

大科学时代的大发现需要大资金、 大投入、大协作 ——以引力波探测为例

周雁翎

北京大学出版社, 北京 100871

摘要 简述了引力波探测的起源,按共振棒引力波探测器时代、激光干涉引力波探测器时代、科学研究的全球化时代3个阶段,论述了引力波探测的进程及其特点。介绍了中国开展引力波研究的历史,分析了中国开展大科学研究的机遇及挑战。

关键词 引力波探测;大科学;科研合作

爱因斯坦根据广义相对论给出的四大预言,有三大预言都在不太长的时间里先后被观测证实了,唯独关于引力波的预言一直没有获得可靠观测数据。直到2016年2月11日,美国国家科学基金会和欧洲引力天文台召开新闻发布会,正式宣布第1次直接探测到了距离地球约13亿光年的2个大质量黑洞碰撞所发出的引力波,证实了爱因斯坦100年前作出的预言。

引力波的探测经历了一个漫长的过程,许多国家为此投入了大量的人力、物力和财力。

1 烽烟乍起:共振棒引力波探测器时代

第1个试图测量宇宙中引力波辐射的人是美国马里兰大学约瑟夫·韦伯(Joseph Weber),他从20世纪50年代就开始着手这项工作。经过了十多年的努力,韦伯于1969年声称,他在1968年12月30日到1969年3月21日的81天观测中,探测到了2次引力波信号。

韦伯的实验结果公布后,引起了物理学界的轰动。一些国家纷纷建立了引力波检测小组,试图重复他的实验。

然而令人遗憾,即使通过引入超低温技术,减少噪声来提高精度,都未能得到与韦伯同样的结果。韦伯的实验未得到科学界的公认。

当时科学界普遍认为,实验室中测量引力波的设备灵敏度还太低,不足以测量到宇宙中微弱的引力波信号,因此提高设备的灵敏度是各个引力波实验小组的当务之急。

尽管韦伯的实验没有成功,但其测量引力波的原理被广泛认可,他的实验方法启迪了后来者。此后从20世纪70年代起,全世界有数十位物理学家都沿着韦伯的思路,效法他的共振实验。苏联、联邦德国、意大利、澳大利亚和美国等实验室,都投入资金建造类似的更为精密的铝圆柱探测器。

就在各国引力波实验竞相追逐的时候,1975年,来自于马萨诸塞大学阿默斯特校区的约瑟夫·泰勒(Taylor)和研究生罗素·赫尔斯(Hulse)发现了一对脉冲双星。1982年,根据对其能量损失的计算,发现其与引力波导致的结果完全相符。这给引力波的存在提供了一个强有力的间接证据,也给世界各国科学家带来很大信心。自此以后,

有关引力波的争论不是有无的问题,而是如何探测的问题。因此,直接检测出引力波成为各国科学家竞相追逐的重大课题。

在探测引力波的大竞赛中,苏联不甘示弱。1986年,苏联科学院高调宣布,在2月23日夜至24日晨,苏联科学家在中微子探测装置中,观测到了银河系中的超新星爆发,成为当时轰动一时的重大国际新闻。这个成果为引力波探测带来的新的曙光。

20世纪80年代以后,尚处于冷战时期的美、苏两国的科学家在引力波探索上罕见地进行了合作。研究人员被分成两组。一组是罗彻斯特大学和莫斯科大学的物理学家,用灵敏度超过铝圆柱体100倍的铌圆柱体和灵敏度超过铝圆柱体1000倍的蓝宝石及硅圆柱体,进行观测;另一组是苏联其他研究机构的科学家和路易斯安纳州立大学的科学家,用中心有凹口的金属棒进行观测。为了屏蔽环境干扰,他们把圆柱体自由地悬置在磁场中。

然而,所有这些仪器仍然有太大的误差,很少能够得到令人信服的数据。尽管建造这种仪器所需资金不是

收稿日期:2016-02-20

作者简介:周雁翎,编审,研究方向为科技哲学,电子信箱:zyling86@263.net

引用格式:周雁翎.大科学时代的大发现需要大资金、大投入、大协作——以引力波探测为例[J].科技导报,2016,34(3):42-44;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.03.005

特别大,但在20世纪80年代后期,科学界还是逐渐减少了对这种仪器的使用,只是将其作为辅助的验证手段。

2 大资金和大投入:激光干涉引力波探测器时代

由于共振棒探测器的探测频率范围相当窄,使得其探测对象非常有限。为了探测到更宽频率的范围,科学家从20世纪70年代就开始激光干涉探测引力波的研究。但由于当时技术所限,无法完成激光干涉探测器这样浩大的野外工程。1979年,美国国家科学基金会(NSF)开始资助加州理工学院和麻省理工学院的科学家进行激光干涉引力波测量的预研究,最初只是在实验室内建立了臂长几米至几十米的装置。

随着技术条件的成熟,1985年,美国加州理工学院的天体物理学家向国家科学基金会提交了激光干涉引力波探测器(LIGO)计划的建议。建造这个装置需要花费数亿美元,但没人敢保证这个装置是否真能探测到引力波。因此,项目计划多次遭到质疑。几经周折,最终美国国会在1991年秋批准了这个计划。在NSF的资助下,1991年,麻省理工学院与加州理工学院开始联合建设LIGO。2001年,LIGO探测器的主体结构完成,共花费2.92亿美元,加上运行费用在内高达3.65亿美元。探测器从2002年开始寻找引力波,共有来自7个国家的400多位科学家参加了该项目,但并没有任何发现。2007年,LIGO进行了一次升级改造。2010年10月LIGO又进行了为期5年的重大升级改造,被称为“先进LIGO”,同时更多的研究机构和科学家加入进来。2015年9月,先进LIGO开始试运行。从LIGO建成不断升级更新至今,耗资已经超过7亿美元,被称为是NSF成立以来“最大的项目资助”。然而令人百思不得其解的是,在长达25年的时间里,LIGO并没有做出任何有价值的发现,而NSF也并未因此中断对此次项目的资助,相反不断加大投入,一次又一次地对LIGO进行改造和升级,NSF的这种自信和底气来自于哪里?

也许NSF主任科尔多瓦的一番话揭开了这个谜底:“那是一项有很高风险的资助,但这正是NSF需要承担的项目。我们资助一定会有所发现,但还处在探索历程上的基础科学和工程。我们资助开路先锋——这就是为什么美国依然是全球先进知识的领导者的原因。”

除了美国的LIGO引力波探测器之外,目前还有一些国家的地面引力波探测器在运行:

德国普朗克研究所和英国格拉斯哥大学合作的GEO600,项目始于1995年,探测器地点位于德国汉诺威,当时耗资700万美元。

法国科学研究中心和意大利核物理研究所合作的VIRGO,1986年立项,2005年建成,2007年首次运行,地点位于距意大利比萨市10 km处的卡希纳,当时耗资9000万美元。

日本在1995年由日本国立天文台和宇宙研究所合作,开始建造TAMA300,耗资1500万美元。2012,日本又投入巨资,开始研制新一代大型引力波探测器,灵敏度将是TAMA300的100倍,预计2018年开始运行。

印度在2012年启动LIGO-India项目。LIGO实验室把LIGO的一部分实验设备运往印度,在印度建设一座大型引力波观测站,印度方面需要投入资金3000万美元。

近几年,澳大利亚国立大学与西澳大学合作,在珀斯也启动了预算2亿美元的引力波探测项目ALGO。这个项目据说在实施过程中打了折扣。

实际上,20世纪80年代以后,物理学家普遍相信,他们不断改进的新设备总有一天将随着引力的“曲调”震动起来,他们一定能听到宇宙中引力波发出的优美旋律,时间只是早晚的问题。也许这正是一些国家不惜花费巨资在探测引力波的竞赛中争先恐后的原因之一吧。

然而,令人深思的是,昔日的超级大国苏联(俄罗斯)却默默地退出了这场大竞赛。20世纪90年代初期,当美国国会批准LIGO项目之日,正是苏联

解体之时。随着超级大国苏联的解体,俄罗斯经济面临崩溃,相继关闭了前苏联时期许多雄心勃勃的大科学项目,大规模的引力波的探测也随之终止。一个科学巨人就这样黯然退场。

从综合上述各国在引力波探测上的项目经费来看,美国的投入规模巨大,数倍于其他国家。显然,美国的目标是志在必得。

令人唏嘘的是,故事的结局却是几家欢乐几家愁!全世界许多国家的许多科学家在这个领域辛辛苦苦干了一辈子,投入了大量人力物力和财力,却竹篮打水一场空,眼睁睁看着美国人收获果实,中了头彩。在这个毫无疑问能预料到结果的科研大竞赛中,赢家依靠的除了创新能力,更重要的恐怕是经济实力!很难相信,如果没有高额的科研经费支撑(据称这是NSF迄今资助的最为雄心勃勃的项目),这种守株待兔式的“大发现”就可能是瞎猫碰到死耗子——撞大运了!

除了众多的地面探测计划之外,另一项更加雄心勃勃的引力波太空探测计划——“激光干涉太空引力波天线”(LISA),也已经持续进行了20多年。这项由欧洲空间局主导的项目,于2015年12月初向距离地球表面150万公里的太空发射了“LISA探路者”探测器,这个探测器造价超过4亿欧元。这次探测计划是欧洲空间局引力波探测计划的前期任务。整个计划将发射3颗探测卫星,预计2034年后完成发射。毫无疑问,这又是一项耗资巨大的科学工程。

3 大协作:科学研究的全球化时代

在大科学时代要想做出大发现,除了需要大资金和大投入,还需要有跨专业、跨机构和跨区域的国际大协作。

天文学(宇宙学)是以观测为基础的最古老的基础科学,观测仪器是做出重大发现和推动天文学(宇宙学)发展的必不可少的手段。实际上,天文学(宇宙学)的历史也就是一部天文仪器设备不断更新进步的发展史,而设计、制作和运行这些精密仪器不但需要投

入大量的财力、物力和人力,而且还必须进行跨专业、跨机构和跨区域的国际大协作。今天,只凭几个人用肉眼或者普通的光学仪器要做出当年类似于伽利略、开普勒那样的大发现,不过是占星术士的异想天开而已。现在必须借助类似于 LIGO 和 LISA 这样高精度的仪器装置,人类的理性才能延伸到遥远的宇宙深处。正如 NSF 主任科尔多瓦强调的,多年来之所以无法探测到引力波,是因为探测仪器灵敏度仍然不够。这就需要不断地对其改造升级,不断地进行资助。

LIGO 对引力波的探测就是一次国际大协作的成功典范。从这次发表论文的《物理评论快报》上可以看出,有来自全球十多个国家的 133 个科研单位的 1004 位研究人员直接参与了这个项目,在 16 页的论文中,作者和单位署名长达 6 页。

实际上, LIGO 项目团队是一支汇集了世界各地优秀科学家和管理人员的庞大舰队。这些团队成员分别来自物理学、天文学、机械制造、精密仪器、激光、信息、数学、管理等不同的专业背景。正如清华大学信息技术研究院研究员曹军威所言:这样规模的科学探索远超出某个单一学科的范畴,也超出某一个研究小组、一个大学或研究机构,甚至一个国家的能力,必须是方方面面的专家共同参与,在全球范围内联合攻关。

当今大科学时代的大发现,需要的是大资金、大投入和大协作。那种仅靠一支笔一张纸就能发现宇宙规律的爱因斯坦式的科学英雄时代已经一去不复返了。

科学研究已经进入全球化时代。随着经济全球化的发展,大科学时代的大发现需要全世界有能力的国家、科研机构和科学家共同参与,既有竞争又有合作,在合作中竞争,在竞争中合作——这就是科学研究的全球化。

这种大协作,不但需要有创新能力的高素质一线科研人员,也需要有创新能力的高素质科研管理人员和决策者。就像 NSF 的那些优秀管理人员和

决策者一样,他们高瞻远瞩、高屋建瓴,能够准确判断和追踪科学前沿,并且引领科学发展的方向。

4 亡羊补牢:中国的机遇和挑战

中国科学界对引力波研究的国际前沿并不陌生。就在韦伯 1969 年宣称发现引力波不久,中山大学物理系及中科院高能物理研究所的科学家就开始了引力波的研究。1976 年,国家科委和教育部决定把这项研究定为国家重点研究项目。1980 年代初期,常温共振型引力波探测器开始实验性运行。然而仅仅几年后由于种种原因(经费不能到位是最重要的原因),这项研究被迫停止了。

实际上,20 世纪 90 年代中后期,中国也曾有过一次加入 LIGO 实验团队的机会。LIGO 联盟成立后,因在亚洲缺少一个观测站点,希望在中国建一个 LIGO 的检测站,但中国再次由于缺乏经费不得不放弃合作, LIGO 后来选择了印度。中国失去了一次追赶世界科学前沿的珍贵机会。

近年来,在引力波探测国际竞争日趋激烈的态势之下,中国科学界又开始了引力波探测计划。目前,公布的探测计划共有 3 个:1) 中国科学院主导的太极空间探测计划,项目预算为 100 亿元人民币;2) 由中山大学牵头主持的天琴空间探测计划,项目预算为 150 亿元人民币;3) 由中国科学院高等物理研究所主持的阿里地面探测计划,项目预算为 1 亿元人民币。

以上 3 个项目有的已经立项,有的还处于立项过程中,预算经费也不算少。然而,最终是否能获得稳定、持续和足额资助现在还不得而知。的确,在基础研究领域投钱很难看到立竿见影的效果,但是不投钱,肯定是看不到效果。大科学时代的大科研需要有持续、稳定的资助。任何急功近利的短视措施只能把基础科学研究带入歧途。

现在,中国已经是全球第二大经济体。伴随经济高速增长,中国的科研经费也在不断增长。据国家统计局公布的 2014 年全国科技经费投入统计公

报,2014 年全国共投入研究与试验发展(R&D)经费 13015.6 亿元,比 2013 年增长 9.9%。其中基础研究经费支出为 613.5 亿元,比 2013 年增长 10.6%;应用研究经费支出 1398.5 亿元,增长 10.2%;试验发展经费支出 11003.6 亿元,增长 9.8%。基础研究、应用研究和试验发展占 R&D 经费总支出的比重分别为 4.7%、10.8%和 84.5%。中国科研经费投入虽然在增长,但主要还是偏重于应用研究和试验发展。

在大量的应用研究和试验发展获得经济效益的同时,是否也应该拿出一部分资金来反哺基础研究呢?即使从最功利的角度来看,诺贝尔科学奖绝大多数也是针对基础科学研究的突破。中国人要想站在世界科学的前沿(何况现在还是在追赶和追踪的慢慢征途中),要想在诺贝尔科学奖的舞台上唱主角,除了需要高度的创新能力,也需要大的科研资金资助,大的人力物力投入以及跨学科、跨领域和跨国家、跨地区的大协作。特别是针对那些强烈依赖于观察和实验的基础学科的前沿研究,这种大资金、大投入和大协作是不得不做出的选择,即使在短期内看不到这些项目带来的实际利益。

中国的崛起,不但需要经济这个硬实力,也需要基础科学这样的软实力。中国需要根据综合国力的增长,应当积极参与重大科学前沿项目,甚至引领一批具有标志性意义的科学计划。只有这样,才能在大科学时代的科研国际大竞赛中赢得一席之地,才能为“中国的崛起”和“崛起后的中国”注入永恒的驱动力。

当然,中国在科研经费的管理中有过很多教训,不是一刀切就是放任不管,浪费了大量人力、物力和财力,甚至滋生了腐败,近年来质疑之声一直不断。因此,特别需要警惕的是,针对基础科学研究重大项目,如何用好、管好这些来之不易的大资金和大投入,同样也是科学家和科研管理部门需要面对的大难题。

(责任编辑 陈广仁)