

2024年2月10日,农历大年初一,在中国科学院紫金山天文台暗物质与空间天文实验室的数据中心,设备井然有序地运行着,中国科学院院士、暗物质粒子探测卫星首席科学家常进正在有条不紊地接收、处理由中国科学家研制的暗物质粒子探测卫星“悟空”号(以下简称“悟空”号)传输回来的科学数据。

“常老师让当天的值班人员回家过年了,自己来

值班,这是我们后来才知道的。实际上,每次他一有空就会来数据中心,一待至少大半天。”中国科学院紫金山天文台(以下简称紫金山天文台)副台长、“悟空”号地面科学应用系统副总设计师范一中感叹,“他放不下这颗卫星,放不下暗物质粒子空间探测。”

茫茫宇宙中充满着大量不为人知的暗物质和暗能量。天文观测结果显示,暗物质占宇宙质量的25%、暗能量占宇宙质量的70%,而可以被人类观

测到的物质只占宇宙质量的5%。虽然天文观测已验证存在暗物质,但天文学家还没有找到物理上的直接证据来证明暗物质和暗能量的存在。

“悟空”号于2015年12月17日发射升空,至今在轨运行近9年,远超当年设计的3年寿命,完成全天区扫描16次,并如齐天大圣一般用它的“火眼金睛”探测到了超150亿个空间高能粒子。科研人员有望由此揭开暗物质的迷雾。

# “悟空”号：火眼金睛探寻暗物质

■本报记者 沈春蕾

## 1 虽存在但没被发现

什么是暗物质?范一中打了个比方:“暗物质就是看不见、摸不着的微小高速粒子,它们会从四面八方像子弹一般穿透包括人体在内的各种物体,但并不会造成任何损害。”

这个比方是有据可依的。早在20世纪30年代,瑞士天文学家弗里茨·兹威基在研究后发(Coma)星系团时,发现星系团中的星系弥散速度非常快,仅靠星系团中的发光物质根本束缚不住速度这么快的天体。由于根据维里定理计算出的星系团总质量,远大于根据光度计算出的星系团质量,他推测星系团中存在大量不发光的物质,将其称之为暗物质。

兹威基提出暗物质的想法后,并没有立即得到学术界的认可。当时测量星系速度的光谱仪精度还不是很高,学术界认为有可能是系统误差。

时间来到20世纪70年代,美国女天文学家薇拉·鲁宾采用当时世界上最先进的光谱仪观测到相似的结果,测量系统误差的说法也就站不住脚了。

鲁宾观测的是星系里恒星和其他星际物

质的旋转速度。根据万有引力定律,距离增加,速度下降。但她在实际观测中发现,距离增加,速度并没有下降,进而推断星系里存在大量看不见的暗物质,它们产生的引力将这些物质束缚在星系里。

从那以后,暗物质的概念逐渐得到学术界认可。这一概念印证了爱因斯坦完成广义相对论后说过的一句话:“宇宙中最不可理解的事,是宇宙居然是可以理解的。”当年爱因斯坦自认已经了解整个宇宙,但事实上,暗物质和暗能量的具体情况学术界至今都还没弄清楚。

研究发现,标准模型中所有已知的基本粒子没有一个与暗物质粒子相匹配,学术界至今尚未通过电磁波直接观测到暗物质。暗物质探测成为长久以来粒子物理和宇宙学的核心问题之一。

“如果能揭开暗物质粒子的神秘面纱,就能突破现有的标准物理学模型,使基础物理学领域产生革命性突破,这也是暗物质研究为什么这么热的原因。”范一中告诉《中国科学报》。

然而,ATIC并不完全适合研究暗物质。因为气球每次在高空停留的时间只有20多天,精度也不够高。与引力波探测不同,证明暗物质存在不能依靠单个测量事例,而是要通过大数据分析避免统计涨落,从而证明一种具有完全不同性质的新物质存在于宇宙中。

“要实现这些目标,最好的工具就是卫星。”常进说,“卫星不同波段的探测数据,可以呈现不同的物理构成,让我们看到没有看到过的新东西。”

从2002年开始,常进产生了一个想法:做一颗中国自己的卫星,到天上观测高能电子和伽马射线。他开始设计太空暗物质探测方案,尝试申请相关项目。其间,他还参与了嫦娥一号、嫦娥二号、嫦娥三号探月工程,并在中国科学院支持下,带领团队研制了一颗很小的暗物质粒子探测卫

星,搭载在实践卫星上开展观测。

与此同时,常进通过ATIC项目取得了重要发现——宇宙射线正负电子在能段超出天体物理背景模型。2008年11月,相关成果在《自然》发表,被美国物理学会和欧洲物理学会评选为当年物理学领域重大研究进展,该观测如果被证实,有可能是人类第一次发现暗物质粒子湮灭的信号。“湮灭意味着可观察,可观察意味着可找到,这使暗物质研究迎来曙光。”常进说。

2011年1月,中国科学院战略性先导科技专项“空间科学”正式立项,常进团队提出的暗物质粒子探测卫星顺利入围。

卫星立项后,包括常进、范一中等在内,团队一共只有5个人。“我是在2010年加入暗物质研究团队的,在此之前主要研究伽马射线暴。

相比完全陌生的暗物质,伽马射线暴是一个非常高产的研究领域。如果接受暗物质团队抛来的‘绣球’,就意味着研究要从零开始。”范一中最后还是决定加入这个项目,最终成长为团队的“大管家”。

该项目充分发挥中国科学院体系化、建制化优势,并面向院外开展了广泛、深入的合作。参与项目合作的科学家、工程师,分别来自中国科学技术大学、中国科学院高能物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中国科学院国家空间科学中心、中国科学院微小卫星创新研究院、意大利核物理研究所、瑞士日内瓦大学等。

“4年造一颗卫星,时间紧、任务重,但我们还是完成了。”范一中说,“常老师前期已经在技术领域积淀了10多年,真是从一穷二白干到现在。有这么好的基础,我们没理由‘掉链子’。”

## 2 这是一个疯狂的想法

我国的航天科技从1992年开始加大投入,并启动实施中国载人航天工程。常进也是在那一年加入紫金山天文台的。

随后,中国科学院高能物理研究所和紫金山天文台合作自主研发“太阳和宇宙天体高能辐射监测仪”,包括超软X射线、X射线和γ射线3种探测器。这是我国第一个空间天文探测项目。

其中,X射线探测器安装在神舟二号留轨舱,用于开展伽马射线暴和太阳X射线耀斑观测,成功获得大量太阳耀斑,也为后来的空间天文探测项目打下了坚实基础。

作为当年的项目成员之一,常进回忆:“我们是第一次做航天项目,主要跟着国外学。人家起步早,我们要追赶难度很大。我也是从这个项目开始思考,有没有可能开辟一条属于自己国家的新道路?”

从1995年开始,常进将研究方向确定为高能电子和高能伽马射线的观测方法。他说:“国际上这个领域的研究刚刚起步,我们通过努力取得突破,就可能在短时间内赶上国际前沿,取得让世界瞩目的成果。”

说干就干,他带领团队在实验室里“鼓捣”了整整3年,积累了一些经验,但他认为还谈不上有所突破。

1998年,常进前往德国马克斯·普朗克太阳系研究所进修,参与了所有能参与的高能电子和伽马射线相关讨论。这一年,他在高能电子和伽马射线领域的研究迎来突破,他提出了一种新的观测方法,采用既便宜又轻薄的探测器就能观测到高能电子和伽马射线。此前的传统观念是,要达到观测到高能电子和伽马射线这个目标,必须使用昂贵、厚重的探测器。

怎样才能验证自己提出的新方法呢?常进了解到,美国宇航局将在南极开展一个先进薄电离量能器(ATIC)实验项目,用高空科学气球携带高能粒子探测器观测宇宙线。他意识到机会来了。他给美国科学家写信介绍自己的方法,并表示可以在不改动ATIC硬件的情况下,观测高能电子和伽马射线。

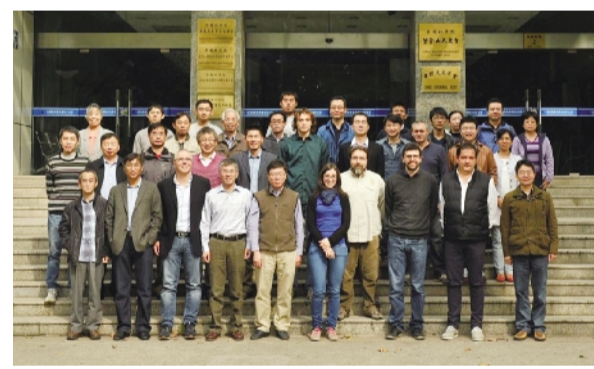
但是,美国科学家认为这是一个疯狂的想法,根本不可能实现。

于是,常进从德国飞到美国,尝试说服对方。“刚到实验室,他们就要求我用计算机算出探测器的参数。我拿着他们的电脑,先将所有想法编成程序,计算出各种参数,再一一进行核对。”

常进聚精会神地工作了整整36个小时,因为他知道一旦出错就会错过这次验证机会。他的计算结果跟美方的参数基本一致,让美国科学家认可了他的新方法,并将便宜又轻薄的探测器送到瑞士的加速器上,最后证实新方法完全可行。过程中,常进还取得了一个意外收获——美国科学家同意将南极气球实验数据交由他来分享。

2001年初,约足球场大小的ATIC南极气球搭载将近两吨的探测器缓缓上升到37公里的高空。常进利用探测器采集到的数据,只用两三天时间就将高能电子、高能伽马射线全部找了出来。

ATIC南极气球总共飞行4次,常进在分析其探测数据的过程中,发现一个奇异的现象:“我们观察到的高能电子比理论计算要多,最开始以为是仪器出了问题,后来花了一年时间,用各种方法检查后发现不是仪器的问题,这些多出来的电子来自哪里呢?这个时候,我们想到了暗物质。”



2015年“悟空”号国际合作组会议合影。彭晓艳/摄



2023年12月9日,“悟空”号数据分析小组开会讨论。范一中/摄



第四次ATIC南极气球实验现场照片。胡一鸣/摄 郭刚制版

## 3 暗物质研究迎来曙光

星,搭载在实践卫星上开展观测。

与此同时,常进通过ATIC项目取得了重要发现——宇宙射线正负电子在能段超出天体物理背景模型。2008年11月,相关成果在《自然》发表,被美国物理学会和欧洲物理学会评选为当年物理学领域重大研究进展,该观测如果被证实,有可能是人类第一次发现暗物质粒子湮灭的信号。“湮灭意味着可观察,可观察意味着可找到,这使暗物质研究迎来曙光。”常进说。

2011年1月,中国科学院战略性先导科技专项“空间科学”正式立项,常进团队提出的暗物质粒子探测卫星顺利入围。

卫星立项后,包括常进、范一中等在内,团队一共只有5个人。“我是在2010年加入暗物质研究团队的,在此之前主要研究伽马射线暴。

相比完全陌生的暗物质,伽马射线暴是一个非常高产的研究领域。如果接受暗物质团队抛来的‘绣球’,就意味着研究要从零开始。”范一中最后还是决定加入这个项目,最终成长为团队的“大管家”。

该项目充分发挥中国科学院体系化、建制化优势,并面向院外开展了广泛、深入的合作。参与项目合作的科学家、工程师,分别来自中国科学技术大学、中国科学院高能物理研究所、中国科学院近代物理研究所、中国科学院国家空间科学中心、中国科学院微小卫星创新研究院、意大利核物理研究所、瑞士日内瓦大学等。

“4年造一颗卫星,时间紧、任务重,但我们还是完成了。”范一中说,“常老师前期已经在技术领域积淀了10多年,真是从一穷二白干到现在。有这么好的基础,我们没理由‘掉链子’。”

“悟空”号暗物质粒子探测卫星效果图。紫金山天文台供图

## 4 这是一颗“满分”卫星

2015年12月17日,暗物质粒子探测卫星在酒泉发射升空,英文名称 DAMPE,中文名“悟空”。

为什么取名“悟空”?范一中解释:“卫星上天前,我们在网上发起征名,这是收集公众推荐后,经过专家评委投票,报中国科学院批准的。选择这个名字,一方面因为它是我国古典名著《西游记》中齐天大圣的名字,从字面看就有探索、领悟太空之意;另一方面,我们希望借它的‘火眼金睛’,识别暗物质的踪影。”

据了解,“悟空”号长1.5米、宽1.5米、高1.2米,整体质量1.85吨,有效载荷质量1.4吨,通过探测宇宙中高能粒子的方向、能量以及电荷大小,间接寻找和研究暗物质粒子。

关于卫星的质量还有一段故事。此前曾有科学家预测,暗物质粒子探测卫星探测器有近8万路探测信号通道,卫星有效载荷不能低于1.2吨。但卫星越大,制作和发射成本也越高。

这给承担卫星平台研制任务的中国科学院微小卫星创新研究院研究团队带来了重大考验。他们必须通过控制质量来控制成本,从而确保这颗科研卫星如期问世。

“悟空”号总设计师、中国科学院微小卫星创新研究院研究员李华旺带领团队,为这颗卫星“量体裁衣”,努力使卫星有效载荷和整星重量比达到罕见的75%,有效节约数千万元运载火箭成本。

范一中感叹:“‘悟空’号是成本最低的暗物质探测卫星,费用大概只有国际空间站同样用于探测暗物质、反物质等宇宙中奇异物质的阿尔法磁谱仪的二十分之一。”

“悟空”号发射前3个月需要开展测试标定工作,专家组经过测试给它打出满分。范一中尤其自豪的是,“‘悟空’号的探测器在轨运行多年后,所有参数跟刚上天时一样,还是满分状态”。

然而,这颗“满分”卫星也有出错的时候。

“悟空”号每天要向地面下传约16GB的原始科学数据。一天,刚满两周岁的“梧

空”号传输的数据量突然锐减,用来寻找暗物质的“火眼金睛”近乎失明。

这可把研究团队急坏了,他们立即加班商量对策。范一中首先挑明:“如果关机,我们每天都要损失500万个观测事例,一定要尽快找到‘病因’。”

他们立即对载荷工程参数进行会诊,判断“病因”很可能是卫星上某台计算机被太空中的粒子击中了,基于这个判断,提出了调整指令的申请。

负责“悟空”号控制平台的中国科学院国家空间科学中心和西安卫星测控站联合行动,将重新启动计算机的信号发到卫星上。经过一场19个小时的“天地大营救”,“悟空”号的“火眼金睛”终于重见光明。

紫金山天文台副研究员岳川对这场“营救”记忆深刻。他是2015年“悟空”号发射前夕加入研究团队的,主要从事卫星的科学数据分析和相关宇宙线物理研究,担任卫星国际合作组宇宙线分析小组的中方负责人。

如今的团队已经有越来越多像岳川这样的“80后”“90后”,他们共同见证着项目的发展与收获。

研究团队于2017年11月发布首批科学成果,获得世界上迄今最精确的高能电子宇宙线能谱;于2019年9月发布第二批科学成果,获得1万亿~100万亿电子伏特能区精确的质子宇宙线能谱,并发现新的谱结构;于2021年5月发布第三批科学成果,绘出迄今最精确的高能氦原子核宇宙线能谱,并观察到能谱新结构,预示可能存在一处未知的邻近宇宙射线加速源……

今天,“悟空”号还在延期服役中。在继续保障卫星平稳运行的同时,研究团队正在开展下一代暗物质探测项目“甚大面积伽马射线空间望远镜(VLAST)”的关键技术攻关。

年轻的岳川希望,在实验室载荷及科学团队共同努力下,这台空间望远镜的探测能力比“悟空”号提升50倍以上,进一步帮助人类追踪暗物质的具体踪迹,加深人类对宇宙天体的理解。