



清华大学天体物理学科介绍

陶嘉琳^{①②*}, 尚仁成^{①*}

① 清华大学物理系与天体物理中心, 北京 100084;

② 法国科学院马赛粒子物理中心, 法国

*联系人, E-mail: tao@tsinghua.edu.cn, src-dmp@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2011-01-20; 接受日期: 2011-03-08

摘要 简要介绍清华大学天文学科发展的历史以及清华大学天体物理中心目前的研究方向及主要的成绩. 这些研究主要包括: 卫星载带硬 X 射线调制望远镜的研究, 高能天体物理的研究, 光学波段的天文观测与研究, 宇宙学的研究, 引力波观测数据的分析与处理以及理论天体物理的研究.

关键词 高能天体物理, 超新星观测, 质疑 WMAP 宇宙学, 引力波数据分析, 磁流体力学

PACS: 01.10Hr, 95.30Qd, 95.75.De, 95.85.Nr, 98.80.Es

1 概况

2001 年清华大学校务会议批准建立清华大学天体物理中心(简称中心), 《关于成立清华大学天体物理中心的决定》规定“该中心是一个跨院系的开放式研究中心, 行政挂靠物理系”, 要求“立足物理科学和空间科技的前沿, 依托我校相关学科的综合优势, 以高能天体物理为重点, 通过多学科交叉和国内外合作, 开展前瞻性、创新性和有特色的高水平研究”. 清华天体物理中心由物理系、工程物理系、信息技术研究院等院系师生组成. 目前中心有教授 5 名, 副教授(副研究员) 4 名, Tenure track 助理教授一名, 讲师及其他人员 6 名. 对本科生、研究生和博士生的培养成绩显著.

中心学生学位论文工作获全国优秀博士论文奖、德国和瑞士使馆爱因斯坦奖各一人. 中心教师曾获何梁何利基金科学与进步奖、王淦昌物理学奖、教育部新世纪人才等奖励. 中心成立以来组织或联合组

织了第六次环太平洋区域恒星物理会议、第五届国际微类星体物理会议、硬 X 射线调制望远镜国际研讨会等国际会议和多次国内学术会议.

2004 年起清华大学天体物理中心和中科院高能物理研究所联合举办研究生天体物理学术讨论会, 每年一届. 除清华大学、中国科学院高能物理研究所师生外, 部分中国科学院紫金山天文台、国家天文台、上海天文台、中国科技大学、北京大学、南京师范大学等单位的师生也参与. 办会成果得到了北京天文学会的高度肯定, 自第六届开始作为北京天文学会学术年会, 由学会授予最佳报告奖和最佳提问奖, 以鼓励学生提高科研、表达和交流能力.

2 高能天体物理

2.1 空间天文

硬 X 射线调制望远镜 HXMT(Hard X-ray Modu-

引用格式: 陶嘉琳, 尚仁成. 清华大学天体物理学科介绍. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 515-520

Tao C L, Shang R C. Introduction for the discipline of astrophysics at Tsinghua University (in Chinese). Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41: 515-520, doi: 10.1360/132011-87

ation Telescope)由中国科学院和清华大学联合研制,清华天体物理中心承担高能望远镜电子学系统、反符合荷电粒子屏蔽系统、准直器、科学数据库与分析软件系统,还承担了卫星地面试验系统的研制(见图 1).HXMT 是我国第一颗自主研发和发放的空间天文卫星,采用原创的直接解调成像方法,实现宽波段 X 射线(1~250 keV)高分辨成像巡天,并对黑洞双星等天体进行高精度定点观测,研究它们的多波段 X 射线快速光变.2007 年 3 月,国防科学技术工业委员会发布《“十一五”空间科学发展规划》,要求“自主研发硬 X 射线调制望远镜,实现我国空间天文卫星零的突破”;同年 10 月,国务院批准发布《航天发展“十一五”规划》,指出“优先支持面向重大科学问题的自主创新项目,研制硬 X 射线望远镜”.从 2006 年 10 月开始,HXMT 卫星开始背景型号研究,2007 年 7 月,HXMT 卫星有效载荷总体技术方案和工程可行性论证报告通过评审;2007 年 9 月,卫星总体技术方案通过中国航天科技集团组织的评审.2008 年 4 月,HXMT 卫星通过中咨公司组织的立项可行性评估.2010 年 10 月国务院批准 HXMT 项目,将于“十二五”期间完成研制和发射,完成地面科学应用系统建设,开展科学观测.目前参加 HXMT 研究的有物理系和工程物理系的尚仁成、邓景康、张志、金永杰、周剑

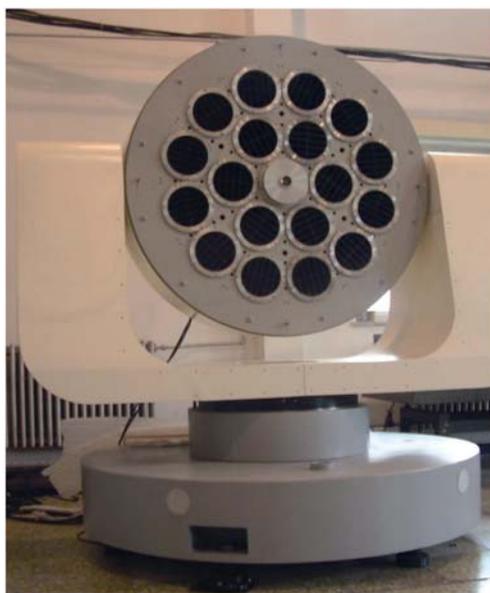


图 1 清华大学研制的 HXMT 地面高精度测试平台
Figure 1 High precision ground test stand for HXMT, designed and manufactured by Tsinghua University.

锋等十余位教师和若干名研究生.

中心还主持国家自然科学基金重点项目“空间 X 射线偏振仪”的研究,参与了载人航天后续项目空间实验室上空间伽玛射线偏振仪的标定任务,此项工作主要由刘聪展、凌志兴等人负责研究.

2.2 高能天体物理研究

天体物理数据中心已收集国外各高能天文卫星的观测数据近 5000 GB,以此为基础建立的虚拟天文台初型“集成化天体物理研究平台”开放供校内外同行共用,目前,使用此平台开展工作的校内外用户已超过 320 人,主要由周剑锋副研究员负责平台的建设.

中心师生在数据分析方法发展和高能天体物理数据分析方面,得到了一批重要研究成果,例如发现了围绕 M87 喷流的 X 射线三环结构(图 2)此项工作主要由冯骅与张双南、楼宇庆、李惕碛等教授合作完成的^[1].

利用美国 NASA 的 Chandra 望远镜和欧洲的 XMM-Newton 望远镜对 M82 星系进行了 3 次联合观测,找到有力证据说明 M82 中可能存在两例中等质量黑洞(图 3),此工作由冯骅等人完成^[2,3].

建立时变分析的时间尺度谱方法,为分析快速

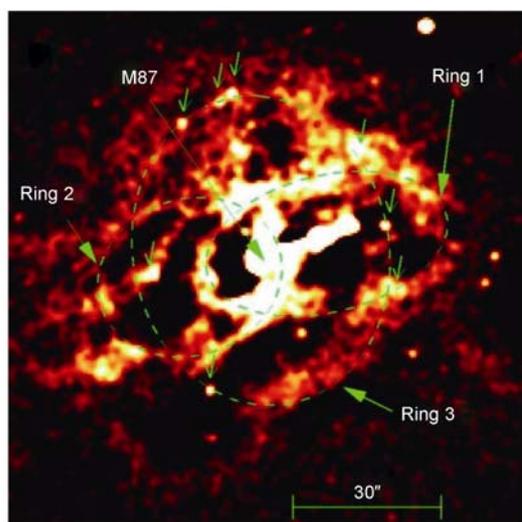


图 2 高能天体物理每周一图(HEASARC Picture of The Week)报道我们发现的围绕 M87 喷流的 X 射线三环结构
Figure 2 We discovered a three ring structure around the jet of M87, reported by HEASARC Picture of The Week. http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/objects/heapow/archive/active_galaxies/m87_rings.html.

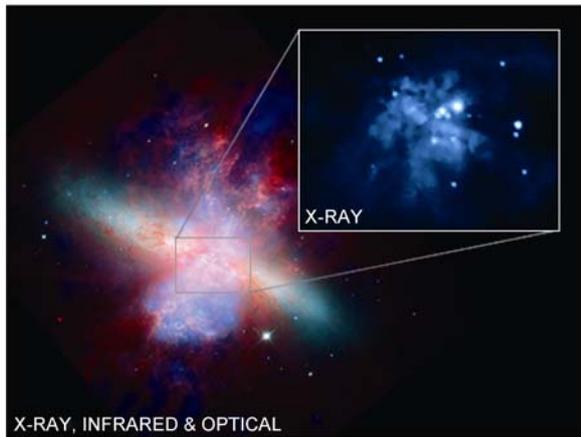


图3 NASA 新闻发布图片: M82 中可能存在两例中等质量黑洞

Figure 3 We have found 2 black holes candidates of medium mass in M82 in 2010 released by NASA news. http://chandra.harvard.edu/press/10_releases/press_042910.html.

光变提供了有力工具, 这方面的工作由李惕碛、冯骅、刘聪展等人^[4-7]完成。

3 光学天文

3.1 光学天文观测

2001年在校内天文台安装了40 cm小型天文望远镜, 用于全校学生普及天文教育的观测实践。2003年进口一台80 cm反射式天文望远镜, 与中国科学院国家天文台合作, 在河北兴隆建成清华大学-国家天文台望远镜(Tsinghua-NAOC Telescope, TNT)(图4)。



图4 安装在河北兴隆的80 cm天文望远镜 TNT

Figure 4 An 80 cm astronomical telescope named TNT was installed at Xinglong station of Hebei province.

2004年开始 TNT 正式投入观测。尚仁成教授领导了这两台望远镜的引进和相关建设。中心师生利用该望远镜系统地开展了超新星巡天并发现了若干新爆发的超新星(如 SNe 2005mc, 2005md, 2005mf, 2007G), 开展了其他瞬变天体观测(包括超新星、伽马射线暴余辉、活动星系核等)。

中心积极参与建设国家南极天文观测站。施密特望远镜阵是中国南极天文台建设的一个重要组成部分, 中心参与了3台有效口径50 cm的施密特望远镜阵列 AST3 建设, 并作为南极天文中心的成员参与望远镜的共同管理。中心将利用南极天文望远镜开展时域天文学(尤其是超新星精确宇宙学)研究, 陶嘉琳和王晓峰负责这方面的工作。南极天文台的中期计划是投放一台2.5 m光学/红外大视场巡天望远镜, 开展暗能量的研究, 中心也将积极推动和参加该项目的工作。

3.2 超新星研究

在超新星的观测性质及在宇宙学中的应用、核塌缩超新星的前身星证认、超新星光度函数以及超新星产生率等领域取得了一系列重要成果, 王晓峰负责这方面的研究工作: 提出了 Ia 型超新星光度校正的色参数方法^[8], 并得到了相关理论研究的支持; 基于该方法, 我们得到了河外星系尘埃的平均选择吸收系数 $R_v = A_v / [E(B-V)] = 2.3$ (A_v 为消光量, $E(B-V)$ 为色余), 这不同于银河系的尘埃 $R_v = 3.1$ 。这也是少数几个较早得到 Ia 超新星具有非标准能尘埃消光的研究之一。

提出了高速和正常膨胀 Ia 超新星的概念并建立了谱分类依据^[9]。这一谱分类揭示了以前被认为是均匀的两类 Ia 超新星之间存在显著的测光差异, 将超新星测距的精度提高了50%(如由9%~6%), 该研究也有助于理解 SN Ia 爆发物理和前身星的差异。

利用8台地面望远镜的光学/红外观测数据以及 HST 和 swift 的紫外观测数据首次得到真正的 SN Ia 的热光变曲线, 以及 SN Ia 紫外和红外光学辐射占热光度的比例^[10]。

开展了核塌缩超新星前身星的证认研究, 得到了 II-P 型超新星 SNe 2004dj, 2006my, 2006ov 的前身星的主序星质量分别为~12, 10^{+5}_{-3} , 15^{+5}_{-3} 个太阳质量, 验证了 SNe IIP 起源于质量为8~20的低质量红巨星的恒星演化理论^[11]。

4 引力波天文

激光干涉引力波天文台 LIGO 是目前世界上精度最高的引力波直接探测装置, 清华大学曹军威教授领导的 LIGO 工作组借助学科交叉和国际合作平台, 在应用赛百平台(Cyberinfrastructure)、网格(Grids)和海量数据管理等先进计算技术支持下在 LIGO 数据分析与共享方面的工作取得良好进展, 得到了国际同行的认可, 2010 年 9 月 LIGO 科学合作组织理事会议接受清华大学成为第一个来自中国的 LIGO 科学合作组织 LSC 成员.

5 宇宙学

李惕碛院士领导的和中国科学院高能物理研究所联合的小组发现了美国宇宙微波背景探测卫星 WMAP 公布的微波背景温度图存在严重系统误差^[12,13]. 独立发展了 WMAP 数据分析软件系统, 并在清华天体物理中心网站公布. 用自己的软件重新分析 WMAP 原始数据产生出新的温度图^[14,15], 与 WMAP 官方温度图存在重大差异. 找出了 WMAP 组数据处理过程中的错误, 提出了修正方法^[16~18]. 国外学者利用开放程序包得到的结果支持我们的结论. 该项研究在清华大学天体物理中心主持的自然科学基金重点项目“微波背景辐射数据分析与研究: 宇宙学参数与早期宇宙演化”的资助下, 在国内外同行日益广泛的关注和参与下(见图 5), 正在深化进行.

我们还将通过南极天文台项目以及参与国际合作超新星观测研究暗能量及其他宇宙学前沿课题.

6 理论天体物理研究

楼宇庆教授领导了清华大学天体物理的理论研究, 研究领域包括: 天体旋转盘物理^[19]、流体和磁流体密度波理论研究及其旋涡星系和旋臂星系风中的应用; 高能宇宙射线^[20]与星系磁场的相互作用研究; 太阳震、太阳无力磁场模型、太阳风、行星际空间扰动、日球和日冕物质抛射的流体和磁流体物理研究; 恒星冕磁重力波研究; 脉冲星磁层、旋转天体磁流体

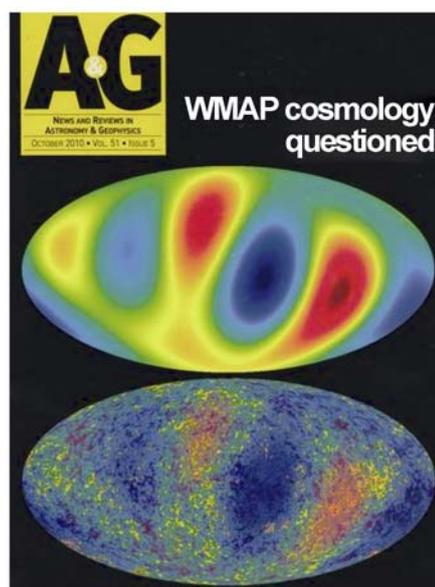


图 5 质疑 WMAP 宇宙学—2010 年 10 月英国皇家天文学会刊物 *News and Reviews on Astronomy & Geophysics* 载文详细评价了我们对于 WMAP 结果的质疑, 图为该期封面

Figure 5 In Oct. 2010 the journal of Royal astronomical association of England *News and Reviews on Astronomy & Geophysics* published an article giving detailed comments about our questioning about the present WMAP cosmology, the picture is the cover of that issue of the journal.

潮汐波及其对电磁脉冲信号的影响; 木星内辐射带及全球的准周期性变化研究^[21]; 流体和磁流体塌缩、外流、激波、空穴、辐射理论及云核中恒星形成模型和侦测(分子谱线型、亚毫米波连续谱、尘埃消光等)研究^[22~24]; 超新星爆发和遗迹磁场研究^[25]; 行星状星云动力学及其光波和弥散 X 射线辐射; 大质量恒星核坍缩时的涡流和重力波模不稳定性及反弹激波和残存致天体质量的研究; 中子星和恒星质量黑洞的初始踢速度^[26]; 致密天体强磁场起因研究^[27]; 星系团风流体和磁流体动力学及磁化 Sunyaev-Zeldovich 效应研究^[28](可用 Herschel 观测); 星系超大质量黑洞与核球性质的相关性研究^[29]; 中等质量黑洞与球状星团性质的相关性研究; 矮星系 Segue 1 的暗物质侦测^[30].

参考文献

- 1 Feng H, Zhang S N, Lou Y Q, et al. X-ray triple rings around the M87 galaxy in the core region of the Virgo Cluster. *Astrophys J*, 2004, 607:

L95–L98

- 2 Feng H, Kaaret P. Identification of the X-ray thermal dominant state in an ultraluminous X-ray source in M82. *Astrophys J*, 2010, 712: L169–L173
- 3 Feng H, Rao F, Kaaret P. Discovery of millihertz X-ray oscillations in a transient ultraluminous X-ray source in M82. *Astrophys J*, 2010, 710: L137–L141
- 4 Li T P, Muraki M. Power spectra of X-ray binaries. *Astrophys J*, 2002, 578: 374–384
- 5 Feng H, Li T P, Zhang S N. Diagnostics of neutron star and black hole X-ray binaries with X-ray shot widths. *Astrophys J*, 2004, 606: 424–429
- 6 Li T P, Qu J L, Feng H, et al. Timescale analysis of spectral lags. *Chin J Astron Astrophys*, 2004, 4: 583–598
- 7 Che X, Liu C Z, Li T P. Variability coherence in the time domain. *Astrophys J*, 2007, 660: 1393–1397
- 8 Wang X F, Wang L F, Zhou X, et al. A novel color parameter as a luminosity calibrator for type Ia supernovae. *Astrophys J*, 2005, 620: L87–L90
- 9 Wang X, Filippenko A V, Ganeshalingam M, et al. Improved distances to type Ia supernovae with two spectroscopic subclasses. *Astrophys J*, 2009, 699: L139–L143
- 10 Wang X, Li W, Filippenko A V, et al. The golden standard type Ia supernova 2005cf: Observations from the ultraviolet to the near-infrared wavebands. *Astrophys J*, 2009, 697: 380–408
- 11 Wang X F, Yang Y B, Zhang T M, et al. The progenitor of SN 2004dj in a star cluster. *Astrophys J*, 2005, 626: L89–L92
- 12 Li T P, Liu H, Song L M, et al. Observation number correlation in WMAPdata. *Mon Not Roy Astron Soc*, 2009, 398: 47–52
- 13 Liu H, Li T P. Systematic distortion in CMB maps. *Sci China Ser G-Phys Mech Astron*, 2009, 52: 804–808
- 14 Liu H, Li T P. Improved CMBmap from WMAPdata. arXiv: 0907.2731
- 15 Liu H, Li T P. Inconsistence between WMAPdata and released map. *Chin Sci Bull*, 2010, 55: 907–909
- 16 Liu H, Li T P. Pseudo-dipole signal removal from WMAP data. *Chin Sci Bull*, 2011, 56(1): 29–33
- 17 Liu H, Xiong S L, Li T P. Diagnosing timing error in WMAP data. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2011, in press
- 18 Liu H, Li T P. Observational scan induced artificial CMB anisotropy. arXiv: 1101.2720v1
- 19 Shen Y, Liu X, Lou Y Q. Structures in a class of magnetized scale-free discs. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2005, 356: 1333–1356
- 20 Amenomori M, Ayabe S, Bi X J, et al. (The Tibet ASy Collaboration) Anisotropy and corotation of galactic cosmic rays. *Science*, 2006, 314: 439–443
- 21 Lou Y Q, Zheng C. On the importance of searching for oscillations of the jovian inner radiation belt with a quasi-period of 40 minutes. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2003, 344
- 22 Gao Y, Lou Y Q. Global collapses and expansions in star-forming clouds. *Mon Not R Astron Soc*, 2010, 403: 1919–1929
- 23 Shen Y, Lou Y Q. Shocked similarity collapses and flows in star formation processes. *Astrophys J Lett*, 2004, 611: L117–L120
- 24 Lou Y Q, Shen Y. Envelope expansion with core collapse. I. Spherical isothermal similarity solutions. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2004, 348: 717–734
- 25 Lou Y Q, Wang W G. Magnetohydrodynamic rebound shocks of supernovae. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2007, 378: L54–L58
- 26 Cao Y, Lou Y Q. Adiabatic perturbations in homologous conventional polytropic collapses of a spherical star. *Mon Not R Astron Soc*, 2010, 403: 491–495
- 27 Hu R Y, Lou Y Q. Magnetized massive stars as magnetar progenitors. *Mon Not R Astron Soc*, 2009, 396: 878–886; Gao Y, Lou Y Q. Global collapses and expansions in star-forming clouds. *Mon Not R Astron Soc*, 2010, 403: 1919–1929
- 28 Hu J, Lou Y Q. Magnetic sunyaev-zel'dovich effect in galaxy clusters. *Astrophys J Lett*, 2004, 606: L1–L4
- 29 Lou Y Q, Jiang Y F. Supermassive black holes in galactic bulges. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2008, 391: L44–L48
- 30 Xiang-Gruess M, Lou Y Q, Duschl W J. Dark matter dominated dwarf disc galaxy segue 1. *Mon Not R Astron Soc Lett*, 2009, 400: L52–L56

Introduction for the discipline of astrophysics at Tsinghua University

TAO CharLing^{1,2*} & SHANG RenCheng^{1*}

¹*Tsinghua Center for Astrophysics (THCA) and Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;*
²*CPPM, IN2P3/CNRS, France*

The present paper introduces briefly the historical development of astronomy at Tsinghua University and the present status of the Tsinghua Center for Astrophysics (THCA), its main research areas and related achievements. Besides training of excellent students, research areas include: hard X-ray modulation telescope (HXMT) based on satellite, high energy astrophysics, astronomical observation and study at optical wavelength, cosmology, data analysis of gravitational wave measuring experiment and theoretical astrophysics study.

high energy astrophysics, supernovae observation, questioned WMAP cosmology, gravitational wave data analysis, magnetic hydrodynamics

PACS: 01.10Hr, 95.30.Qd, 95.75.De, 95.85.Nr, 98.80.Es

doi: 10.1360/132011-87