



全国高技术重点图书·航天技术领域

空间天文学

张和模 徐永煊 主编

国防工业出版社

空间天文学

张和祺 徐永煊 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

空间天文学/张和祺,徐永煊主编. —北京:国防工业出版社,1998.3

(空间科学与应用丛书)

ISBN 7-118-01713-2

I. 空… II. ①张… ②徐… III. 空间天文 IV. P17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 03249 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 $\frac{1}{2}$ 378 千字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《全国高技术重点图书》出版指导委员会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 果 卢鸣谷

委 员：（以姓氏笔划为序）

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 果	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张兆祺	张钰珍	张效祥	罗见龙
周炳琨	欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜
龚 刚	梁祥丰			

总干事：罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·航天技术领域》 编审委员会

主 任：任新民

委 员：（以姓氏笔划为序）

王永志	刘琯德	吴大观	胡文瑞	顾诵芬
黄志澄	屠善澄			

“空间科学与应用丛书”序

空间科学主要利用空间飞行器来研究发生在宇宙空间的物理、天文、化学和生命等自然现象及其规律,它与天文学、地球科学等学科有着悠久的历史渊源。空间科学作为一门独立的综合性学科领域,是在空间技术有了巨大的进展和人类进入了空间时代的条件下,才形成和发展起来的。50年代以后,在大量地面台站、气球和火箭观测及长期理论研究的基础上,迫切要求各相关学科之间密切配合,要求全球性的协同观测和发展新的探测手段。1957年人造地球卫星成功发射以后,各种空间飞行器和空间探索应运而生,开创了空间科学蓬勃发展的时代。

1956年,在竺可桢先生、赵九章先生的领导下,组织代表团参加了在西班牙巴塞罗那召开的国际地球物理年成立大会。在这次会议上,美国和前苏联先后宣布了发射人造地球卫星的消息。此后,我国积极地组织了国际地球物理年活动,除有计划地组织地面观测外,中国科学院的地球物理所在所长赵九章先生的领导下,组织了一批骨干科技力量,建立了应用地球研究所、制订了581、691任务。这些措施很有远见,也很有成效,开创了我国空间科学的发展。

经过60年代的努力创业,我国发射了实践1号和实践2号以空间物理为探测对象的科学卫星。70年代和80年代以来,国家提倡以应用卫星任务为重点,从而带动了气象卫星的研制和对地观测卫星的发展。80年代后期,根据国家高技术计划成立了航天领域专家委员会,又推进了空间生命科学、微重力科学及其他空间科学的研究。尽管我国空间科学相对于空间技术和空间应用还比较薄弱,总体水平也还不够高,特别是研制和发射科学卫星的能力还

不高,但我国空间科学已有较好的发展势头,在各主要学科领域已部署了一批精干的研究力量,已经形成一批地面台站网和进行了一些空间实验。展望下个世纪,中国的空间科学必会做出重大贡献。

“空间科学和应用丛书”是八五期间国家高技术重点图书出版计划的一部分,涉及了空间科学的几个主要领域,这套丛书的出版有助于我国空间事业的发展。希望这套丛书在“九五”期间能继续扩展,以反映国际空间科学迅速发展的前沿,交流我国空间科学发展的进展,促进青年学者和同行的学术更新和提高,迎接新世纪空间科学的大发展。

中国空间科学学会理事长

中国科学院院士

吕保维

一九九五年六月三日

前 言

空间天文学是在地球大气外层空间开展天文观测和研究的领域,是本世纪 40 年代才诞生,60 年代开始迅猛发展起来的一门学科,是天文学发展史上,继光学天文、射电天文之后的第三个里程碑。它的诞生开辟了人类认识宇宙的新通道,使人类进入全波天文时代成为可能。

我国空间天文学起步较迟,在六七十年代虽有一些零星的太阳空间探测,但至今尚未发射一颗专用的天文卫星。从 80 年代起,随着我国航天事业、卫星应用事业的迅速发展,空间天文学已提到议事日程,各项空间计划正在实施或预研之中。为满足天文专业研究人员和从事空间科学与工程广大科技人员的需要,为满足大专院校的有关天文、空间科学技术专业的需要,出版《空间天文学》这样一本书已成为一项十分迫切的任务。特别是在国际上目前尚无这样一部全面而完整的专著情况下,它的问世对推动我国空间天文事业的发展具有重要意义。

本书撰稿人是:第一章张和祺、徐永煊、虞为、杭恒荣;第二章徐永煊、虞为、沈其忠;第三章徐永煊、张和祺;第四章张和祺、徐永煊、甘为群;第五章徐永煊、许胤林;第六章张和祺、徐永煊。

由于经验不足和水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请读者指正。

张和祺

1996 年 4 月 16 日于南京

内 容 简 介

空间天文学是人类利用外层空间进行天文观测和研究的一门学科,是整个空间科学的一个重要组成部分。本书详细阐述了空间探测技术和方法、空间天文学的成就以及对未来空间天文学的展望。本书可供天文专业研究人员、从事空间科学与工程의广大科技人员,以及大专院校师生参考。

ISBN 7-118-01713-2/V · 133

定价:23.00 元

目 录

计量单位符号表	1
第一章 概论	3
一、大气层外天文观测的优越性	3
二、天文学发展的第三个里程碑	6
三、空间天文学的发展	11
(一)发展阶段	11
(二)空间天文各分支学科的发展	16
第二章 探测技术和方法	45
一、概述	45
二、运载工具和资料传输	46
(一)运载工具	46
(二)资料采集和传输	60
三、观测方法和技术	62
(一)定位和定向	62
(二)能谱测量	74
(三)天体成像	75
(四)资料积累	75
(五)扫描观测与定向观测	78
四、探测器系统	79
(一)X 射线探测器	79
(二) γ 射线探测器	109
(三)紫外辐射测量	139
(四)空间红外探测	155
第三章 X 射线天文学	168
一、太阳 X 射线天文学	168
(一)概述	168
(二)X 射线测量	170

(三)耀斑 X 射线辐射	181
(四)耀斑模型	197
二、银河 X 射线天文学	202
(一)概述	202
(二)X 射线双星	204
(三)超新星爆发遗迹	232
三、河外 X 射线辐射	247
(一)概述	247
(二)正常星系 X 射线	247
(三)活动星系核	256
(四)宇宙 X 射线背景	262
第四章 γ 射线天文学	274
一、概述	274
二、太阳 γ 射线天文学	275
(一) γ 射线的产生	276
(二)耀斑 γ 射线的观测和研究	279
(三)展望	294
(四)太阳系 γ 射线测量	295
三、银河系 γ 射线天文学	295
(一)弥漫 γ 射线辐射	296
(二) γ 射线源	311
四、 γ 射线暴	330
(一)分类和命名	331
(二)观测的特征	331
(三)特殊的 γ 射线暴	344
(四)辐射过程	347
(五)理论模型	348
五、河外 γ 射线研究	351
第五章 紫外和空间红外天文学	359
一、紫外天文学	359
(一)概述	359
(二)太阳系紫外探测	361
(三)太阳紫外辐射	369
(四)非太阳紫外探测	381
二、空间红外天文学	397

(一)太阳系的研究	398
(二)银河红外辐射	406
(三)恒星红外研究	410
(四)星系红外测量	412
(五)红外背景辐射	417
三、宇宙尘	419
(一)概述	419
(二)宇宙尘的研究内容	420
(三)宇宙尘的收集与鉴别	422
(四)测量结果	424
(五)小结	426
第六章 空间天文学的发展前景	430
一、空间天文学发展的条件	430
二、空间天文学发展趋势	432
三、空间天文学的研究范围和发展规划	436
(一)小天体探测	437
(二)大行星考查	437
(三)建立月基天文台	439
四、我国空间天文学的回顾与展望	448

计量单位符号表

$R_{\odot}$	—— 太阳半径
$m_{\odot}$	—— 太阳质量
$L_{\odot}$	—— 太阳光度
L_{opt}	—— 光学光度
L_x	—— X 射线光度
J	—— 焦耳
W	—— 瓦特
Pa	—— 帕(气压单位)
T	—— 特斯拉
K	—— 开氏温度
Jy	—— 央(斯基)(流量单位 = $10^{-26} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}$)
Crab	—— 蟹(状星云)(流量单位 = $4.9 \times 10^{30} \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$) (0.1 ~ 100keV)
V	—— 电压
Sr	—— 立体角
yr	—— 年
d	—— 天
h	—— 小时
min	—— 分
s	—— 秒
ms	—— 毫秒
μs	—— 微秒
km	—— 千米

m —— 米

cm —— 厘米

mm —— 毫米

μm —— 微米

$\text{\AA}$ —— 埃

t —— 吨

kg —— 千克

g —— 克

AU —— 天文单位

pc —— 秒差距

kpc —— 千秒差距

第一章 概 论

一、大气层外天文观测的优越性

空间技术的迅速发展与辉煌成就,使人类活动进入了被称为人类第四环境的外层空间,并诞生了一门全新的学科:空间科学。这门学科由许多分支学科组成,其中有空间物理学、空间天文学、空间生命科学、空间地球科学和微重力科学等。空间科学不仅成为当代科学的重大前沿,也为空间技术和空间应用的发展奠定了基础,开辟了前景。空间天文学的诞生和发展充分说明了这一点。

大气层外空间,简称外层空间,是地球稠密大气层之外的空间区域,又称外空、太空或宇宙空间。在 1991 年罗马召开的国际宇航联合会第 32 届大会上,把外层空间称为人类的第四环境。与陆地(第一环境)、海洋(第二环境)和大气层(第三环境)相提并论。现已探明,在人类第四环境里,可供利用和开发的资源是极其丰富的,有的甚至是取之不尽、用之不竭的。具体地说,空间资源有以下六类:航天器相对于地表的高位置资源;高真空和高洁净环境资源;航天器的微重力环境资源;太阳能资源;超低温资源和月球、火星等天体资源。人类进入浩瀚无垠的宇宙空间,认识、研究、利用和开发人类的新环境和新资源是人类文明史上的一次伟大飞跃,其意义和影响是十分深远的。

空间天文学是利用人类第四环境进行天文观测和研究的一门学科,是整个空间科学的一个重要组成部分。如果从利用探空火箭和高空科学气球等地球亚轨道运载工具进行天文观测算起,空间天文学始于本世纪的 40 年代,但它的真正蓬勃发展却在卫星上天

之后。自 60 年代以来,世界各国发射了一系列轨道天文台、小型天文卫星,以及行星和行星际探测器,这为空间天文研究开辟了十分广阔的前景,并且取得了丰硕的成果。

在外层空间开展天文观测有着地面天文无法比拟的优越性。

(1)它突破了地球大气的屏障,使一些在地面无法观测的天体电磁辐射能用来测量天体,从而改变了数百年来天文学家只能在光学和射电两个极为狭窄的“窗口”上认识宇宙的坐“地”观天的局面,开创了真正的全波天文新时代。天体辐射的电磁波谱是很宽阔的,它占据着 $10^{-15} \sim 10^8 \text{cm}$ 波长范围。地面上射电观测波长和光学观测波长加在一起,只有它的一小部分。美国著名天体物理学家罗素曾经叹息道:“整个光谱最有意义的波长处在我们研究能力所能及的范围之外,因为大部分臭氧居于很高的上空,以致完全不能指望有什么飞翔的仪器能高升于它之上。”这里所指的“最有意义的波长”是指红外线、紫外线、X 射线和 γ 射线等。由于地球大气屏障,它们都不能在地面观测。

这些电磁辐射不能在地面测量的原因是各不相同的。天体的紫外辐射在穿过地球大气层的过程中,由于遇到臭氧层和大气中的氧、氮等原子和分子的强烈吸收,到达不了地面。红外辐射由于水蒸气和二氧化碳等分子的振动、转动所造成的强烈吸收,只留下为数很少的几个天文观测“窗口”。X 射线在地球大气中因光电吸收和康普顿散射而大大衰减,如图 1.1 所示,它们只能在 40km 以上高空测量。天体的 γ 射线辐射跨越的能量范围从 $10^5 \sim 10^{16} \text{eV}$,但只有能量大于 10^{12}eV 的极高能 γ 射线可在地面通过大气的契伦柯夫效应进行探测,而能量在 10^{11}eV 以下的 γ 射线,一方面由于初级 γ 光子同地球大气作用会损失掉一部分,更重要的是宇宙线在大气中同大气的相互作用产生很强的背景辐射,使流量很低的天体 γ 射线辐射无法在地面观测。

(2)改善了观测条件,提高了光学观测和射电观测的分辨能力。地面上进行射电和光学观测也受到大气影响,例如低层大气中

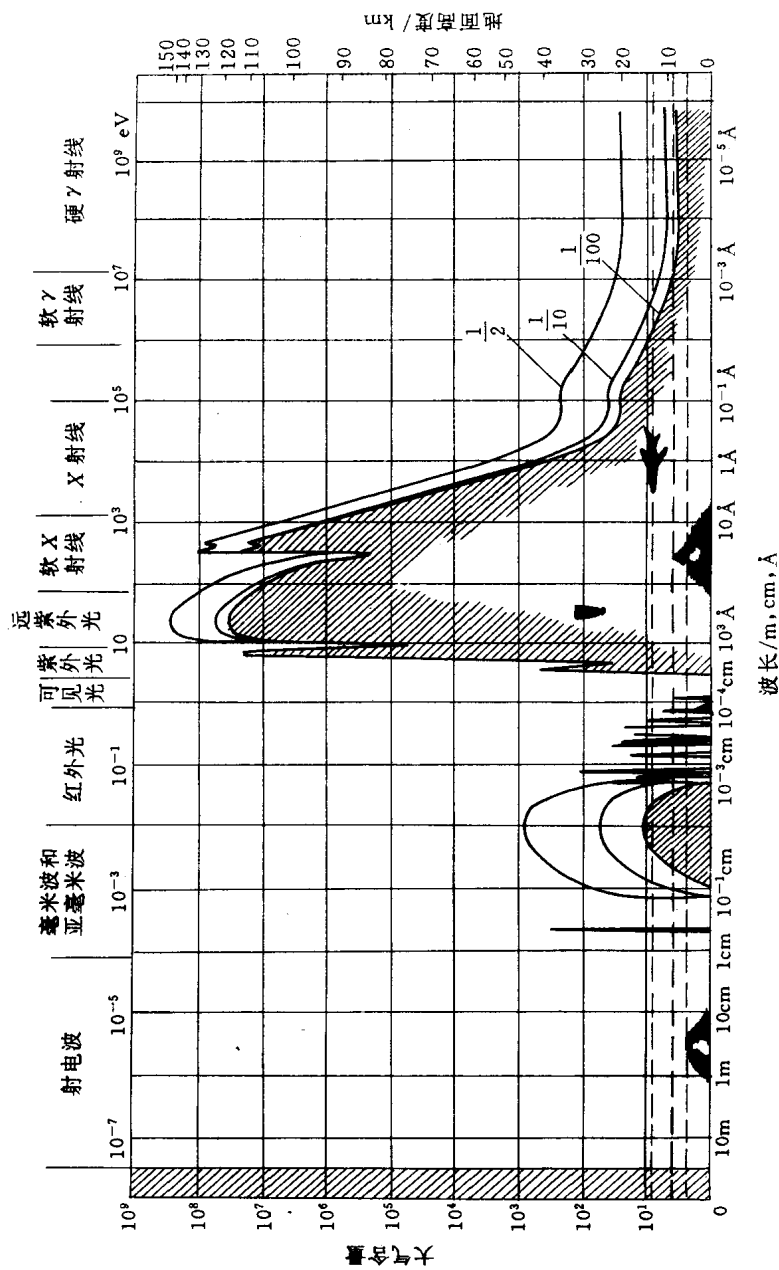


图 1.1 观测各种电磁波的地面高度

的水蒸气构成短波主要吸收因素,由于分子的瑞利散射,地球大气还起着非选择性的消光作用。而在空间环境中的天文观测不仅能消除这些影响,还将减轻或免受地球大气湍动所造成的光线抖动的影响和大气折射的影响,使仪器的分辨本领大大提高。

(3)由于在空间进行观测的天文仪器相对于地表具有很高的位置,因此,空间天文观测具有全时段(只有一部分观测受到地影的限制)、全方位和超长干涉基线等优点。特别是今天空间技术所达到的水平,不仅能直接获取被观测客体的样品,如月球和火星表面的实物样品,行星际的尘埃粒子样品等等,而且还能对大行星进行近距离考察,获得行星表面和大气层中各种物理参数。到目前为止,太阳系中除了冥王星以外,人们对其余八大行星和它们的主要卫星都进行了空间考查并直接探索太阳系天体。

天文学是一门研究天体性质和演化的科学。观测是它的主要手段。为了提高观测精度,观测台址作了四次大的变迁:最初位于市区,如英国格林威治天文台和中国紫金山天文台;由市区发展到远郊,如美国基特峰天文台和中国北京天文台的兴隆观测站;由远郊发展到远山远海,如欧洲南方天文台,美国夏威夷天文台和中国紫金山天文台青海观测站;由远山远海发展到外层空间。外层空间是人类梦寐以求的理想天文台。这种天文台只有在空间科学技术高度发展的时代才能实现,只有科学技术具有相当高水平的国家才能建立。外层空间天文观测不仅为天文学观测创造了全新的条件,而且是天文学史上的一场革命。1946年利用V—2火箭探测太阳短波辐射为这场革命打响了第一炮。自那以来,只经过了半个世纪,而从利用卫星观测算起,只有三十来年。短短的几十年发展史深刻地表明,空间天文学是天文学史上一个新的里程碑。

二、天文学发展的第三个里程碑

如前所述,在高真空、高洁净、对地表高位置的外层空间进行天文观测和研究,给天文学的发展开辟了无限广阔的前景。世界各