

何泽慧先生与粒子天体物理研究

宋黎明

(中国科学院高能物理研究所 100049)

在距离地球550千米、倾角43度的轨道上运行着我国第一颗X射线天文卫星,正在不断地接收着来自遥远天体的高能辐射信息,这颗卫星的名字叫作“硬X射线调制望远镜”,又名“慧眼”。这个名字,表达了我们对卫星取得成果的期盼,同时也是对我国著名科学家何泽慧先生的纪念,是对何泽慧先生在我国高能天体物理学科建设上的远见卓识和坚定支持的致敬。

何泽慧先生是世界著名科学家,发现了铀核裂变的新方式——三分裂和四分裂现象,对核物理研究有重要贡献。何泽慧先生回国后带领研究队伍成功研制了性能达到国际先进水平的原子核乳胶,成为核乳胶方面的专家,也使中国成为当时少数几个能生产核乳胶的国家之一。在何泽慧先生领导下我国中子物理和裂变物理研究建立了实验基础,而且为我国的核武器研制提供了许多重要核数据,为核武器研制作出了重要贡献。

粒子天体物理是粒子物理、高能天体物理和宇宙学这几个学科的融合,其研究内容包括以宇宙学、宇宙线和其他高能天文现象为基础研究粒子物理,同时也包括利用粒子物理知识研究相关的宇宙线物理、天体物理和宇宙学。我国的粒子天体物理学科始于宇宙线研究。1950年,中国科学院近代物理研究所成立了宇宙线组,研究人员主要为归国科学家,以小云室为探测手段开展粒子物理研究,随后研究方向逐渐扩展。1964年11月,当时的原子能研究所在云南落雪山海拔3220米的海子头山顶上建成了一套大型云室系统,这套大型云室系统在当时世界同类装置中规模最大、性能指标最先进,并于1972年得到了一个可能的重质量粒子事例(事

例编号16580),即云南站事例。这个结果获得了1978年的全国科学大会奖。

1973年,中国科学院高能物理研究所成立后,何泽慧担任副所长。由于加速器能量不断提升,云室优势工作能区不断被压缩,宇宙线研究新手段、新课题、新方向的选择变成了需要解决的核心问题。何泽慧先生指出,在我国还没有加速器的条件下,需要利用核物理的知识和技术,以宇宙天体为实验场地,开展交叉学科研究,以培养新的学科生长点。1977年6月高能所召开了宇宙线研究规划会议,张文裕、何泽慧、力一等所领导参加了会议。经过热烈的讨论,这次会议明确了更高能区的观测和超高能作用研究、空间观测和高能天体物理研究两个主要发展方向。

针对第一个研究方向,即更高能区的观测和超高能作用研究,必须尽可能地扩大探测接收度(探测面积、接收时间、有效立体角)。考虑的具体方案:1)到更高海拔建立百平方米量级的、全时间灵敏的、大立体角的高山乳胶室,探测宇宙线广延大气簇射($10^{14}\sim 10^{16}$ eV)轴心区的高能(TeV以上)粒子,研究这个能区的强子-核作用特征以及初级宇宙线的能谱和成分;2)在不同海拔高度建立更大探测面积(万平方米级以上)、基本全时间灵敏的、大立体角的广延大气簇射粒子取样阵列,研究超高能区的强子-核作用特征以及初级宇宙线的能谱和成分。而第二个研究方向,即空间观测和高能天体物理研究,需要在空间开展宇宙X射线和低能段 γ 射线的探测。这是一个全新的研究方向,需要从零开始相关的研究工作。20世纪80年代初,高能所宇宙线研究室开始发展我国用于运载空间科学观测设备

的高空气球,包括平流层科学气球的设计制造、空间探测的测控,以及高空气球的放飞和回收;同时开始了空间硬X射线探测器的研制,先后研制了以高压充氩多丝正比室为基础的STAR系列和以复合晶体探测器为基础的HAPI系列探测器,并开展了球载无源空间核粒子探测器制作等工作。

何泽慧先生不仅在学科发展方向上高瞻远瞩,提出了切实可行的发展方针,在具体工作开展过程中也积极推动,给予了巨大支持。

核乳胶作为核物理实验中的径迹探测器,具有体积小、轻便、能将高能粒子的径迹永久保存等特点,其独特的空间分辨率可用于研究极短寿命粒子,是宇宙射线和粒子研究的重要探测手段。在何泽慧先生的倡导与支持下,高能物理研究所宇宙线研究室通过国内、国际合作,在6500米(珠穆朗玛峰附近)、5500米(西藏甘巴拉山)、4300米(西藏羊八井)以及3200米(云南落雪山)不同海拔高度上建设了多个核乳胶室,完成对超高能 γ 射线、质子、He核等流量的测量,取得了世界瞩目的研究成果(图1)。

超高能广延大气簇射轴心区的高能粒子击中水体,可能发出水声波。1975年,以水声效应探测超高能宇宙线粒子EAS的设想成为很活跃的课题。1978年中,何泽慧和霍安祥两位先生提出跟踪这种探索手段的建议。在他们的推动下,宇宙线研

究室组建了水声组,并在何泽慧先生的积极帮助下,与中国科学院声学研究所建立了合作关系,开始了超高能宇宙线粒子水声探测可行性研究。

20世纪80年代,甚高能(VHE) γ 射线天文观测进入蓬勃发展时期,利用甚高能 γ 射线和大气作用产生的切伦科夫光寻找原初黑洞爆发形成的甚高能 γ 射线爆发和天体的甚高能 γ 射线辐射成为当时研究的热点方向之一。1985年,在何泽慧和霍安祥两位先生的建议和支持下,宇宙线研究室组建了VHE- γ 射线组,开始研制大气切伦科夫望远镜。在何泽慧先生的帮助和推动下,利用中国科学院北京天文台(现国家天文台)研制光学望远镜的经验合作研制了切伦科夫望远镜,并部署在北京天文台兴隆观测站开展观测研究(图2)。

在空间观测和高能天体物理研究方面,何泽慧先生高度关注,给予了非常大的支持,积极推动这一新研究方向的起步和发展。1978年,我国第一次高空气球工作会议在高原所举行,何泽慧先生发表了热情洋溢的讲话,对我国空间天文探测的起步给予了坚定的支持。随后,高原所同中国科学院大气物理所、空间科学中心、紫金山天文台等合作,在李惕碛、顾逸东等领导下,经过几年的努力,在河北香河大气物理所观测站建成了万立方米级高空科学气球技术系统。何泽慧先生多次到发放高空气球

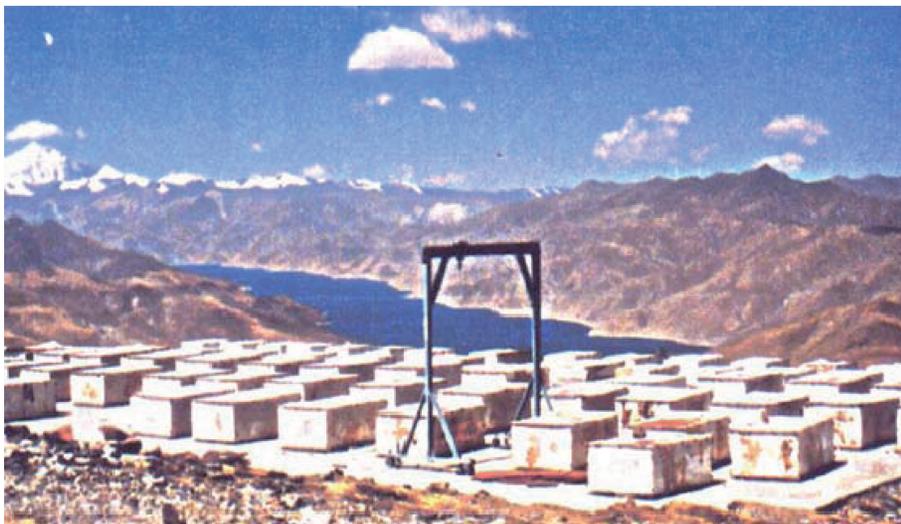


图1 中日合作乳胶室实验基地外景



图2 安装在兴隆观测站的自动跟踪大气切伦科夫望远镜现场, 表达对高空气球和高能天体物理研究的坚定支持(图3)。

1993年7月, 李惕碛、吴枚提出了直接解调成像算法, 其核心思想是通过观测模式的设计和离线数据处理的结合, 利用准直型望远镜实现高精度扫描成像。1993年9月25日, HAPI-4 搭载 18 万立方米气球升至 36–38 km 的高空, 对天鹅座天区进行扫描观测, 获得了天鹅座 X-1 的硬 X 射线能谱, 并在国际上首次成功地用非成像的准直型望远镜实现了高精度成像的空间观测, 有力证实了直接解调成像方法的可行性。随后, 李惕碛和北京天文台(国家天文台)李启斌等提出了“硬 X 射线调制望远镜”(Hard X-ray Modulation Telescope, 简称 HXMT)



图3 1978年何先生和钱先生在香河气球发射站观看 300 立方米的气球发放现场

卫星设想。但卫星立项进程并不顺利, 在此期间, 何泽慧先生向温家宝总理递交了信件, 表达对 HXMT 卫星项目的支持和对立项的迫切心情, 这封信件为卫星项目的立项起到了积极的推动作用。几经周折, 直到 2011 年 3 月, 国家国防科技工业局和财政部联合下达关于 HXMT 卫星工程立项的批复, HXMT 卫星终于正式进入工程研制阶段。

2017 年 6 月 15 日上午 11 点整, HXMT 卫星搭载长征四号乙运载火箭在酒泉卫星发射中心顺利



图4 慧眼卫星示意图

升空,上天后,被正式命名为“慧眼”卫星(图4)。慧眼卫星上搭载了三个主要科学载荷:高能X射线望远镜(HE, 20–250 keV, 5100 cm²),中能X射线望远镜(ME, 8–35 keV, 952 cm²)和低能X射线望远镜(LE, 1–10 keV, 384 cm²)。这样的探测器配置使“慧眼”具有宽的X射线探测能区、硬X射线能区的大面积、高时间和高能量分辨率、探测死时间小、在软X射线能区无光子堆积效应等优点。这些特点使得“慧眼”具有独特的研究天体宽能段X射线快速光变的能力,可以探索比以往更靠近黑洞视界或中子星表面的区域,从而开启了研究黑洞、中子星快速光变和能谱特性的新窗口。

慧眼卫星的设计寿命为4年,目前已在轨稳定运行6年半,各载荷在轨工作状态仍然良好,正在延寿运行。慧眼卫星获得了大量的高质量观测数据,吸引了国内外几十家研究机构的学者利用慧眼卫星的数据开展科学研究,已产生高质量论文超过200篇,引用近6000次。利用慧眼卫星的观测数据取得了多项原创和国际领先的成果:参与监测了人类首个双中子星并合引力波事件(GW170817)的电磁对应体,并对该引力波事件在MeV能段的辐射给出了最严格的限制(2017年);多次刷新宇宙最强磁场的探测记录(2020年中科院亮点成果);探测到距离黑洞最近的相对论喷流(2021年中国天文十大科技进展);首次证认快速射电暴的磁星起源(2021年中科院亮点成果)。习近平主席在2018年的新年贺词中将“慧眼卫星遨游太空”列为2017年我国标志性科技创新成果的第一条。在2021年“科技三会”上习近平主席又将“‘慧眼号’直接测量到迄今宇宙最强磁场”列为“基础研究和原始创新取得重要进展”之一。

慧眼卫星的成功研制对我国的空间天文研究有非常重要的推动作用,第一,由于当时我国工业基础十分薄弱,载荷研制过程十分坎坷,研制团队突破了大量的关键技术,这不仅保证了载荷质量的优异,同时锻炼了一支高素质的载荷研制队伍;第二,慧眼卫星是我国第一颗天文台级的空间天文卫

星,需要面对多样用户、多种目标和复杂模式的观测需求,完成了数据规范化和标准化、数据存储和共享、数据分析软件的开发和更新、标定数据库建设和更新、本底算法更新以及用户技术支持等一系列工作,很好的完成了在轨运行任务,为后续天文卫星的运行打下了坚实的基础;第三,慧眼卫星的运行,使得我国的空间天文研究从使用国外卫星的观测数据变化为根据需求设计观测方案、利用第一手观测数据开展研究的局面,凝聚了我国高能天文研究队伍,提升了我国高能天文研究的国际地位;第四,慧眼卫星的发射,使得我国迈入了可以提供原始观测数据的国家行列,观测数据质量得到国际天文学界认可,提升了在国际合作中的地位和话语权。

岁月荏苒,高能所宇宙线室的名称几度变迁,经历了从小到大、从弱到强的发展历程,其研究实力在各个方面都有极大的提升,探测手段从单一云雾室发展到拥有空间、高山、地下的多种大型观测设施;探测能力从小接收度(云室面积×立体角×积分时间)发展到大接收度探测设施;研究方向从侧重粒子物理研究发展到宇宙线物理、致密天体高能物理、宇宙学等研究领域,全面覆盖了粒子天体物理学科。这些发展都是和何泽慧先生的引领、支持分不开的。

何泽慧先生秉承报效祖国、追求真理的初衷,从不考虑自己的得失。她崇尚原创,提倡从第一手的原始数据出发获取新发现的理念;她倡导多学科交叉研究,提出“立足常规、着眼新奇”的发展思路;她身体力行破除“洋迷信”,鼓励年轻人勇攀高峰,坚守提携后辈的高尚品德。何泽慧先生总是保持着纯真的笑容,使人感受到她一直都有一颗童心,我想对科学的纯粹追求和心底无私的风范是她一直保持着“天真童心”的秘诀。

何泽慧先生不仅在科学研究中给我们作出了榜样,在她的身上也体现出对科学理念和科学精神的执着和坚持。我想对何泽慧先生最好的纪念,就是学习先生对国家的担当,牢记先生的教诲坚持她所倡导的科学理念和科学精神,并传承下去。