

空间物理学进展

ADVANCES IN SPACE PHYSICS



叶永烜 吕保维 主编
四川科学技术出版社

P35
YXX

105847

ADVANCES IN SPACE PHYSICS
空间物理学进展

叶永烜 吕保维 主编

四川科学技术出版社

1988年·成都

105841

责任编辑 陈奎宁
封面设计 李显陵
技术设计 杨璐璐
责任校对 刘生碧
张 憬

空间物理学进展

叶永烜 吕保维 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25.25 插页6 字数630千
1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数 1—1260册

ISBN 7-5364-1364-5/V·1 定价: 19.20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，到1985年至1986年的国际合作彗星观测，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，在五十年代就做了开拓性的工作，培养了一批骨干力量。十年来，我国空间物理学界积极参加了国际学术

活动，取得了一些重要学术成果，在某些方面达到了国际先进水平。国际空间物理学知名科学家叶永烜、吴京生、李罗权、黄云潮、吕达贤等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。国外的这几位作者，都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》从地球极光区、地球磁层、电离层、彗星、外日球、太阳风、行星际空间等不同层次和角度，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

P35
YXX

目 录

$TU = 5/9$

序

周光召

彗星与太阳风的相互作用过程

叶永烜

第一章	绪论	3
第二章	探测G-Z彗星和哈雷彗星	
	前研究的主要问题	23
第三章	G-Z彗星的探测	37
第四章	哈雷彗星的探测	56
第五章	结论	76
附录 I	随机二阶Fermi加速作用	78
附录 II	一阶Fermi加速	83
参考文献		88

外日球太阳风相互作用区的演化

黄云潮 章公亮

引言	101
第一章 太阳风相互作用区	102
第二章 外日球太阳风结构的模式	110

第三章	特征线解法	114
第四章	激波对和相互作用区的形成	120
第五章	激波—激波相互作用	130
第六章	汇合相互作用区	137
第七章	汇合相互作用区的数字模拟	143
第八章	汇合相互作用区的联合	156
参考文献		170

在太阳风中的离子捕获加速过程

吴京生 霍泰山

第一章	绪论	175
第二章	宁静太阳风中的捕获加速过程	185
第三章	强湍动太阳风中的捕获加速过程	227
第四章	结语	250
参考文献		254

行星际等离子体的起伏及其对太阳风的加速和加热过程

涂传诒

引言		263
第一章	行星际等离子体的观测结果	266
第二章	Alfvén 波在太阳风中的传播理论	282
第三章	Alfvén 起伏的波能串级理论	292

第四章	行星际等离子体湍流的形成	310
第五章	Alfvén 起伏对太阳风的加速和加热作用	319
参考文献		352

地球磁层中的多重X线磁场重联	李罗权 刘振兴	
第一章	绪论	359
第二章	向阳面磁层顶和磁尾中磁场重联的观测依据	363
第三章	经典的磁场重联模型和撕裂模	376
第四章	多重X线重联理论	394
第五章	多重X线重联模型在向阳面磁层顶的应用	433
第六章	磁尾重联及磁层亚暴过程的模拟研究	456
第七章	总结和讨论	475
参考文献		480

地球磁尾	吕达贤	
引言		487
第一章	历史回顾与专用术语	489
第二章	宁静磁尾	502
第三章	亚暴动力学	535
结束语		568
参考文献		571

回旋激射不稳定性——

地球极光区千米波辐射的机制

吴京生 陈奎宁

第一章	绪言	583
第二章	引论	588
第三章	相对论性回旋共振条件	594
第四章	在稀薄等离子体中的动力 回旋激射不稳定性	606
第五章	极光区千米波辐射和广义 动力回旋激射不稳定性	623
第六章	损失锥型回旋激射不稳定性 的非线性饱和	660
第七章	回旋激射不稳定性在实验 室项目中的应用	669
第八章	结语	681
	参考文献	683

对流电场、场向电流和磁层—电离层耦合

资民筠 沈长寿

	引言	693
第一章	有关的几个基本概念	697
第二章	对流电场的形态 (观测结果)	701
第三章	大尺度场向电流的形态 (观测结果)	721
第四章	对流电场和场向电流的模式研究	730
第五章	磁层—电离层耦合的弛豫过程	762
第六章	几个有关的磁层现象	780
	参考文献	794

彗星与太阳风 的相互作用 过程

叶永烜 (W.-H. Ip)
(马克斯·普朗克高空大
气研究所, 联邦德国)

第一章

绪 论

1985及1986年这段时间可以说是彗星研究工作者最感兴趣的时期,有史以来第一次由人造太空船对彗星作近距离的飞越探测.首先是美国国家航宇局(NASA)的国际彗星探险者(International Cometary Explorer,以下简称ICE)太空船于1985年9月11日在Giacobini-Zinner彗星(以下简称G-Z彗星)的离子尾区域离彗核8000公里处飞越,得到了很多彗星气体和太阳风相互作用的第一手资料^[126].ICE飞船上并没有携带所有应该携带的用作彗星探测的科学仪器,例如,没有中性气体及离子

表1.1 1985及1986年对彗星G-Z及哈雷彗星作出观测工作之太空船

太空飞船	负责国家机构	目 标	最 近 飞 越		飞越速度 (公里/秒)
			日 期	距离(公里)	
ICE	美国NASA	彗星G-Z	11.09.1987	7800(-)	20
		哈雷彗星		(+)	~70
VEGA 1	苏联IKI	哈雷彗星	6.03.1987	8890(+)	79.2
VEGA 2	苏联IKI	哈雷彗星	9.03.1987	8030(+)	76.8
Sakigake	日本ISAS	哈雷彗星	11.03.1987	7.0×10^6 (+)	70
Suisei	日本ISAS	哈雷彗星	8.03.1987	1.5×10^5 (+)	73
Giotto	欧洲ESA	哈雷彗星	14.03.1987	600(+)	68

(+) 最近飞越距离在太阳方面。

(-) 最近飞越距离在反太阳方面。

空间物理学进展

质谱仪以及各种遥感实验仪器。在1986年3月，各个太空船对哈雷彗星的近距离的飞行探测方是彗星探测的高潮。如表1.1所示，总共有五个太空船参加了这次探测工作：苏联和东欧几个国家合作发射的维加（VEGA）1和2号^[114]；日本的Suisei（彗星）和Sakigake^[51]；欧洲太空局（ESA）的 Giotto^[103]。由于它们飞越彗星的距离各不相同（见图1.1），所以把所有的实验结果报告汇集起来，可以对彗星和太阳风作用的各种过程有一个初步的了解，这亦是本文的目标。但要理解这次太空船测量得到的大量资料，一定要先对在1985年以前彗星研究工作者多年积累的

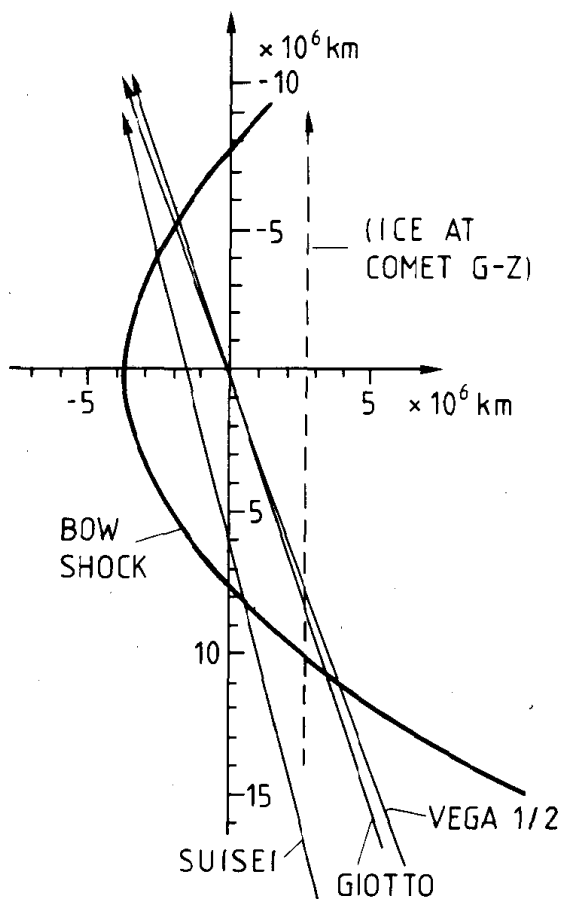


图1.1 各太空船飞越 G-Z 彗星和哈雷彗星的轨迹比较。

观察及理论研究工作成果作一概括。以下叙述的便是讨论彗星和太阳风相互作用及离子尾形成问题的几个重要的经典性工作（读者可参阅文献59, 60, 89）。

1.1 彗星离子尾的形成

当彗星离太阳的距离大约2—3天文单位时，各种气体组成的彗发（Coma）会逐渐地增加它的亮度，由 H_2O^+ 、 CO^+ 及 CO_2^+ 离子构成的离子尾亦开始出现。分析从地面观察及由绕地球之人造卫星携带的仪器得到的光谱所获得的气体成份列于表1.2中。各种观测结果都表明水蒸汽（ H_2O ）是彗发最重要的成份。其次是CO和 CO_2 ，再其次是 NH_3 、 CH_4 、HCN等成份。根据这些化学成份对彗核的组成及其来源等各种问题进行的研究，读者可参考[26, 41, 138]，不在此介绍。

表1.2 彗星气团母分子之成份

母分子	相对含量	分离粒子之成份
H_2O	1.0	OH, O, H, H_2
CO	0.01—0.20	C, O
CO_2	0.02—0.25	CO, C, O
NH_3	0.001—0.01	NH_2 , NH, N, H
CH_4	<0.02	CH, CH_2 , CH_3
H_2CO	~0.01	H_2 , CO
CS_2	~0.001	C, S_2
S_2	≤0.001	S
HCN	~0.001	CN, H
CH_3CN	~0.001	CN, CH_3
P (C_2)	≤0.001	C_2
P (C_3)	≤0.001	C_3

本文讨论的是如图1.2所简要描述的各种关于彗发发生的流体力学和化学过程。首先，当气体从彗核表面蒸发出来，由于膨胀作用，向外流动的速度便会很快达到和超过音速。在彗发内部，由于分子之间的碰撞作用，由太阳紫外线辐射所产生的离子的速度 (u_i) 和温度 (T_i) 都和中性分子差不多一样，在各向同性扩

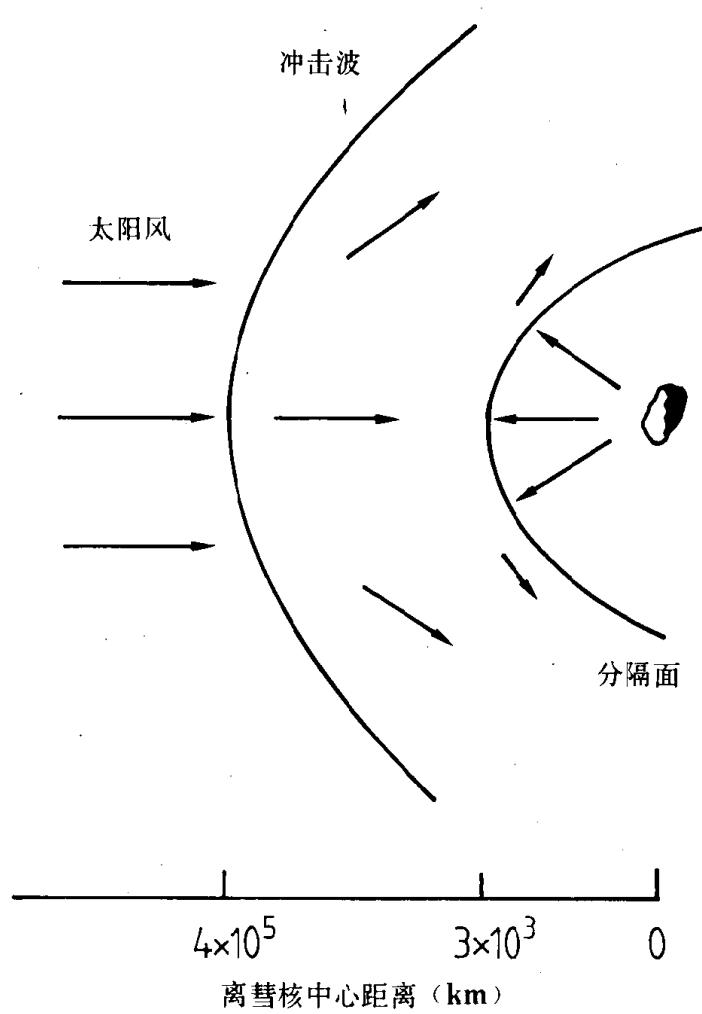


图1.2 彗发膨胀过程的各种流体力学和化学作用

散的情况下, 如果气体的总蒸发率为 Q , 动量转移截面为 σ , 径向速度为 V_n , 则离子和中性粒子动量脱离耦合的距离(r_c)可以表示为

$$r_c \frac{Q\sigma}{4\pi V_n} \quad (1.1)$$

采用 $\sigma \approx 1 - 3 \times 10^{-15}$ 厘米², $V_n = 1$ 公里/秒, 则可得

r_c (G-Z彗星) $\approx 250 - 750$ 公里, 当 $Q \approx 3 \times 10^{28}$ 分子/秒
及 r_c (哈雷彗星) $\approx 8300 - 25000$ 公里, 当 $Q \approx 10^{30}$ 分子/秒.

当彗发分子在 r_c 以远处被电离时, 则所产生的彗星离子的流动方向及其动力过程将因碰撞频率的减少而不再与中性粒子的径向膨胀一致. 在另一方面, 由于和太阳风粒子以及行星际磁场的动量转移耦合, 彗发离子, 如 H_2O^+ , CO^+ 及 CO_2^+ 等将顺着太阳风的流向而形成离子尾.

通常两种流体相对喷射时, 会形成一个将流体分开的间断面, 此边界结构叫做接触面 (*contact surface*). 在最简单的彗星电离层 (*ionosphere*) 的理论模型中, 亦有类似的观念 (见图1.2). 即是有一个接触面把完全是彗星气体组成的电离层和由太阳风离子加上彗星等离子体组成的流体分隔开来. 这个接触面离彗星的距离(r_c)通常便用来量度彗星电离层的大小. 由于离子及中性粒子的碰撞过程决定了彗星离子的输运效应, 可以有 $r_c \approx r_c$ 的关系. 关于彗星电离层的详细构造和动力学问题, 将在下面数章另行叙述.

从地面上观察, 通常气体产生率小 ($Q < 10^{29}$ 分子/秒) 的彗星都见不到有明亮的离子尾. 只有亮度大的和气体蒸发率大的 (在 $R \approx 1$ 天文单位处, $Q > 3 \times 10^{29}$ 分子/秒) 彗星方见有离子尾的形成.

在彗星观察中, 通常称离子尾为 I 型尾, 而尘埃粒子组成的则叫 II 型尾. 明亮的彗星的离子尾可见部分通常的长度约为1-2

$\times 10^7$ 公里，而宽度仅为 3×10^5 公里。有时候，整个离子尾的结构是相当均匀的，但在受到太阳风干扰的情况下，则会出现各种

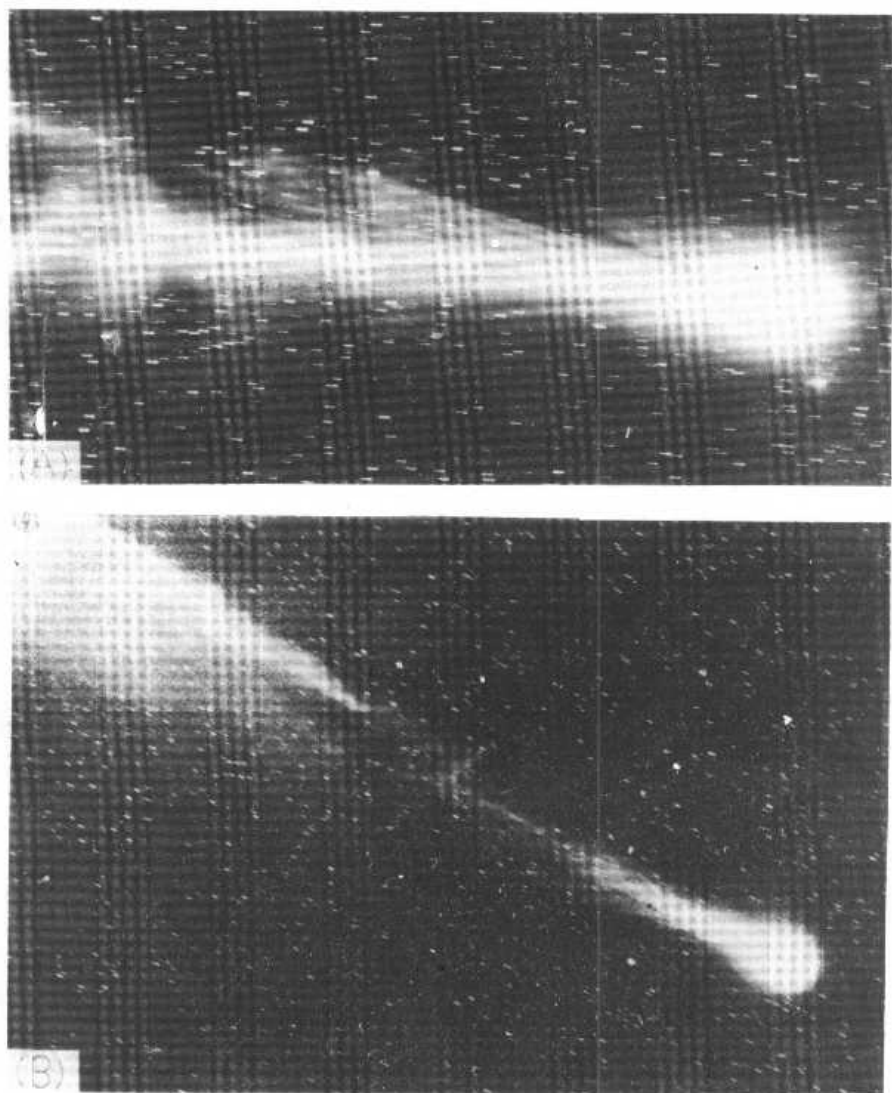


图1.3 彗星离子尾的各种不均匀结构：

(a) 相对性的直线形构造；(b) 大尺度的彗星离子尾截断现象。本图由 Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, Federal Republic of Germany 提供。