λ^c	谱线附近连续谱中的 j_λ
j_λ^l	谱线中的 j_λ
K	K 冕强度
K_r	K 冕在径向的偏振
K_t	K 冕在切向的偏振
K_λ	在波长 λ 处的 K 冕强度
K_λ^c	谱线附近连续谱中的 K_λ
K_λ^l	谱线中的 K_λ
k	玻耳兹曼常数

L	特征长度
$L(r)$	在半径为 r 处的光度
$L_{\odot}$	太阳总光度
l	角量子数
l_c	日冕光中相对于连续谱的线心强度
l_p	光球光中相对于连续谱的线心强度
L_{α}	莱曼 α 线(波长 1216 Å)
L_{β}	莱曼 β 线(波长 1026 Å)
M	半径为 r 的太阳球体内部的质量
M_J	总磁量子数
$M_{\odot}$	太阳质量
m	磁量子数
m	粒子质量(见§ 4.6 节)
m_e	电子质量
m_H	氢原子质量
m_s	s 在任意选定轴向上的投影
m_l	l 在任意选定轴向上的投影
N	数密度
$\underline{N}$	沿视线方向单位截面积的气柱中的原子数目
NG	黑子群的数目
N_e	电子数密度
N_H	氢原子数密度
N_i	离子数密度
N_j	j 能态的数密度(j 为整数)
N_s	失去 s 个电子的原子的数密度
n	总量子数
$\mathbf{n}$	垂直于表面的单位矢量
$n_r, n_{\theta}, n_{\phi}$	分别对应于 r, θ 和 ϕ 的量子数
P_g	重力波振荡的周期
$P_r, P_{\theta}, P_{\phi}$	分别对应于 r, θ 和 ϕ 的线动量
p	压力
$\mathcal{P}$	前导黑子(第 2 章)
p_c	日心压力
p_d	流体动压力
p_m	磁压力
Q_{lu}	电子-原子碰撞截面
R	投影半径
R_m	磁雷诺数
R_{rs}	单位数密度中由吸收辐射而自 r 态向 s 态的跃迁率

$R_{\odot}$	太阳半径
r	半径
$\mathbf{r}$	位置矢径
r'	积分虚变量
S_1	辐射源函数
s	距离
T	温度
T_b	亮温度
T_c	日心温度
T_d	T_b 对整个日轮的平均值
T_e	电子温度
T^*	对于非局部热动平衡 (NLTE) 源函数定义的辐射温度
t	时间
UT	世界时
u_s	第 s 电离级的配分函数
u, v, w	直角坐标中的速度分量
V	速度
$\mathbf{V}$	宏观速度
V_A	阿尔文速度
$V_{快}$	快波速度
$V_{物}$	物质速度
V_0	初始速度
V_s	声速
$V_{慢}$	慢波速度
$V_{波}$	波前速度
V_g^{rms}	气体速度的均方根值
$V_{湍}^{rms}$	湍流速度的均方根值
W	等值宽度
X	氢元素按质量所占的百分数
X_{CN}	碳和氮元素合在一起按质量所占的百分数
x, y, z	直角坐标变量
Y	氦元素按质量所占的百分数
Z	重元素按质量所占的百分数
z	核电荷数
ZS	楚里士黑子数
α	入射电场方向与散射电磁波方向之间的夹角
α	在计算 $\epsilon_{ }$ 时采用的常数
β_1	发射标高的倒数
Γ	以太阳表面压力和温度为边界条件时的常数

γ	C_p 与 C_v 的比值
$\Delta\lambda_D$	谱线的多普勒宽度
$\Delta\lambda_M$	谱线塞曼分裂的波长裂距
$\Delta\lambda_N$	谱线的自然宽度
δ	流体相对于磁场的滑动距离
ε	单位质量的产能率
ε	日冕扁度指数(第 6 章)
ε_{cc}	碳循环反应中单位质量的产能率
ε_{pp}	质子-质子循环反应中单位质量的产能率
ε_M	磁矩与磁场的相互作用能
$\dot{\varepsilon}_{\text{噪}}$	单位体积的声波噪声的产能率
η	电子相对于初始位置的位移
η_1	比值 K_1^2/K_2^2
θ	极角
κ	不透明度
$\bar{\kappa}$	对整个流量平均的不透明度
κ_ρ	辐射的吸收系数
κ_λ	在波长 λ 处的吸收系数
Λ	能级扰动参数
λ	波长
λ_0	线心波长
λ_p	对应于等离子体频率的波长
μ	折射指数(第 6 章)
μ	平均原子量
μ	磁矩
μ_0	真空中的磁导率
μ_x	完全电离氢的平均原子量
μ_y	完全电离氦的平均原子量
μ_z	完全电离重元素的平均原子量
ν	频率
ξ	$R/R_\odot$
ρ	密度
ρ	从散射中心至观测者的矢量
ρ_c	日心密度
ΣK_p	地磁活动指数
σ	斯忒藩-玻耳兹曼常数
σ	电导率(第 5 章)
σ_1, σ_2, π	谱线塞曼分裂的子线
σ_T	汤姆孙散射截面

τ_λ	波长 λ 处的光学深度
τ^0	τ 的初始值
Φ	向上的噪声能流
ϕ	平经角
χ_s	去掉 s 个电子的原子的电离电位
Ψ	单位球面度的散射辐射功率
Q	单位太阳风质量的角动量损失
ω	太阳自转速率
ω	方向
ω_c	临界频率

下角标:

ad	绝热
at	大气
0	初始值
rad	辐射

上角标:

c	表示谱线附近的连续光谱
l	表示吸收线
0	初始值

单位*

$\text{\AA}$	埃
A	安培
arcsec	弧秒
arcmin	弧分
Atm	大气压
C	库伦
cm	厘米
deg	度
dgn	达因
erg	尔格
eV	电子伏特
G	高斯
g	克
Hz	赫兹
K	开尔文温标
keV	千电子伏特

* 这里列出的书中用到的单位符号系译者加上的——译者注

km	公里
m	米
min	分
MeV	兆电子伏特
sec	秒
sr	球面度
V	伏特
W	瓦特
Ω	欧姆

物 理 常 数

玻尔半径	$a_0 = e_0 \hbar^2 / \pi m_e c^2 = 0.529172 \text{ \AA} = 5.29172 \times 10^{-9} \text{ cm}$
光速	$c = 2.997930 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$
电子电荷	$e = 1.60206 \times 10^{-19} \text{ C}$
普朗克常数	$h = 4.1354 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{sec} = 6.62517 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{sec}$
玻耳兹曼常数	$k = 8.6164 \times 10^{-5} \text{ eV/K} = 1.38044 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$
电子静止质量	$m_e = 0.510976 \text{ MeV} = 9.1083 \times 10^{-28} \text{ g}$
光子静止质量	$m_p = 938.211 \text{ MeV} = 1.67239 \times 10^{-24} \text{ g}$
光子与电子质量比率	$\frac{m_p}{m_e} = 1836.12$
真空电容	$\epsilon_0 = 8.85434 \times 10^{-14} \text{ C/cm} \cdot \text{V}$
电子康普顿波长	$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2.42626 \times 10^{-10} \text{ cm}$
真空磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-9} \text{ 伏特} \cdot \text{sec/A} \cdot \text{cm}$
维恩位移定律常数	$(\lambda T)_{\max} = 0.289782 \text{ cm} \cdot \text{K}$

太阳的基本参数

日地距离	$1 \text{ 天文单位 (AU)} = 1.496 \times 10^{13} \text{ cm} = 214.94 R_{\odot}$
表面重力加速度	$g_{\odot} = 2.74 \times 10^4 \text{ cm/sec}^2$
光度	$L_{\odot} = 3.826 \times 10^{33} \text{ erg/Sec}$
质量	$M_{\odot} = 1.991 \times 10^{33} \text{ g}$
半径	$R_{\odot} = 6.960 \times 10^{10} \text{ cm} = 0.6960 \times 10^6 \text{ km} = 109 \text{ 地球半径}$

目 录

译者前言.....	i
序言.....	ii
符号.....	vii
物理常数.....	xiv
太阳的基本参数.....	xv
第一章 研究太阳的动机、内容和方法.....	1
§ 1.1 研究太阳的动机.....	1
§ 1.2 中心问题.....	1
丰富度.....	2
能量的产生.....	2
向外的能流.....	2
太阳风.....	3
太阳活动.....	3
耀斑.....	3
回答问题方面的进展.....	3
§ 1.3 我们的讨论方法和途径.....	4
第二章 太阳的构造和各种现象过程的描述.....	5
§ 2.1 太阳现象的分类.....	5
§ 2.2 日核.....	5
§ 2.3 对流层.....	7
§ 2.4 光球.....	9
§ 2.5 色球.....	15
§ 2.6 日冕.....	19
§ 2.7 活动源.....	23
§ 2.8 太阳活动周.....	25
§ 2.9 活动区.....	29
§ 2.10 活动日冕.....	39
§ 2.11 太阳耀斑.....	40
第三章 太阳的内部.....	52
§ 3.1 太阳的化学成份.....	52
§ 3.2 太阳基本参数的径向变化.....	54
§ 3.3 只与日心距有关的基本参数.....	57
压力.....	57
能量的产生.....	58
不透明度.....	60
§ 3.4 当代太阳的模型.....	60

§ 3.5 太阳的演化	63
收缩	64
核燃烧	66
主星序之后的阶段	67
第四章 光球	69
§ 4.1 辐射转移的一般描述	69
§ 4.2 光学深度	73
§ 4.3 观测结果与物理特性的关系	75
§ 4.4 哈佛-史密桑尼安参考大气 (HSRA)	79
§ 4.5 吸收线的形成	81
原子的基本概念	82
谱线形成的基本概念	84
谱线的源函数	87
等值宽度	89
§ 4.6 谱线加宽	91
自然加宽	91
多普勒加宽	92
压力加宽	95
§ 4.7 谱线分裂	98
§ 4.8 非局部热动平衡	100
热动平衡、局部热动平衡和非局部热动平衡	100
谱线的源函数	101
激发态的产生和消失	103
光子散射	105
受光电过程支配的谱线	106
受碰撞过程支配的谱线	107
第五章 色球	112
§ 5.1 规整的速度图案	113
米粒组织	113
超米粒组织	120
垂直振荡	121
§ 5.2 温度上升和大气加热	141
温度轮廓	142
能流	143
非辐射能的产生	149
非辐射能的传播和耗散	150
§ 5.3 色球网络	156
H _α 网络	156
CaII K 的网络	156
与磁场的关系	157
与速度场的关系	158
网络寿命	163

冻结磁场	165
网络的形成	168
§ 5.4 针状体	170
第六章 日冕	182
§ 6.1 多种多样的日冕观测	182
§ 6.2 散射日冕	184
分离 K 冕与 F 冕的光谱方法	185
分离 K 冕与 F 冕的偏振方法	185
日冕的运动温度	191
F 冕	192
太阳活动的影响	193
§ 6.3 发射日冕	194
日冕的线发射	194
日冕的电离	196
发射谱	198
等电子数序	200
连续发射	212
§ 6.4 射电日冕	213
射电波发射	214
射电波的路径	216
整个日轮的亮温度	217
具有空间分辨率的观测	218
§ 6.5 太阳风	221
磁力	221
基本方程	222
太阳风方程的解	223
附录 A 最强的夫琅和费谱线	227
附录 B 可见光波段的日冕谱线	230
附录 C 日冕的紫外(UV)、远紫外(XUV)和 X 光波段的谱线	232

• • •