

· 卷首语 ·

空间引力波探测方案的探讨

2016年2月12日,美国激光干涉引力波天文台(LIGO)和美国国家科学基金会联合宣布,2015年9月14日在美国的两个地面站同时观测到引力波,即GW150914事件。至今已观测到6次引力波事件,其中欧洲引力波天文台(VIRGO)参加了第4次事件(GW170814),使分辨率提高了10倍。地面引力波探测的成果不仅验证了百年前广义相对论所预言的引力波,发展了理论物理的引力理论,而且开辟了引力波天文学的新领域。

空间引力波探测是在低频波段探测引力波,它对应于大质量的扰动事件,因此比地面引力波探测更具丰富的物理内涵。1993年,欧洲空间局(ESA)提出激光干涉空间天线(LISA)计划,即在太阳轨道(地球轨道前 20°)布置3个间距为 5×10^6 km的呈正三角形的航天器,星载激光器精确测量航天器间距的变化,从而反演出引力波的存在。LISA计划已列为ESA的第3号大型空间任务,计划2034年升空。1997年,美国国家航空航天局(NASA)参加LISA计划,2011年退出,后又在2017年重新参与。美国国家研究委员会(NRC)对空间引力波探测予以高度评价,认为这是很快会获得诺贝尔奖类的项目。

空间引力波探测在中国受到多方面的关注。科技部于2016年6月成立了“引力波研究专家委员会”,为中国引力波的发展制订蓝图。中国科学院2008年始部署了引力波的探索,2015年启动了包括空间引力波探测“太极计划”在内的先导项目研究;目前,中国科学



胡文瑞,湖北武汉人,中国科学院力学研究所研究员、中国科学院院士、国际宇航科学院院士。科技部“引力波研究专家委员会”成员、中国科学院空间引力波探测“太极联盟”负责人之一。主要研究方向为流体力学

院正在安排空间引力波探测的预研星计划。

“太极计划”选择太阳轨道3颗星的激光测距方案。近年来,中山大学提出的“天琴计划”是在地球周围布置3颗激光测距卫星。2018年4月1日中央电视台《新闻联播》中,天琴计划的负责人介绍了他们选择的地球轨道空间引力波探测方案。这一方案早在2011年NASA的《Gravitational-wave mission concept study final report》中已有详细讨论,归纳起来,它有如下困难。

1) 在考虑月球、木星及其他天体的影响后,地球轨道的方案采用等边三角形编队(臂长包括7.3万km、67万km和100万km),其星间相对速度引起的多普勒频移很可能大于50 MHz,这对相位计、探测器的带宽提出了更高要求;然而,对于探测器和相位计而言,带宽越宽,噪声就越大。

2) 地球轨道方案的轨道运动会引起温度变化。采用等边三角形绕地球飞行的轨道,航天器对太阳的朝向时常在变化,因此引起的航天器温度涨落会非常大,在毫赫兹频段温度变化约比太阳轨道高

两个量级以上,这对载荷附近温控提出了很高的要求。

3) 地球轨道方案的太阳阴影问题对航天器与望远镜性能造成很大影响。航天器在运行过程中会时而进入太阳阴影,时而又受到太阳照射。处在太阳阴影与太阳照射状态相比,航天器的温差高达 300°C 以上,这对航天器稳定结构提出了很高的要求。因为温度变化会引起航天器结构形变和应力形变,从而改变航天器质心状态,直接导致惯性传感器无法正常工作。剧烈温度变化造成的另一个问题是望远镜的性能下降甚至完全失效,因为它会引起望远镜结构形变、镜面形变,从而影响望远镜出射光及接受光的波前质量。望远镜结构形变会使得接受光的波前不再光滑,将直接导致差分波前传感技术的失效。

4) 地球轨道方案的太阳阴影问题使得科学测量时间不连续。按照天琴计划的方案,其连续科学工作时间为3个月,两个测量周期的间隔也是3个月。与1年积分时间相比,其获得的信噪比减半。然而,在天琴计划最新的文章《Fundamentals of the orbit and response for Tianqin》中,在计算时默认了1年积分时间。

一般认为,空间引力波探测选用太阳轨道是最好的方案,而地球轨道的方案风险极大。中国的空间引力波探测处在学术与技术竞争严酷的环境中,需要尽早确定路线方案,尽快协调国内各方的优势力量联合攻关,加强国际合作,“以我为主”地做出重大学术贡献。

胡文瑞

(中国科学院力学研究所,北京 100190)