

国家自然科学基金委员会数学物理科学部

# 天文学科、数学学科发展研究报告

TIANWEN XUEKE SHUXUE XUEKE  
FAZHAN YANJIU BAOGAO



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

P1/12

2008

# 天文学科、数学学科发展 研究报告

国家自然科学基金委员会数学物理科学部

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

《天文学科、数学学科发展研究报告》包含天文学和数学两部分。

“天文学科发展研究报告”部分从学科发展战略角度概述了天文学总体及其分支学科——宇宙学和星系物理、恒星物理、太阳物理、基本天文学以及天文技术和方法的战略地位、意义、特点和国际发展趋势，全面地分析了我国天文学科的现状、优势和特色，提出了未来发展规划和措施。

“数学学科发展研究报告”从数学的特点和作用、美国数学和德国数学的发展动态、中国数学的研究现状和重点方向以及存在的差距和问题，进行了简单的论述，并提出一些建议。

本研究报告可供相关部门和科技管理人员参考，亦可供我国高校和科研院所相关领域的研究人员阅读借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

天文学科、数学学科发展研究报告/国家自然科学基金委员会数学物理科学部. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-021293-1

I. 天… II. 国… III. ①天文学-进展-研究报告-中国 ②数学-进展-研究报告-中国 IV. P1-12 O1-12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第031069号

责任编辑: 鄢德平 胡 凯 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008年4月第一版 开本: B5(720×1000)

2008年4月第一次印刷 印张: 6 1/2

印数: 1—3 500 字数: 118 000

定价: 35.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

国家自然科学基金委员会的主要使命是支持基础研究。根据国家对我科技发展的总体部署,2004年底国家自然科学基金委召开党组扩大会,确定了新时期科学基金的战略定位是:“支持基础研究、坚持自由探索、发挥导向作用”。数理科学(数学、力学、天文学、物理学)作为自然科学的基础,是揭示新的物质形态、发现新的自然现象、探索自然规律、建立和发展新的学说和理论与方法、并为其他领域科学的发展提供思想、概念、理论和方法的科学。

为了深入贯彻落实科学基金在新时期的战略定位,促进数理科学均衡、协调地发展,加强对科学发展前沿和学科特点的研究,数理科学部于2004年底启动学科发展研究工作,按数学、力学、天文、物理(物理I和物理II)四大领域开展调研。希望在以前已进行的学科调研分析资料的基础上,从基础研究的需求和国家发展的需求出发,凝练出重大科学问题,明确学科发展战略,提出科学基金资助工作应特别关注的方向或领域,以及需采取的措施。

《学科发展研究报告》的主要内容是:

- (1) 国内外学科发展状况、特点,前沿领域;
- (2) 国内研究的特色,相对优势领域、薄弱领域及问题(从科学研究的  
角度分析);
- (3) 建议优先资助的领域及重要科学问题;
- (4) 国内急需发展的领域(或方向);
- (5) 需采取特殊措施给予资助的领域或方向;
- (6) 需要特别给予考虑资助(或专项资助调控经费)的重大科学问题或  
实验研究;
- (7) 科学基金现有资助布局及分析;

(8) 有关建议和意见。

本《研究报告》包括两部分内容：天文学科发展研究报告及专题研究报告、数学学科发展研究报告。

“天文学科发展研究报告及专题研究报告”由中国科学院上海天文台景益鹏研究员为组长以及中国科学院紫金山天文台杨戟研究员、南京大学丁明德教授、中国科学院上海天文台廖新浩研究员、国家自然科学基金委员会数理科学部天文科学处董国轩研究员组成的调研组完成。“数学学科发展研究报告”由国家自然科学基金委员会数理科学部数学科学处张文岭研究员、雷天刚研究员执笔完成。

为了完成本《研究报告》，调研组成员（或执笔人）投入了很大精力和热情，同时还受益于各学科已有的工作基础和有关专家的积极支持和参与。调研组（或执笔人）参阅了国家自然科学基金委员会组织编写的《自然科学学科发展战略调研报告》、科技部组织编写的《全国基础研究“十五”计划和2015年远景规划》中的“学科发展与优先领域”专题调研和我学部与中国科学院数理科学部联合组织的“十五”学科发展调研以及中国科学院和教育部组织的有关调研。

本《研究报告》力求能按学部组织《学科发展研究报告》的宗旨，较准确、科学地反映当今各学科发展趋势和特点，提出促进我国这些学科发展的重点方向、目标和措施。但由于时间仓促、许多问题的分析难以深化以及学科发展调研自身难度所限，本报告会有不当之处，欢迎批评指正。

我们希望，我学部的这些《学科发展研究报告》不仅能成为数理科学部从事科学基金资助工作的重要参考，也希望这些研究报告能给相关部门、专家学者和领导从事科学决策和选题提供参考，以及相关领域的青年工作者、在读研究生能从中获得对学科发展的综合认识。为此，我学部将这一系列研究报告印刷出版，供参考。

国家自然科学基金委员会数理科学部

汲培文

2007年4月

# 目 录

前 言

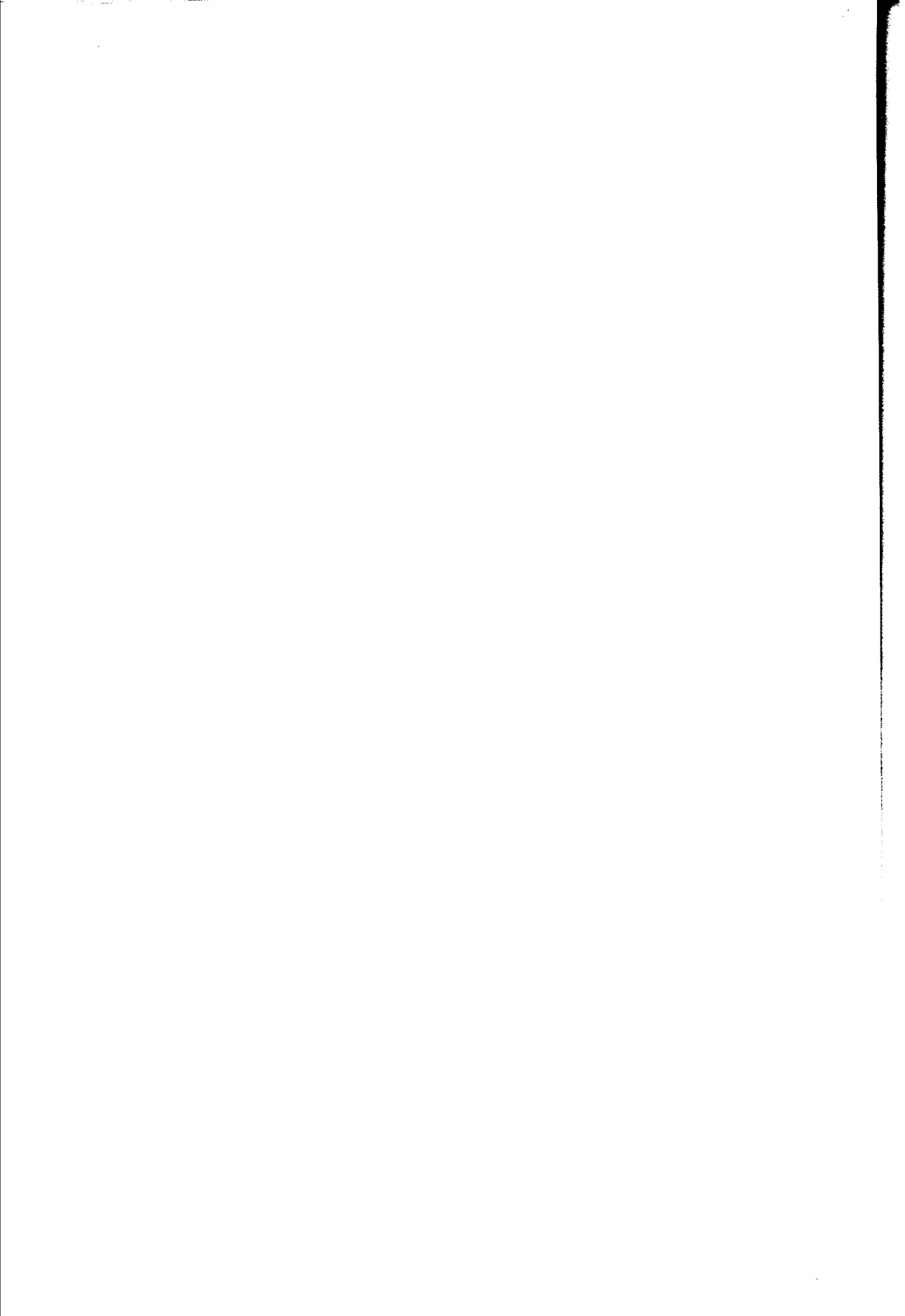
## 第一部分 天 文 学

天文学科发展研究报告 .....	(3)
宇宙学和星系物理学发展研究报告 .....	景益鹏 (19)
恒星物理学发展研究报告 .....	杨 戟 (32)
太阳物理学发展研究报告 .....	丁明德 (43)
基本天文学发展研究报告 .....	廖新浩 (58)
天文技术和方法发展研究报告 .....	杨 戟 (70)

## 第二部分 数 学

数学学科发展研究报告 .....	(87)
------------------	------

# 第一部分 天 文 学





# 天文学科发展研究报告

## 一、天文学研究的战略地位和重大意义

天文学是研究宇宙中天体和天体系统的形成、结构、活动和演化的科学。它也研究如何利用关于天体的知识来造福人类。探索天体演化是人类认识自然规律中的最根本的问题之一。正如江泽民同志指出的：“宇宙科学大大深化了人们对宇宙起源和演化的认识,为了解物质结构和相互作用提供了新的统一图景。”天文学与其他科学技术相互影响、相互促进;它与我们的生存环境息息相关;它在提高全民族的文化素质、培养科技人才和树立正确的世界观等方面有着不可替代的作用。天文学是当代推动高科技发展和社会进步的最活跃的因素之一,是当代最活跃的前沿学科之一。

### (一) 人类认识宇宙的第二次飞跃中的带头学科

16, 17 世纪,人类认识宇宙发生了第一次飞跃,天文学取得了划时代的进展:哥白尼日心说的提出、望远镜的发明以及牛顿力学的创立,促进了自然科学的革命,推动了数学和力学的发展。20 世纪中叶以来,随着射电、光学和空间天文观测技术的突飞猛进,使天文学特别是天体物理学发生了革命性变革。人们可以科学地研究从基本粒子、元素起源、宇宙中分子的形成和生命起源,到行星系统、恒星、星系以至整个宇宙的起源和演化。激动人心的发现不断涌现,新认识、新理论层出不穷,天文学空前地活跃起来,成为自然科学中最活跃的前沿学科之一,在人类认识宇宙的第二次飞跃中成为无可争辩的主角和带头学科。

### (二) 有力地促进其他自然科学的发展

天文学曾对数学和力学的发展起了奠基性的作用。天文学和物理学的结合产生了天体物理学,成为当代天文学的主流。宇宙中星际分子和有机

分子的发现,以及地外生命的探索开创了天体化学和天体生物学的研究,并成为生命起源研究的重要领域。天文学同地球物理学和地学的密切结合,开辟了空间天气学和天文地球动力学等交叉学科的新天地。天文学是空间科学的先驱,又是它不可缺少的内容和依托。因此,天文学和自然科学的几乎所有学科互相渗透、互相促进,成为整个自然科学中不可缺少的重要学科。

宇宙广袤浩瀚、变化万千。宇宙中空间和时间尺度跨度达 60 个量级,能量尺度超过 30 个量级。宇宙间存在着地面实验室无法达到的超大尺度、超大质量、超高速、超高(低)密度、超高(低)温、超高压、超真空和超强磁场等极端物理条件。对宇宙的研究必将大大丰富和深化人类对自然规律的认识,推动人类认识论和世界观的发展。

### (三) 与现代高技术的相互作用和相互促进

天文学是观测科学。观测手段、技术和方法的改进常是天文发现和重大突破的先导。天文学研究反过来又常会对技术进步产生重大的影响。历史上牛顿运动定律的发现、核聚变概念的发展,以及恒星大气辐射转移理论的完善,都对近代科学技术的发展起过重大的作用。由于现代天文观测和研究追求极微弱讯号的探测、极高的空间和时间分辨率、极精确的空间导向和定位以及极精密的计时等,因而在天文学研究中发展起来的天文技术、方法和新概念对技术进步无疑有着巨大的推动作用。

### (四) 同研究地球和空间环境息息相关

当代地球和空间环境的保护和利用这一重大问题与人类生存和社会发展密切相关。它涉及全球气候变化研究,大气臭氧层保护,厄尔尼诺现象、地震和旱涝的预测,以至小行星撞击地球的监测等。太阳辐射的剧烈变化还会造成无线电通信中断、电力系统故障、人造卫星损坏和变轨,以及威胁宇航员安全等重大灾害。卫星的监测、空间碎片的研究,以及自主的时间服务系统可以为国家安全和航天器的安全提供保障。所有这些,无一不同天文学的研究息息相关。

地球是太阳系行星中最重要的一颗。它的大气、海洋、地壳变形、地核较差自转等多种因素及其对天文因素的响应也影响到人类居住的环境。这些问题需要天文学和地球科学的交叉研究，对于人类认识和预测地球环境变化有重大意义。

### (五) 在全民素质教育中有不可替代的作用

宇宙丰富多彩、充满魅力，自古以来就吸引了人类极大的兴趣和关注。以研究宇宙为根本任务的天文学自然就成为传播科学知识和科学思想方法最积极而有效的学科之一。天文学的每一项重大成就都大大地丰富了人类的知识宝库，给愚昧和迷信以沉重打击。哥白尼的日心学说把自然科学从神学中解放出来，开创了人类思想史上第一次伟大的革命，就是最好的例证。

培养数以亿计高素质的劳动者和数以千万计的专门人才，对我国 21 世纪社会和经济的发展有重大战略意义。天文学在提高全民族素质的历史任务中无疑有着不可替代的作用。天文学不仅可以培养人们强烈的求知愿望、勇于创新的精神和科学的思维方法，而且更可以帮助他们认识人类在自然界和宇宙中的地位，树立起辩证唯物主义的认识论和正确的世界观。

## 二、国外天文学研究的发展趋势和前沿

当代天文学发展的最显著特点是观测手段的迅速发展和全波段研究的开拓。近 10 年来一系列大型的先进设备相继投入使用，包括口径 10m 级的光学望远镜、口径 2.4m 的哈勃空间望远镜、高灵敏和高空间分辨率的空间紫外、红外、X 射线和  $\gamma$  射线望远镜、地面和空间长基线射电望远镜等。这些设备的使用使各波段的空间分辨率和探测能力都有量级的提高，从而使各波段的观测资料第一次得到匹配，开创了天文学全波段研究的崭新纪元。

在探测手段和能力方面，当前国际上天文学的发展重点是：

### 1. 追求更高的空间、时间和光谱分辨率

新一代地基和空间观测设备(如光干涉阵 GIAI)将使光学观测的空间分

分辨率达亚角秒级。空间 VLBI 设备将使射电波段的空间分辨率提高一个量级。月基天文台的建造将成为现实。

## 2. 追求更大的集光本领和更大的视场, 以进行更深的宇宙探测

十余架已完成或即将完成的 10m 级新一代光学/红外望远镜, 以  $1 \text{ km}^2$  接收面积为目标的巨型射电望远镜计划, 以及正在研讨的 25~100m 级巨型光学望远镜计划都是这方面的重要努力。

## 3. 实现全波段的探测和研究

重点集中在毫米波、亚毫米波、红外以及高能 X 射线和  $\gamma$  射线探测方面。除了 10m 级光学/红外望远镜和新的 VLBI 射电阵以外, 已发射的各类天文卫星, 如 ASCA, WMAP, XMM, ISO, CGRO, Galex, Spitzer, SOHO, 哈勃空间望远镜以及钱德拉卫星, 都取得了许多令人振奋的成果。正在建造或计划中的新一代卫星, 如 X 射线卫星 Constellation-X、红外卫星 ASTRO-F、微波背景卫星 PLANCK, 红外和亚毫米波段 JWST 和 Herschel 空间望远镜, 以及空间 VLBI 等, 在性能上都有很大的提高。所有这些将使天文学的研究跨上一个新的台阶。

## 4. 建立资料更完善、使用更方便的数据库

它们向全世界开放, 以使大量的天文实测资料得到更有效的利用。美国 NASA 正在建立和完善的 SSDS (空间科学资料系统) 就是这方面的一个最新的努力。

在研究内容方面, 当前天文学的主流是天体物理学, 研究的重点是天体的活动和演化。具体地说, 有以下一些方面:

对太阳的研究, 除了建立全球观测网对日震学开展深入研究外, 突出地集中在两个方面: 一是对日地空间和人类活动有重大影响的太阳活动的多波段观测和研究。一些活跃的课题包括太阳耀斑的高能辐射、日冕物质抛射机制等。这些研究越来越紧密地同空间物理、地球物理的研究相交叉, 促进空间天气学的进一步发展; 二是对太阳表面各种尺度磁场结构的高分

分辨率观测和研究,包括太阳基本磁元、活动区磁场等。磁流体动力学的理论和数值模拟研究进一步深入,三维的磁流体动力学模拟将用于太阳活动的多个方面的研究中。

对太阳系的研究成为十分活跃的领域。美国的“勇气”号和“机遇”号先后登陆火星,找到了火星曾经有水的初步证据。这对探测地外生命的存在和起源是一个突破。我国的探月工程也在开展之中,对探测月球物质资源的分布,开发和利用月球具有重大意义。

在恒星层次,最活跃的研究领域是恒星的早期和晚期演化及相关的物理过程和活动现象的研究。一些重要的新发现和突破性进展,诸如星际分子和脉冲星的发现,恒星行星系统的发现、星震学的诞生、双星系统中黑洞的证认等大多集中在这个领域。毫米波和红外天文的发展,使分子云和恒星形成的研究成为恒星研究的热点。作为恒星演化的归宿和恒星层次最剧烈的活动,超新星及其前身星、中子星、脉冲星和恒星级黑洞等致密天体的研究是天体物理研究最活跃的前沿领域之一。密近双星及其演化的研究,以及涉及恒星内部结构、对流和演化的研究,依然是一些前沿热点。 $\gamma$ 暴余辉的发现和光学对应体的证认使 $\gamma$ 暴的研究更趋热化。

在星系和宇宙层次,以宇宙微波背景辐射各向异性探测(如 WMAP, PLANCK)、大规模星系和类星体巡天(如 SDSS, 2dF)、宇宙基本参数测定(如寻找高红移超新星、大面积弱引力透镜巡天)、哈勃空间望远镜深场观测等为先导的一系列重大天文观测,已经把星系宇宙学研究推进到了黄金发展时期。多波段和全方位的研究,已将天文观测、数据处理、数值模拟、理论研究结合于一体,并逐渐形成一个理解宇宙和星系所有观测性质的统一概念框架,其中暗物质和暗能量的本质、第一代天体的形成、星系的形成和演化、星系活动性和黑洞的形成等将成为建立这个概念框架的关键性科学问题。暗物质和暗能量观测研究,将向自然科学,特别是物理学提出挑战,并极可能在未来十年孕育出新的物理和重大发现。

基本天文方面,天体力学与动力天文学研究越来越重视与天文观测的结合,并且与天体物理及其他相关学科的结合日益紧密。太阳系 Kuiper 天体和太阳系外行星的发现促使天体力学与动力学天文学的研究与恒星形成

等传统天体物理领域相交叉,从不同角度共同探索天体的演化;同时空间对地观测技术发展日趋成熟和行星内部结构动力学的研究,将有助于地球动力学和比较行星学研究的发展。空间测量技术的发展已将天体测量学与天体力学研究工作更紧密地联系在一起,时间的精密测定和天文参考系的精确化已成为它们的共同任务,天体测量与天体力学的联系日益加强。从课题研究上看,在未来几年内,高精度天体测量参数与应用是天体测量学主要研究领域,天文地球动力学是天文学与地球科学共同关注的交叉研究课题,太阳系天体动力学仍是天体力学的重要研究方向,行星系统形成和演化以及行星内部动力学过程将是热点和前沿。

### 三、国内天文学研究的现状、优势和特色

#### (一) 研究现状

改革开放以来,我国天文学研究有了长足的发展,逐步形成了从人才培养、仪器设备研制、观测和理论研究到应用服务的较完整的体系。在国际核心杂志上发表的论文大大增加,有些成果在国际上有较高的显示度和影响。我国天文学家还担任了国际天文学联合会副主席和专业委员会主席等重要职务。我国天文学研究的总体水平在发展中国家中位居前茅,在国际上也成为一支不可忽视的力量。

##### 1. 实测基础初步形成

几个中型观测设备的建成标志着我国初步形成了天文学研究的实测基础。它们是:2.16m, 1.56m, 1.26m 和 1m 反光望远镜,太阳磁场和多通道望远镜,60cm 塔式太阳望远镜,米波综合孔径射电望远镜,13.7m 毫米波射电望远镜以及 VLBI 网等,其中有一些设备达到了国际先进水平。这些设备的使用相当程度地改善了观测天体的能力,开拓了新的研究领域。此外,还开展了气球 X 射线和远红外观测。目前国家天文台的怀柔太阳观测站已成为国际上太阳物理界的主要观测站之一;兴隆观测站已成为北半球夏威夷以西、中亚以东这一广阔经度范围内主要的夜间光学和红外天文台之一。

上海天文台和乌鲁木齐天文站的 VLBI 站已成为亚洲、欧洲和国际 VLBI 网中的重要成员。

## 2. 科技队伍成长起来, 形成了一批优秀的研究集体

目前我国从事天文学研究的主要单位有十余个。从事天文研究的高级科研人员约 300 余人, 其中 45 岁以下的青年人近 1/2。从事天文技术工作的高级工程师约百余人。经过多年的科研实践和国际合作研究, 形成了一批在国内外有影响的学术带头人及相对稳定的科研集体。青年人中不少已崭露头角: 有 4 人获中国青年科学家奖和提名奖, 24 人获国家杰出青年科学基金。

## 3. 取得了一批国际上有显示度的重要成果

近年来, 我国天文学家积极申请国际大型观测设备时间, 利用国际上释放的高质量观测数据, 发挥我国中小观测设备专用性强的优势, 并积极配合理论研究, 在双星结构和演化理论、双星系统对星族合成理论的影响、伽马射线暴余辉动力学、银河系的磁场分布、银河系的化学结构和演化、银河系的星团分布和动力学、暗能量和暗物质的物理本质、星系团物理量的标度关系、2dF 和 SDSS 巡天大样本红移巡天的统计分析、WMAP 全天宇宙微波背景辐射的数据分析、宇宙结构形成的高精度模拟、侧向近邻漩涡星系的深度面源测光、星系相互作用和并合、活动星系核和吸积盘的理论模型、太阳磁场和速度场、耀斑大气结构和动力学研究、日冕物质抛射和空间天气学, 以及高能数据处理方法等诸多研究方面都取得了重要进展, 得到国际同行的重视和好评。

在基本天文方面, 指出了双曲结构是引起 Hamilton 系统轨道扩散黏性效应的本质机制, 给出了相对论框架下具有坐标不变性的 Lyapunov 指数的定义, 证实了行星碰撞等随机因素在 Kuiper 带天体的动力学演化中具有重要作用, 理论推导了行星近点长期共振的判据并得到了实测结果的验证, 发现旋转球形流体波动分析解并由此建立一套新的行星内部对流理论, 在空间碎片监测及短弧定轨研究方面取得显著进步, 初步建立了我国月球探

测器 VLBI 测量信息处理系统，特别是在卫星导航定位新方法和新概念研究方面已取得重要突破。

## (二) 优势、特色和差距

### 1. 地域的优势

由于地球上特定的地点只有一定时间才能观测到一定范围的天区，气象条件也会影响观测，所以许多天文观测需要全球合作。我国地处亚洲，幅员辽阔。对于许多需要长时间观测的研究课题，诸如太阳的研究、变星和超新星的监测、活动星系的监测和 VLBI 网等，我国是不可替代的国际合作伙伴，具有独特的地位。

### 2. 仪器的特色

现有的观测设备中有一些在国际上具有一定的特色，例如：太阳磁场和多通道望远镜可测太阳大气不同层次的磁场；CCD 大样本多色巡天可做大样本的多色测光，效率很高；智能化超新星巡天系统效率高，成果大，别具特色；太阳双波段二维成像光谱仪和时间分辨率达 1~10ms 的射电快速频谱仪的某些指标属国际先进等。

### 3. LAMOST 的优势

正在建造的“大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜”(LAMOST, 国家大科学工程)采用我国独特的设计,可在几年的时间内提供百万类星体、千万星系和恒星的光谱,如能按期按质建成,将使我国在宇宙天体的大样本光谱和银河系结构研究领域取得很大的优势。

### 4. 在课题研究方面,我国也有一些相对较强且活跃的领域

在这些领域,如前所述,已取得一批国际上有显示度的重要成果。

### 5. 差距

应当指出,尽管我国天文学研究已取得了显著的进步和发展,但同世界先进水平相比,差距仍然很大。这表现在:虽然我国已有一定的实测基



础,但主要是中小型观测设备,天文卫星一颗也没有,与国际上先进水平相差极大;我国天文研究的投资虽逐年增加,但经费仍相当有限,一般的课题经费仅及国外同类课题经费的 1/10;优秀拔尖的年轻学科带头人数量仍然不足;真正在国际上有重要影响的研究成果还较少。这些都有待今后花大力气努力加以改变。

### (三) 国家在天文学领域的相关计划和经费投入

我国“十五”以来在天文学领域先后安排了一系列重要的研究项目和计划,有效地推动和促进了我国天文学的发展。这些项目、计划和经费投入情况大体如下:

- **课题研究经费:**共约 3.6 亿元,其中科技部 7300 万元,基金委 1.47 亿元,中国科学院 1.42 亿元。具体有:

#### (1) 973 计划

3 个(一个与地学部交叉) 7300 万元

#### (2) 科学基金项目

重点项目 25 项 4212 万元

杰出青年科学基金 15 项 1760 万元

海外学者合作研究基金 7 项 280 万元

面上项目 270 项 7401 万元

主任基金项目 30 项 195 万元

国际合作项目 242 项 840 万元

#### (3) 中国科学院

重大和重点项目(方向性): 5000 万元

创新研究经费 9200 万元

- **设备经费: 10 亿元**

(1) 国家大科学工程 LAMOST 2.35 亿元

(2) 天文设备运行费专项 9750 万元

(3) 科学院设备更新费 1000 万元

(4) 科学院创新工程基地和实验室经费 9200 亿元