

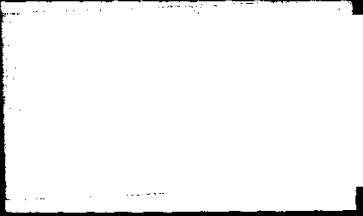
空间 物理学 进展

第2卷

ADVANCES IN SPACE PHYSICS



叶永烜 吕保维 主编
四川科学技术出版社



ADVANCES IN SPACE PHYSICS

空间物理学进展

第 2 卷

叶永烜 吕保维 主编

四川科学技术出版社

1992 年·成都

(川) 新登字004号

责任编辑: 陈奎宁

尧汝英

封面设计: 李显陵

版面设计: 杨璐璐

责任校对: 伍国中

空间物理学进展 (第二卷)

吕保维 叶永烜 主编

四川科学技术出版社出版发行 (成都盐道街三号)

新华书店重庆发行所经销 四川新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张11 插页6 字数280千

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7-5364-2354-3/V·1

定价: 10.00 元

序

空间物理学是研究太阳系和日球范围内的物理过程的科学。而日地物理学构成了空间物理学的重要部分。近年来,空间物理学发展迅速。它与经典电磁学、等离子体物理学、原子物理学、流体动力学、地球物理学、天体物理学等相互交叉渗透,往往一个学科的发展能给其他学科提供新的启示、新的方法、新的课题和新的推动。空间物理学的发展对于认识客观世界、发展经济建设都有重要的意义。

空间物理学的研究较之其他学科有一个更为突出的特点,就是它的国际合作性。从 1957 年至 1958 年国际地球物理年里进行的各种大型国际合作科研项目,1985 年至 1986 年的国际合作彗星观测,到 90 年代的国际日地研究计划(ISTP),国际间的学术交流、合作研究一直十分活跃。我国历来重视空间物理学的发展,在 50 年代就做了开拓性的工作,培养了一批骨干力量。十年来,我国

空间物理学进展 序

空间物理学界积极参加了国际学术活动,取得了一些重要学术成果,在一些方面达到了国际先进水平。国际空间物理学知名科学家同我国学者合著的这本《空间物理学进展》,就是国际学术合作的成果。国内的几位作者,有的在大陆工作,有的在台湾工作。国外有几位作者,是在台湾和香港的大学毕业后留学美国的,有的现在仍以中国科学家的身份在国外工作。因此,这本书也是海峡两岸学术合作的成果。

科学研究一般有理论和实验两种侧重,微观与宏观两种途径,两者相辅相成,互相促进,使研究得以逐步深入,为人们提供比较完整的自然图象。《空间物理学进展》从不同层次和角度,根据近年来多次太空飞行实验观测的资料,分别从微观和宏观方面着眼,提出了新的假说、验证了原有的理论、解释了重要的现象,也提出了许多新的课题。应该说,这是理论与实验结合、微观与宏观结合、反映了国际空间物理学研究最新成果和最新水平的一本学术著作。

由多名国外华裔学者同我国学者合作,专门为中国科学界撰写系列学术著作并在中国出版,这在我国科学技术出版史上还是第一次。四川科学技术出版社为此作出了重要的贡献。我相信,此书的出版必将促进我国空间物理学的发展,促进海峡两岸和世界各国科学家之间的交往和友谊。

周光召

出版者的话

《空间物理学进展》出版以来,受到国内外学术界的欢迎和关注。中国科学院院长周光召几次撰写书评予以鼓励,国际科联空间委员会主席阿克斯福德在书评中热切希望看到以后各卷出版,国际空间物理学权威赤祖父俊一更是在撰写书评之后又成为第二卷的作者。此书已经获得了全国优秀科技图书奖特别奖等 5 种奖励。

现在,《空间物理学进展》第二卷出版了。第二卷的国内作者不仅有大陆科学家,还有台湾科学家,国外作者不仅有华裔科学家,还有其他血统的科学家。主编吕保维是中国空间科学学会理事长,而主编叶永烜很快将从西德赴台湾就任太空计划署的首席科学家,这使海峡两岸科学家在《空间物理学进展》上的合作有了更具实质性的意义。关于《空间物理学进展》的工作,我们要特别感谢美国马里兰大学教授吴京生所做的策划

空间物理学进展

和组织。中国科学院周炜、都亨、徐荣栏、吴季萍等研究员为审稿付出了辛勤的劳动。

对于支持和鼓励《空间物理学进展》的各界人士,我们在此一并表示诚挚的谢意。

1992年6月 成都

目 录

序	周光召
出版者的话	
磁静平衡态及其稳定性分析	胡友秋
引 言	3
第一章 太阳大气的磁静平衡结构	5
第二章 磁静平衡态理论	10
第三章 太阳黑子的磁静平衡模型	31
第四章 磁静平衡态能量原理	47
第五章 能量原理的应用	68
参考文献	76

太阳风—磁层—电离层相互

作用的电动力学	甘如石 赤祖父俊一 孙 炜
引 言	83
第一章 极光弧的形成	84
第二章 亚暴(substorm)的磁层和电离	

层(M-I)耦合模式	93
第三章 太阳风—磁层的发电机过程	121
结 论	138
参考文献	139
太阳活动区与耀斑的紫外线观测	成中杰
第一章 绪论	151
第二章 超紫外线对太阳大气结构 与耀斑的观测	155
第三章 紫外线对太阳活动区与耀 斑的观测	166
第四章 总 结	189
参考文献	191
中坳 VHF 雷达之观测原理及其应用	朱延祥 赵寄昆
序 言	197
第一章 中坳 VHF 雷达的特性	202
第二章 MST 雷达的回波机制	207
第三章 MST 雷达的测风原理	217
第四章 中坳 VHF 雷达的应用	229
第五章 结论及展望	243
参考文献	245
地球磁尾中的非绝热过程	黄玉英
引 言	253
第一章 平静等离子体片	254
第二章 磁亚暴期间的等离子体片	261
参考文献	267

目 录

中层大气重力波和湍流	吴永富
第一章 绪论	271
第二章 测量技术	277
第三章 重力波饱和	289
第四章 重力波的观测结果	299
第五章 中层大气湍流	312
参考文献	337

磁静平衡态 及其稳定性 分析

胡友秋

(中国科学技术大学,
合肥, 中国)

引 言

磁静平衡态被广泛用来解释各种恒星大气结构. 对实验室等离子体来说, 理想磁流体力学近似取得了有价值的成果, 并用来指导可控热核反应装置的设计^[19]. 因此可以相信, 采用同一近似来研究空间磁静平衡态也会取得相应的成果^[53].

在恒星大气中, 重力常起着重要作用而不能忽略, 这使得空间磁静平衡态的分析远比实验室等离子体复杂. 初期, 人们从两方面进行简化. 一是对一些特定情况仍忽略重力而援用实验室等离子体的分析方法和分析结果; 二是对广泛存在于天体附近的强磁场区同时忽略重力和等离子体压力, 将磁静平衡问题简化为无力场问题. 对这两方面的研究进展本文将不作评述(有关无力场见 Low [48] 的综述).

引入重力项导致的复杂性主要表现在两个方面. 一方面, 气压沿磁力线不再是常数, 它将与重力沿力线的分力平衡, 这显然增加了求解力平衡方程的难度; 另一方面, 重力项中涉及等离子体密度, 而压强和密度在力平衡方程中同时出现, 将使得能量方程的处理不可避免. 目前的观测事实还不足以使我们确切描述空间等离子体中的各种能量过程. 在这种情况下, 通常对能量方程作出理想

化假设. 这些假设主要出于数学简化, 谈不上有多少物理根据. 对能量方程的各种处理方案, 使得空间磁静平衡模型较之实验室磁静平衡模型具有更大的任意性和多样性.

空间等离子体另一个重要特点是, 作为“器壁”的恒星表面允许磁力线穿过并直接支撑等离子体. 这一特点使得实验室不敢设想的磁静平衡结构在空间得以实现, 并具有良好的稳定性. 对空间等离子体平衡位形的研究, 无疑会大大丰富我们对磁静平衡态的认识.

本文简述近年来在空间磁静平衡态及其稳定性研究方面所取得的最新进展. 首先, 我们简述几种太阳大气中的典型磁静平衡结构的观测结果; 接着, 将详细分析人们在寻求磁静平衡态解方面所作的各种努力和取得的主要成果. 作为这些成果的应用, 我们将着重介绍太阳黑子模型, 从中可以窥见空间磁静平衡研究的现状和局限性. 关于磁静平衡态的稳定性, 本文限于线性分析, 并着重介绍能量原理. 为正确理解和运用能量原理, 我们将给出它的适用条件和严格证明. 最后, 将概述能量原理的应用和在空间磁静平衡态稳定性分析方面取得的某些最新成果.

第一章

太阳大气的磁静平衡结构

顾名思义,磁静平衡态指的是磁场中处于静止平衡的等离子体结构.对空间等离子体而言,严格意义下的磁静平衡态是不存在的.一方面,空间等离子体常处于流动状态,例如行星际空间存在着大尺度太阳风,速度可达几百公里/秒,就是在太阳大气和行星电离层、磁层中,也存在各种尺度的对流运动;另一方面,空间等离子体也不是完全平衡的,而是不断地随时间变化.不过,对一空间等离子体系统而言,只要等离子体动能远小于热能,且系统变化的时间尺度远大于我们感兴趣的时间尺度,就可近似地把该系统当作磁静平衡态处理.这种近似的磁静平衡态广泛存在于太阳、行星和彗星大气之中.本章以太阳为例,介绍几种有代表性的磁静平衡结构,有关细节见文献[3,10,21,26,73,75].

1.1 太阳黑子

用白光拍摄的太阳照片上可以看到日面即光球层上出现的一块块黑斑,称为黑子.黑子常成群出现,特别大的黑子肉眼可见.我

国史书上有丰富的黑子目视记录. 太阳黑子群的出现和演变属于一种活动现象, 但在出现后的几天甚至几十天之内, 可维持相当稳定的结构. 典型的黑子中心区最黑, 称为本影; 周围的淡黑区称为半影(见图1.1). 黑子尺寸从几百公里到数万公里, 磁场强度可

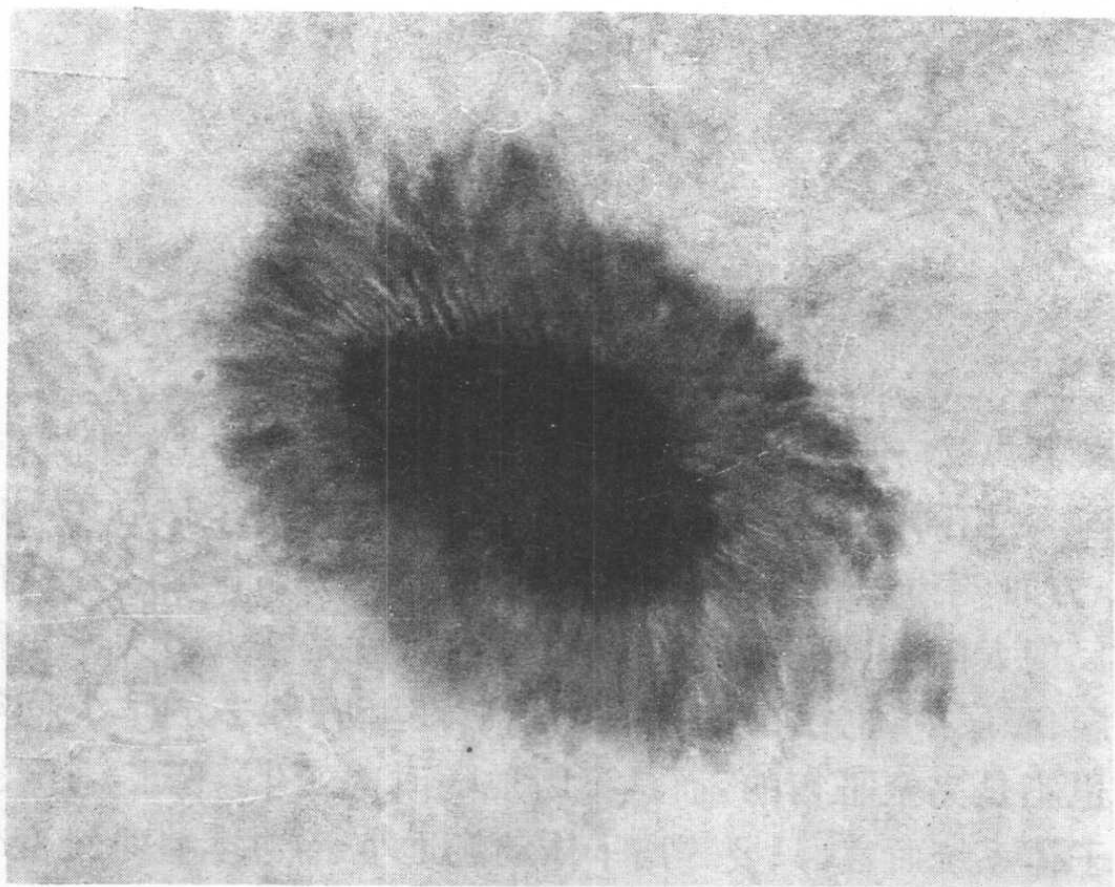


图 1.1 云南天文台 26 厘米光球色球镜于 1989 年 12 月 9 日拍摄的单极黑子照片.

达 1500—4000 高斯. 根据光度测量资料可推算本影和半影区的等效温度分别为 4200K 和 5500K 左右, 均低于光球层的平均温度 ($\sim 6000\text{K}$). 这不仅使得本影区辐射弱于光球而呈暗黑色, 而且导致辐射源区层次变深, 从照片上看起来本影区稍许凹向下方. 当黑子接近日面边沿时这种下凹效应看得更为清楚, 称为威尔逊(下陷)效应. 此外, 在半影区存在纤维状结构, 有时呈辐射状, 有时呈旋涡状, 隐约还可见到米粒状结构. 沿半影区纤维还观测到缓慢径

向流动,上层向里,下层向外,速度为 1—3 公里/秒之间,称为埃费希德流动. 类似的纤维结构也存在于本影区中,很可能整个黑子是由大量小磁通量管束构成,其磁场并非连续分布^[64,83].

1.2 宁静日珥

在色球或日冕中出现的高密度低温纤维状结构,称为日珥. 日珥依其活动程度,大体划分为活动日珥和宁静日珥两大类. 活动日珥大多位于活动区及其附近,有激烈的内部物质流动和外形变化,寿命较短. 宁静日珥则远离活动区,寿命可达几天至数月,近似处于稳定状态. 由于日珥物质有较强的 H_{α} 辐射,故用 H_{α} 线在日面边缘看到的宁静日珥为亮的垂直丝状物(见图 1.2),俗称红焰.

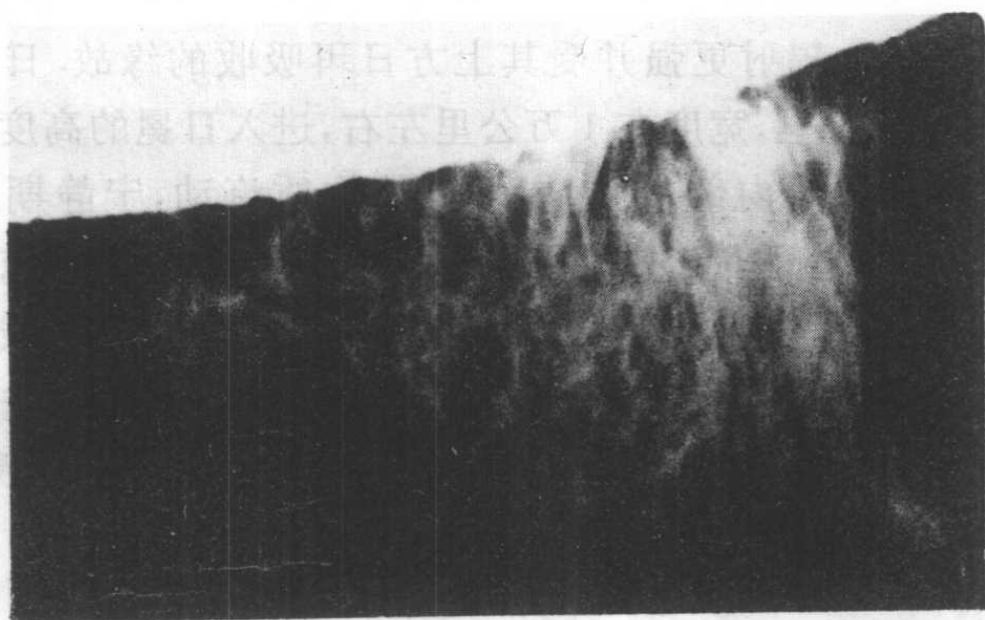


图 1.2 云南天文台 26 厘米光球色球镜于 1989 年 5 月 6 日拍摄的日缘宁静日珥.

用 H_{α} 线在日面上看到的宁静日珥则呈暗条形式(见图 1.3),这是