

探索者



田野 中国科学院上海光学精密机械研究所研究员,首届上海科技青年35人引领计划(U35)获得者。

本版均为受访者供图

球状电磁孤子。

破解百年谜题,让科幻照进现实

他在实验室里“捉”住球状闪电

公元1088年,北宋学者沈括在《梦溪笔谈》中记载了一种奇异现象——“雷火”。它不焚木牖窗纸,却能消融金属器具。千年之后,这种被现代人称为“球状闪电”的神秘火球,依然困扰着科学界数百年。

如今,这团“光”终于在上海的实验室里被“捉”住了。中国科学院上海光学精密机械研究所研究员田野与其团队,在国际上首次成功激发并捕获了一种在形状、状态和发光特性上与自然界球状闪电高度相似的球形发光体,证实其本质为电磁孤子。“捕光”的背后,是他带领一群青年科研人员持续数年的坚持、无数次失败后的再出发,以及一份源于科幻想象的浪漫执念。

青年报记者 刘晶晶

换道超车 复现神秘的“幽灵火球”

球状闪电之所以成为难题,在于它挑战了物理学的常识:普通闪电转瞬即逝,为何它能维持数秒甚至更久?什么机制将其束缚成一个完美的球形?

早在20世纪,科学家就提出过各种理论假设。2016年,浙江大学教授武慧春提出,球状闪电可能是微波电磁孤子的宏观表现,自然界中云层放电产生的强微波或许正是这团能量的源头。“电磁孤子”就是电磁波变成了像粒子一样稳定态、会穿墙、精准攻击的“电磁幽灵球”。

彼时,田野正带领团队在上海超强超短激光实验装置“羲和”上攻关。2017年底的一次科幻作家交流会议上,他曾与作家刘慈欣展开交流。返程之后,他想起刘慈欣的科幻小说《球状闪电》,背后隐藏的终极谜题,也恰恰是他长期以来始终想要追寻与破解的科学问题。

在一次学术会议期间,田野与武慧春教授在会场外的雨中畅谈良久。“武教授认为,要验证这个理论,需要开辟新路径,但关键瓶颈在于缺乏强微波源。”田野回忆。

面对“此路不通”的困境,田野想到了“换道超车”——不用微波,用毫米波,即太赫兹波。“它的波长比微波短一些,理论上更容易获得强场,同时能产生尺度近毫米、寿命更长的孤子。”但这个想法在当时有些“疯狂”,因为要让太赫兹波场强达

到“相对论级别”,这也是长期未解的科学痛点。

直到今年,田野与其团队持续数年的研究终于得到突破,他们“造”出了球状闪电。“你可以把它理解为一个气球。”田野用一个直观比喻解释,“但最大的差别在于,气球里面是气体,而我们的球体里面是光、是电磁波。就像在气球里面把光抓住了。”其本质是一种“电磁孤子”,一团被自身“光之茧”周围的等离子体囚禁的稳定能量结构。

这一成果发表于《自然》期刊,为破解球状闪电这一世纪物理谜题奠定了关键实验基础,未来也可能被应用于聚变能源等领域。

无数个“再试一次” 只为等待一束光

这份成果,来自团队多年的积累。

此前,田野团队在强场太赫兹表面波研究上已深耕多年。2017年,他们发现用激光照射金属丝可以产生太赫兹发射,并且实验发现太赫兹能量转换效率远超其他技术方案。2022年,他们继续深挖太赫兹高增益的核心机制,同时也拓宽认知边界,阐明太赫兹起源于金属丝上的表面波,证实这种传播的表面波经历了受激辐射放大机制。但如何将太赫兹波推进至相对论强度,依旧还差临门一脚。

“我们想到了一个办法,把金属丝端面改为纳米级针尖。”田野说。当太赫兹表面波沿着金属丝传导、汇聚到仅50纳米半径的针尖时,场强被极度增强,足以瞬间电离气体,这为“造出”球状闪电提供了可能。

然而,从理论设想到实验成功,中间隔着无

数个“再试一次”。

团队中的90后周楚亮副研究员,在上海“羲和”装置的真空腔体里待了整整一个月。腔体空间狭小,人钻进去站不直腰,夏天闷热难耐,要戴着复杂的手套操作数个精密镜头。每调整一次,钻出来,发现不行,再钻进去。“他每天兢兢业业地调,出来喝口水,再进去。”田野说。这样的日子,持之以恒地做下来需要意志品质。

哪怕是一个小小的喷气喷嘴也可能是决定成败的关键。为了获得满足实验等离子体要求的气体密度和流场结构,团队必须定制微型超音速喷嘴,它的内部加工有几十微米级的精细通道。由于国际和国内企业很少有相关加工经验,第一次承接这样的定制也有不小的压力,前后尝试了三个方案才由国内公司成功研制。“每更换一次喷嘴,就要重新采集数据。”田野说,“但我们不会说遇到几次麻烦就不干了,这种麻烦,我们能承受一百次。”

实验的失败率无法精确统计,因为数据量太大了——团队积累了上万幅实验数据。最开始拍到的,只是“短暂”散乱的光,根本不是“持续发光球”。大家每天看数据,重新调整针尖位置、气体密度、时间同步……

“其实我们最初做的时候,并不知道最后能成功。”田野坦言。是什么支撑着他们继续?“就是好奇心。我就是想知道它到底能不能产生,它是怎么产生的。”田野说,“这是做科研的一种定力和惯性。”

终于有一天,经过无数次尝试后,在暗室的探测器首次捕捉到一个直径约百微米的“小火球”。随着延时扫描的展开,

团队发现它的发光寿命比过去同类实验提升了成千上万倍。

“团队成员看到这个球时都非常激动。”田野说,“虽然它比自然界的球状闪电小了一千倍,但确实确实是一个长时间燃烧的发光小球。”

与科学较真 最享受的是物理本身的美妙

科学的道路并不总是通衢大道。对于田野来说,推翻自己的认知,同样是科研的一部分。

2017年,团队发现超强超短激光打微米直径金属丝能产生强太赫兹波,当时国际轰动,大家畅想可用于太赫兹光源。但田野总觉得哪里不对,这里肯定还有未阐明的机制:“它的强度比常规理论估算强了百倍以上,不合理。”此后几年时间,本着较真的态度,团队反复验证,最终在2022年证实,那并不是自由空间的太赫兹波直接发射,而是一种表面波,并且表面波在被电子脉冲持续泵浦实现辐射放大,能量绝大部分被束缚在金属丝表面。

“可能更多时候走一些弯路,比走直线会收获更多。”田野说。这次“纠错”让他们真正掌握了产生极强太赫兹表面波的方法,进而才有了后来的球状闪电实验。

对于田野来说,科研中最享受的瞬间,不是论文发表后的庆贺,而是与物理本身“打交道”的时刻。“拍第一幅数据时最开心,再连续拍一万幅、一百万幅也开心——你在不断积累不断验证的过程中,发现这些现象背后的物理居然这么美妙。当你推演的物理模型与实验结果如此贴切,那些曾经令人困

惑的现象被一步步揭开,这个过程会获得一种极为强烈的探索成就感,而这种不断逼近真相的过程,本身也充满了独特而美妙的魅力。”

田野团队的核心成员,大多是90后。其中,95后张冬冬和90后周楚亮,都是此次球状闪电研究中踏实肯干、长期坚守的一线学生骨干。田野会根据每个人的特质因材施教,分配科研课题,有人擅长多线并行,同时推进三个课题,有人更适合聚焦攻坚,专注一两个。

谈及如今的00后学生,田野表示,这一代年轻学生最大的特质是敢于质疑、敢于建立自己的思考体系。他也相信,当越来越多充满创造力与独立精神的年轻科研力量投身到科研事业,未来二三十年,中国将有望诞生大量诺奖级的原创成果。