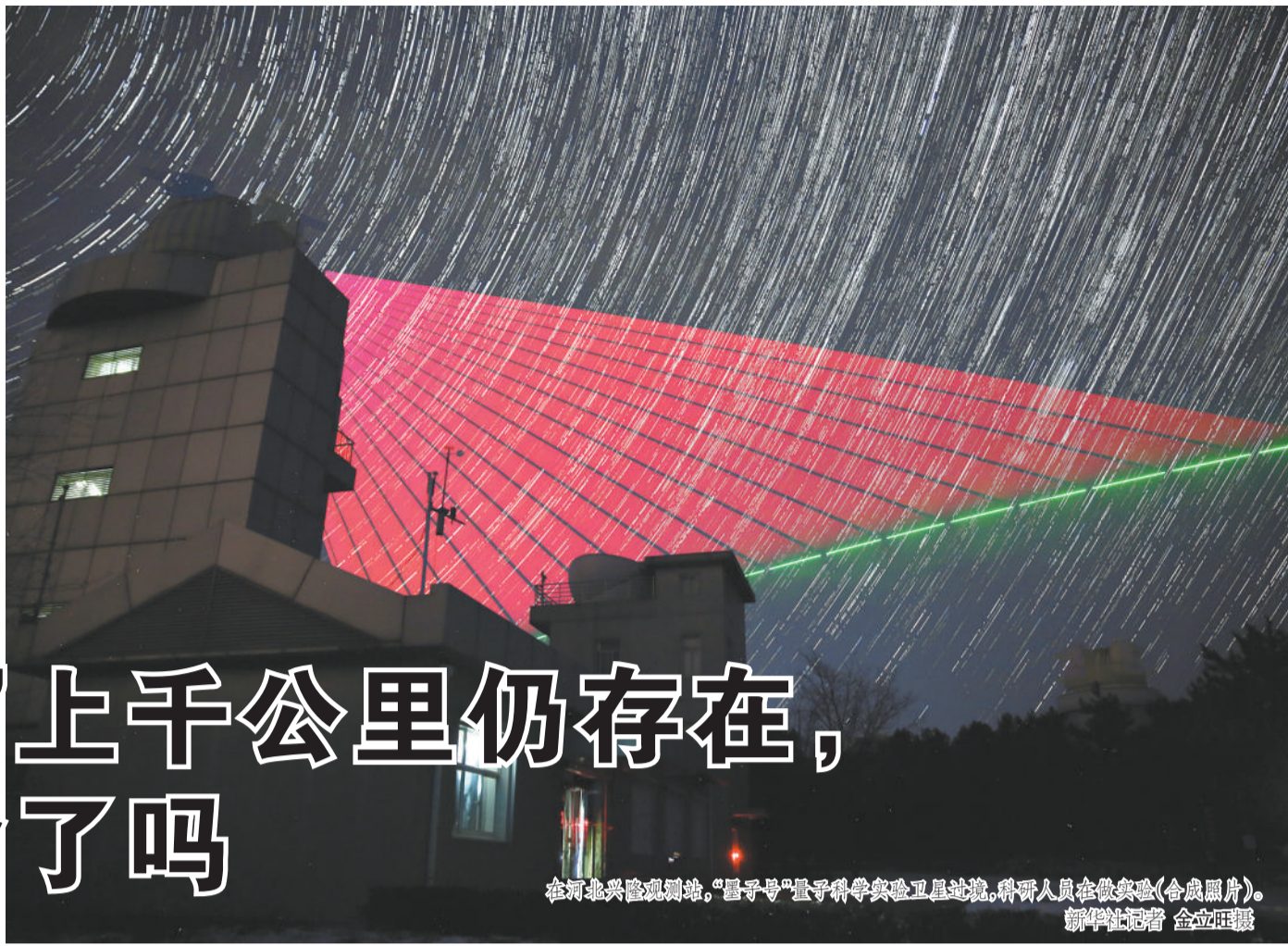


“幽灵作用”上千公里仍存在，爱因斯坦输了么



在河北兴隆观测站，“墨子号”量子科学实验卫星过站，科研人员在做实验(合成照片)。新华社记者 金立旺摄

本报记者 吴长锋

最近几天，中国“墨子号”量子科学实验卫星在国际上率先实现千公里级的量子纠缠分发，并在此基础上首次实现空间尺度严格满足“爱因斯坦定域性条件”的量子力学非定域性检验，这个看似与常人无关的新闻一度刷屏各大新闻网站。那么，在相距

1200公里距离上实现量子纠缠分发，究竟意味着什么呢？

2016年8月，我国国家发射了一颗量子科学实验卫星“墨子号”。它将首次开展星地量子保密通信实验和量子隐形传态实验。“墨子号”的第三个任务，就是通过向地面发射一对对纠缠光子，来验证一下在量子力学中，“上帝”到底“捣不捣蛋子”。

如果量子力学如爱因斯坦所说，每单次的测量结果并不是完全随机产生的，而是由某种人们目前可能还暂时无法理解的所谓“隐变量”操纵的，并且一个地点的测量信息即使以光速飞行，也来不及在实验结束之前影响到另一个地点的测量，那么实验结果就会满足一个不等式，叫做贝尔不等式。

在贝尔不等式的实验中，为了保证测量事件的类空间隔，科学家总是要将两个探测装置相隔一定距离放置。他们每做完一轮实验都会想，如果距离再远一些，量子纠缠是否仍然存在，贝尔不等式的结

果会不会改变？会不会受到引力等其它因素的影响？于是，在科学精神的驱使下，科学家们将探测装置越放越远。

如果在地面上做这个实验，光子就会受到大气的干扰，传输距离不可能太长。所以，之前科学家做过的最远距离的实验是相距144千米。而且，目前科学家所进行的所有实验都支持玻尔的观点。

但是在太空中就不同了，因为卫星轨道附近基本上是真空，大部分空气都贴在地球表面，所以，从太空向地面发射纠缠光子，受到的干扰就会比较小。

世纪之争：量子力学是否完备

量子力学有很多难以理解的现象。比方说，光子可以朝着某个方向进行振动，叫做偏振。在量子力学中，一个光子居然可以同时处在水平偏振和垂直偏振两个量子状态的叠加态。

但如果你拿一个仪器在这两个方向上测量这样的光子，就会发现，每次测量只会得到其中一个结果：要么是水平的，要么是垂直的。测量结果完全随机。这就是量子力学的另一个怪现象：测量叠加态的结果“完全拼概率”！

拼概率这种怪事，让量子力学的创始人之一爱因斯坦大感困惑，他说“上帝不掷骰子”！因此跟另一个创始人玻尔发生过一场论战。

论战虽然很火爆，但直到两个人去世时，都没

有分出胜负来。因为他们的争吵总是停留在理论上。而在物理学中，谁说了都不算，最后还得看实验。量子纠缠是量子物理中一个最深邃和最令人费解的现象，被爱因斯坦称为“幽灵般的超距作用”，它是两个(或多个)粒子共同组成的量子状态，无论粒子之间相隔多远，测量其中一个粒子必然会影响其他粒子。

尽管爱因斯坦不相信存在“遥远地点间的诡异互动”，他认为量子力学对客观世界的描述是不完备的，量子力学一定还有某些因素尚待发现。然而量子力学的另一位创始人玻尔认为量子力学没有问题，这种奇异现象是存在的。20世纪二三十年代，量子力学就在他们的争论中发展起来。

领跑世界：迄今最好的实验结果

量子纠缠在更远的距离上是否仍然存在？会不会受到引力等其他因素的影响？世界首颗量子卫星“墨子号”首席科学家、中国科学院院士潘建伟说，这些基本物理问题的验证都需要实现上千公里甚至更远距离的纠缠分发；另一方面，要实现广域的量子网络也自然要求远距离的纠缠分发。

由于量子纠缠非常脆弱，会随着光子在光纤内或者地表大气中的传输距离而衰减，以往的量子纠缠分发实验只停留在百公里距离。

2017年6月，中国科学技术大学潘建伟教授及其同事彭志忠等，联合中科院上海技术物理研究所王宇组、微小卫星创新研究院、光电技术研究所、国家天文台、国家空间科学中心等，利用量子科学实验卫星，在相距1200千米的两个地面站之间，成功完成了贝尔不等式的测量。

这是首次实现空间尺度严格满足“爱因斯坦定域性条件”的量子力学非定域性检验。实验结果再次表明，爱因斯坦的愿望落空了，他的局域隐变量理论依然不成立。“墨子号”开展的量子纠缠分发实验在关闭局域性漏洞和测量选择漏洞的条件下，获得的实验结

果以4倍标准偏差违背了贝尔不等式，即在千公里的空间尺度上实现了严格满足“爱因斯坦定域性条件”的量子力学非定域性检验，再次支持了玻尔的观点。

6月16日国际权威学术期刊《科学》杂志以封面论文的形式刊登了中国科学家在空间量子物理研究方面取得的重大突破。《科学》杂志审稿人称誉该成果是“兼具潜在实际现实应用和基础科学研究重要性的重大技术突破”，“绝对毫无疑问将在学术界和广大的社会公众中产生非常巨大影响”。

“到目前为止，这是我一生中最重要的实验研究成果。”潘建伟说：“我们首次能在太空尺度对微观物理学定律检验，而且为将来开展量子引力检验、探索物理学中的很多基本规律奠定了必要的技术基础，打开了一扇大门。这些技术将来还能应用于建设量子网络。”

潘建伟团队已经确立了更为长远的目标：“下一步，我们希望能在地月拉格朗日点上放一个光源，向人造飞船和月球分发量子纠缠。我们希望能够通过对30万公里或者更远距离的纠缠分发，来观测其性质的变化，对相关的理论作出解释。”

贝尔不等式：用实验验证对错

1964年，物理学家约翰·贝尔提出了一个实验方案，能够检验他们谁对谁错。他设计出一个数学公式，也就是贝尔不等式，提供了用实验在玻尔与爱因斯坦不同观点之间做出判决的机会。

简而言之，贝尔要让一台机器不断向两个方向

发射一对对纠缠光子，然后随机沿着不同的角度，分别对纠缠光子的偏振方向进行测量。无论它们相距多远，只要你测量其中一个光子，另一个光子也会瞬间发生响应。这是爱因斯坦说的“鬼魅般的超距作用”。

如何在月球上开出人类第一朵花

第二看台

雍黎 本报记者 冯竞



嫦娥四号科普载荷实验生长箱。

受访者供图

在月球表面开出第一朵花，人类移居月球也许不是梦。由教育部深空探测联合研究中心组织，重庆大学牵头的科普载荷“月面微型生态圈”，将作为嫦娥四号的“乘客”之一，于2018年登陆月球表面，进行人类首次月面生物实验，届时将向全球进行直播。

仅重3公斤的“乾坤”罐

“月面微型生态圈”是一个由特殊铝合金材料制成的圆柱形“罐子”，高18厘米，直径16厘米，净容积约0.8升，总重量3公斤。罐子虽然不大，内部可含有“整个世界”。

深空探测中心副主任、重庆大学先进技术研究院院长谢更新教授介绍，这个搭载嫦娥四号上月球的“罐子”里，将放土豆和拟南芥两种植物的种子和蚕卵，以及土壤、养分、空气等动植物生长需要的元素，还有记录动植物生长的微型摄像机和照相机、调节温度的空调、提供能源的电池等。

在罐子里，土豆和拟南芥会通过光导管吸收月球表面的自然光进行光合作用，释放氧气供生态圈里的“消费者”——蚕卵，然后蚕卵排出二氧化碳和生活垃圾提供给植物种子，循环往复，小生态圈就初现形态了。

虽然这个小小的罐子仅重3公斤，但是它里面的零部件达40个，成本造价在万元以上。聚集了机械、控制、环境、生物、材料、能源、光学、通信等多学科交叉的研发团队的智慧，独创了多种新技术。

上千次筛选出的三位“乘客”

去年，美国宇航员斯科特·凯利在NASA空间站中培育出了一朵百日菊，成为第一株在外太空开放的花朵。这次我国带上月球开的花将是土豆花或拟南芥花。为什么会选择土豆、拟南芥、蚕这三位地球“乘客”到月球呢？

“这是我们经过上千次筛选的结果。”谢更新解释，因为“罐子”里资源有限，就要求里面的动植物不能占用过多空间。哪些动植物能登上月球，首要条件就是“个子小”。其次，由于月球上没有大气传递热量，昼夜温差大，在大空舱内温度控制在30℃到-60℃，“罐子”内温度控制在最低-10℃，因此要求动植物能耐高温、耐冻，而且能抗辐射和抗干扰。

谢更新说，土豆是大家熟悉的食物，很有可能是以后太空的主食。这次选择的土豆是特别培育的“小个子”品种。拟南芥开花周期短，从发芽到开花只需1个月，是很好的实验模式植物，因此把承担在月球开出第一朵花的任务交给了它。

蚕卵将在生态圈中完成虫卵孵化、幼虫生长发育和破茧成蝶的完整生命周期。选择蚕，有一个重要原因是因为它承载了中国的传统文化。

验证月球上的光合作用

“这次实验主要是想观察月球上的光合作用，并向人们进行科普。”谢更新介绍，通过“月面微型生态圈”观察低重力、强辐射条件下植物的种子发芽、幼苗生长和开花的全过程，或虫卵孵化、幼虫生长发育、破茧成蝶，验证月球环境下种子的呼吸作用和植物的光合作用。

与地球不同的是，月球自转一周需要28天。月球上的一个白天相当于地球的14天，届时这些动植物将在月球上连续度过14个白天再进入14个黑夜。“我们会通过光导管引进月球表面自然光线，实现月面原位资源利用，让动植物完全接受月球的光照环境。”谢更新称，之前也考虑过用人工光线模拟地球上的光照环境，但利用月面自身光照对实验的意义更大。如果动植物能够适应月球光照进行生长，那么以后人类就可以在月球建设基地，开展长时间的科研工作，对人类未来在地外星球生存具有重大意义。

球生存具有重大意义。

谢更新称，“罐子”里的温度会保持在-10℃至30℃之间，土豆、拟南芥和蚕将在里面实现微型生态圈循环。谢更新说，他们预计的时间为3个28天，希望能够在月球顺利开出第一朵花。

技术难点在于温度控制

此次嫦娥四号所抵达的月球背面距地球38万公里。月球环境真空，白天温度能达到100多摄氏度，夜晚零下100多摄氏度，加上微重力、太阳辐射强、高能粒子冲击等，给实验带来不小的困难。

“科普载荷月面微型生态圈的难点在于温度的控制和能源的供给。”谢更新介绍，因为太空舱不会给“罐子”供电，因此他们需要自己解决能源问题。为了让“罐子”里温度恒定，他们给“月面微型生态圈”穿上保温服并装了空调。但这个空调不是普通的空调，是应用重庆大学在建筑温控上的优势研制出的新型空调。利用太阳能电池就能进行温度控制，保证微型生态圈以及照相机等一些耗电器材的工作。

谢更新介绍，从发射准备到飞行登月，中间大约会有两个月时间。为了让动植物不在途中就开始生长，他们进行了大量相关试验，以保证动植物在旅途中沉睡，到达月球后再被唤醒。他说，发射后不能人为遥控操作，只能通过摄像头和传感器进行观测。届时，他们将通过视频观测动植物的生长过程，用传感器检测里面的温度，向全球直播。

据了解，这个科普载荷已历时两年多实验，预计在今年9月完成正式品，明年年底发射。除重庆大学外，湖南大学、北京航空航天大学、中国航天科技集团等高校和企业也参与其中，涉及机械、控制、环境、生物、光学、能源等多学科交叉的多个研发团队，其中多项技术今后将用于民用。

新知

为我国首颗X射线天文卫星擦亮“慧眼”

通讯员 陈杭杭 本报记者 唐婷

6月15日，我国首颗硬X射线调制望远镜卫星“慧眼”成功搭载长征四号乙火箭发射升空。“慧眼”将实现1—250千电子伏特能区的X射线巡天，用于研究黑洞、脉冲星及伽马射线暴，发现新天体或已知天体的新活动。

“慧眼”携带了高能、中能和低能三种望远镜，实现X射线探测全覆盖。其中高能望远镜的设计能区为20—250千电子伏特，其主要载荷为18个复合晶体探测器，这些探测器也正是“慧眼”的眼睛。探测器的能量分辨率、探测效率、均匀性等关键性能参数需要在发射前在地面进行标定给出，否则入轨后将无法准确实现由观测数据到真实天文对象的反演。

给探测器“标刻度”

“没有经过标定的探测器，就像是没有刻度线的尺子，当接收到X射线时，无法准确确定入射X射线光子的能量及数量。而开展地面标定实验，相当于给探测器刻上了精密的刻度，让它能精准地测出入射光子的信息，给相关天体物理科学研究提供准确、有价值的观测数据。”“慧眼”高能望远镜主任设计师、中科院高能所刘聪展向记者解释。

2011年，承担“慧眼”有效载荷研制工作的中科院高能所找到了中国计量院电离所，希望开展合作研究，解决X射线天文卫星探测器标定技术难题。经过近3年的努力，双方从无到有，联合建立了国内首套硬X射线探测器地面标定装置HXCF。

指标优于国外

“该装置提供的单能X射线能量范围达15—180千电子伏特，上限180千电子伏特为国际同类装置的最高水平，并首次解决了X射线注量测量与量值溯源的难题。”中国计量院研究员吴金杰介绍道。所谓X射线注量测量，是指测量出单位时间内单位面积上有多少光子通过。通过将测出的X射线注量和卫星探测器探测到的计数进行对比，就能了解探测器的探测效率。

据介绍，2015年，中国计量院和中科院高能所研制的硬X射线探测器地面标定装置HXCF与意大利费拉拉大学的标定装置LARIX进行了国际比对，HXCF无论在能量范围、注量测量以及光源稳定性等指标上都优于意大利的LARIX。费拉拉大学为国际知名天文学研究机构，在空间X射线探测仪器研制、地面标定及相关科学研究方面都具有丰富的经验，具有除我国之外全世界能量最高的硬X射线探测器专用标定装置LARIX。

在硬X射线探测器地面标定装置研制成功的基础上，中科院高能所和中国计量院研究团队合作完成了对“硬X射线调制望远镜”卫星18个装量用的复合晶体探测器和6个备用探测器的能量线性、能量分辨率、探测效率和均匀性等关键参数的地面标定实验，共计1200小时。

监测“慧眼”长期在轨状态

“慧眼”设计寿命4年，入轨后，将在空间环境下长期运行，探测器的表现会和在地面上时一样吗？为了监测“慧眼”长期在轨运行状态，中国计量院和中科院高能所基于放射性活度测量技术，为“慧眼”研制了18枚活度在豁免水平的在轨标定源，保障卫星在轨运行期间的性能稳定。

“一方面，空间环境毕竟和地面环境不一样，另外随着探测器的长期工作，可能会出现老化现象，这些因素都可能导致探测器性能指标的漂移。因此，我们和高能所合作研制了在轨标定放射源，随时都可以对探测器的性能指标进行监测，并以此为依据及时对相关参数进行调整，确保探测器在轨运行期间性能指标的稳定性。”标定源研制负责人、中国计量院梁璐介绍道。

在吴金杰看来，硬X射线探测器地面标定装置项目的完美收官只是一个起点，未来中国计量院还将继续拓展单能X射线量子计量研究方向，不断扩展单能X射线能量范围、研制X射线量子探测器，以支撑我国X射线天文学、暗物质寻找等基础前沿研究工作快速发展。



硬X射线探测器地面标定装置HXCF 受访者供图