

· 访谈 ·



胡文瑞，著名流体物理学家，中国微重力科学研究的奠基人。中国科学院院士，中国科学院力学研究所研究员，国家微重力实验室学术委员会主任，“空间太极计划”首席科学家。



吴岳良，理论物理学家。中国科学院院士，中国科学院大学常务副校长，中国科学院卡弗里研究所所长。曾任中国科学院理论物理研究所所长、中国科学院理论物理国家重点实验室主任。“空间太极计划”首席科学家。

胡文瑞院士和吴岳良院士谈 “空间太极计划”

“易有太极，是生两仪。两仪生四象，四象生八卦。”太极，在《易经》中是指宇宙最原始的秩序状态，出现于阴阳未分的混沌时期(无极)之后，而后形成万物(宇宙)的本源。“空间太极计划”正是去探寻引力波，在解开宇宙的起源、形成和演化之谜的路上向前一步。

2016年2月11日，美国的“激光干涉引力波天文台”(LIGO)实验组宣布直接观测到引力波信号。引力波，这小小的时空涟漪，在太空中经过13亿年旅行来到地球，掀起“轩然大波”。在中国，中国科学院从2008年起就发起了空间引力波探测——“空间太极计划”。

“空间太极计划”源起

“2008年中国科学院组织了一些前瞻性的课题论证，当时基础局就提出来要讨论引力波探测问题，开始规划我国空间引力波探测在未来数十年内的发展路线图。”胡文瑞院士如是说。

2008年，论证组多次去国内外考察，当时最热的是1993年由欧洲空间

局(ESA)提出的激光干涉空间天线(Laser Interferometer Space Antenna, LISA)计划，在 10^{-4} ~ 10^{-2} Hz波段进行空间引力波测量。1997年美国国家航空航天局(NASA)加入，成为欧、美联合计划，团队几乎囊括了当时国际上引力波方面所有重要专家。但2011年，NASA退出了该计划。

胡文瑞院士介绍，2012年LISA在巴黎召开学术会议，当时LISA的首席科学家卡斯滕·丹兹曼主动找中国代表谈，由于美国的退出，建议中欧合作LISA计划。原计划是3颗卫星共6路激光干涉，每颗星2路激光干涉，美国退出后经费不足，所以就改为3颗卫星2路激光干涉，总经费是10亿欧元，根据欧洲空间局要求，任何参加国必须至少投入20%经费，也就是2亿欧元。但不是提供资金，而是要提供2亿欧元的设备，目的是要参与国在技术上参与合作，而不仅仅是在资金上给予支持。中国科学院随后成立了空间引力波探测工作组。工作组的任务是要和欧洲的

科学家一起提出一个如何开展合作的可行性建议书。目前计划2016年秋天在中国进行第三次会议，完成双边合作的可行性报告，然后各自向主管部门呈报，由双方主管部门审批后执行。

2015年底，吴岳良院士建议给该探测项目取名“太极计划”。为什么选用“太极”这个名称呢？吴岳良院士说，“因为引力波主要是研究宇宙中引力场的扰动产生的波动，一般来讲是由双星(致密星体)互相湮灭产生的大扰动，中国的太极图案也是阴阳两面，很形象。”

2015年底已发射了eLISA的关键技术验证卫星LISA-Pathfinder，计划于2035年左右发射由3颗卫星，组成各相距 5×10^6 km的等边三角形，在地球轨道后 20° ，比较深空的位置。

“空间太极计划”方案

胡文瑞院士介绍，太极计划有两个方案。

方案一是参加欧洲空间局的eLISA双边合作计划，交付2亿欧元的

仪器设备。经过八年多的沟通努力,欧洲专家对中国在装备研制方面的技术实力比之前更认可了。

方案二中有两个计划,一个计划是发射一组中国的引力波探测卫星组,与2035年左右发射的eLISA卫星组同时遨游太空,进行低频引力波探测。投资大概10亿欧元。另一个计划是发6个激光器的3颗星,6个激光器的星组,比2个激光器的探测器更优越了。胡文瑞院士认为,欧洲专家对方案二很感兴趣,不同探测器同时在空间,探测结果可以互相验证。

按太极计划中国在2033年前后将发射由位于等边三角形顶端三颗卫星组成的引力波探测星组,用激光干涉方法进行中低频波段($1 \times 10^{-4} \sim 1.0$ Hz)引力波的直接探测。卫星采用无拖曳技术,星组中卫星间距 3×10^7 km,激光功率约2 W,望远镜口径约0.5 m,加速度噪音为 $3 \times 10^{-15} \text{ ms}^{-2}/\text{Hz}^{1/2}$ 。这一组技术指标总体上优于LISA的要求,而频率范围覆盖了LISA的低频($10^{-4} \sim 10^{-1}$ Hz)和DECIGO的中频($10^{-2} \sim 1$ Hz)。太极计划的主要科学目标是观测双黑洞并合和极大质量比天体并合时产生的引力波辐射,以及其它的宇宙引力波辐射过程。

空间探测和地面探测

谈到空间探测和地面探测的不同,胡文瑞院士说,装有空间激光干涉仪的卫星组进行空间引力波探测,跟地面探测器的原理是一样的,只是距离更长一些。再就是地球噪声作为本底噪声不易克服。地面探测引力波的局限性是,只能探测湮灭质量小的星体产生的高频引力波。如这次LIGO探测到的引力波就属于高频引力波。而低频的引力波包括原初引力波,在地面探测不到。

高频引力波探测两个意义:1)验证了爱因斯坦广义相对论,这个目的已经达到。2)开辟了引力波天文学,这方面只能说达到了一部分,开辟了引力

波高频的天文学。而低频引力波需要在空间中探测,空间研究一般都是需要各国国家层面的支持。

空间探测的关键技术

空间引力波探测和研究需要许多先进技术,胡文瑞说主要有几个关键技术。

一是测量超低重力水平的惯性传感器,微重力是 10^{-6} 量级,而空间探测的要求是 10^{-11} 量级。

二是空间激光干涉仪需要稳频和锁相的大功率激光器和激光干涉系统。空间引力波探测激光的分辨率要达到皮米,在敏感区跟激光相同的方向位移不过超过1 nm,都是微观的,所以难度很大。2015年跟LISA探讨的结果是,整个望远镜系统都由中国来做,其中中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所负责光学部分,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所负责机械部分,中国科学院力学研究所负责皮米检测部分,LISA对中国这部分的技术还是比较认可的。

三是无拖曳技术控制的高精度光学平台。也就是微推,即很小推力。微推的目的是在空间中把除了重力以外的所有力都克服掉,即不能有任何除了重力以外的加速度,要惯性力。虽然在空间中推动的方法很多,如用磁推等,但这个推力需要非常非常小,至少要达到 10^{-11} 量级。不能有加速度因此微推也叫无拖曳。

四是微重力平台。这里的关键技术也有很多,2008年时,估计当时中国跟国际水平差了两个数量级。这几年中国技术发展很快,已经有一部分设备得到了欧洲空间局的认可,可以用在LISA项目中了。

五是数据处理。中国在这方面也很有基础,如LIGO科学合作组织中国大陆唯一成员清华大学,就有很强的实力。

除此之外,还有各种高精度测量与

控制,如温控,需要控制在 10^{-6} 量级的变化范围之内。同时还面临的一个挑战就是管理。通过这次国际合作,还可以学习、引进欧洲空间局30年做LISA的经验。

引力波技术将来的应用

引力波技术在将来的应用,很多还无法预估,“皮米技术,也就是我们的激光技术,实质上是用了微观的激光,用电磁波微观的技术来研究宇宙,因为引力波很热,数据要精密的测量。电磁波是1988年发现的,当时不知道有什么作用,到现在经过100多年以后,我们就知道它有什么作用了。”吴岳良院士说,“就像当初做纳米时也不知道有什么用,现在皮米有什么用?可以想象它的用处可能会很多。皮米就是 10^{-12} m,已经远小于原子的尺度了。现在地面测量皮米量级时,量子效应已经开始起作用了,所以说量子干涉已经在使用了。

除此,在实际应用方面,如地球重力场测量,测量地球不同引力场的分布,就能知道地球结构变化。如在测量地震方面的应用,就是靠重力场测量,原理就是它可以测量物质运动。板块在怎么动?什么时候动?小尺寸怎么波动?别的办法没法测,只有测量重力场。

随着引力波探测技术的发展也应用,所有的精密测量精度都至少比现在要提高一个量级,甚至是两、三个量级。因此对国家精密测量领域及其他许多行业都会有很大的推动作用。

将来宇宙的结构什么样子?电磁波看不到的,现在可以用引力波来看了,还可以看得更远。

太极,代表了中国古代哲学的智慧,愿结合当今最新科技进步的智慧,承载着中国人空间探测的梦想,打开探索宇宙奥秘的另一扇窗。

文/傅雪(《科技导报》编辑部)