

# 40年追光,她打开阿秒世界大门

## 2023年诺贝尔物理学奖得主安妮·吕利耶做客浦江科学大师讲坛

据文汇报“1阿秒之于1秒,就如同1秒之于宇宙的年龄138亿年。阿秒几乎是目前人类能掌控的最短时间尺度。”2023年诺贝尔物理学奖获得者安妮·吕利耶用一个直观比喻,带领在场的所有听众进入阿秒的微观尺度的世界。

第十四期浦江科学大师讲坛近日在复旦大学相辉堂开讲。主讲者瑞典隆德大学教授安妮·吕利耶也是2022年沃尔夫物理学奖获得者,她以《阿秒脉冲的探索之旅》为题分享了她研究历程和最新的成果。

### 一场“失败的实验”,开启阿秒科学的全新纪元

阿秒,即10的-18次方秒,是人类目前能掌控的最短时间尺度。在微观世界里,分子、原子的运动要用飞秒(10的-15次方秒)尺度来观察,而比原子更小的电子,其运动轨迹与状态变化,唯有阿秒级的光脉冲才能精准记录。

吕利耶的阿秒探索之旅,起点是一场“意外”的实验。

上世纪80年代,还是年轻研究员的吕利耶,在法国萨克莱原子能和替代能源委员会搭建实验装置,试图观测强激光照射原子气体后的荧光现象。“我们以为这是一场失败的实验,因为几乎没有观测到预期的荧光。”但让团队惊喜的是,他们捕捉到了一个前所未有的物理现象——激光场的高次谐波。

“就像小提琴演奏中,当拉出一个单音,除了基音还有丰富的谐波,这让它产生了独特的音色。”吕利耶说,实验结果显示,入射激光通过氙气后,产生了一种高次谐波。在原子与强激光场的相互作用下,这种高次

谐波的频率是入射激光频率的奇数倍。更令人意外的是,这些高次谐波的强度并未随着次数升高而持续下降,反而在中间形成了一段强度相近的“平台区”。这正是阿秒光脉冲诞生的基石。

“发现了高次谐波之后几年的时间里,我们就意识到了阿秒脉冲。但实际上我们花了14年,才在实验中测量到脉冲宽度,真正确认了它。”吕利耶说。

### 看见电子的运动,阿秒能给我们带来什么

“阿秒技术让我们得以观察物质内部的电子运动。”吕利耶表示。电子运动的时间尺度在阿秒量级,阿秒脉冲技术作为一种全新的时间工具,能让人类更精准地观测电子的微观运动。这项技术让人类重新理解光电效应的完整过程,破解原子、分子内部的电子动力学奥秘,为量子物理、凝聚态物理等领域打开了全新的研究维度。

如今,除了气体高次谐波产生的阿秒源,自由电子激光也成为了生成阿秒脉冲的新方向。而在产业应用端,阿秒技术已经展现出明确的落地价值。“下一代半导体芯片的晶圆尺寸将进入10纳米以下,甚至可能从二维结构走向三维结构。我们可以使用高次谐波对芯片进行检测,来确保集成电路和晶圆的精确分布。”吕利耶介绍。

此外,目前阿秒技术已经在化学领域得到广泛应用,科学家可以通过它观察化学反应中电子的运动轨迹,甚至实现对化学进程的精准控制。吕利耶称,这项技术将有望在生物医药领域实现更多突破,为我们理解生命的微观过程、研发新型药物,提供

全新的研究视角。

### 科研的不断前行,唯热爱可抵岁月漫长

如何避免急功近利,保持长期主义,一直坚持下去?对吕利耶而言,答案是真心的热爱。“近40年研究同一主题,驱动我不断前行的,是发自内心的热爱。在持续的研究里,我总能学到新的东西,总能不断改进实验,加深对这个领域的理解,这份探索的快乐,是最核心的动力。当然,还要有坚韧的性格,哪怕遇到困难,也不轻易停下脚步。”

现场有中学生提问“想要投身前沿科学研究,需要具备哪些素养”,吕利耶反复强调了两件事,其一是对科学的热情,其二是理论与实验并重的思维。

“教学占了我工作50%以上,我始终认为,教学最重要的意义,就是激发年轻人对科学的热爱,这是所有科研探索的起点。”吕利耶说,“1987年的意外发现,印证了实验的不可替代性——它总会给你带来完全预料不到的惊喜。而数学模拟、理论研究,又能与实验相辅相成、相互印证,二者缺一不可。”

作为诺贝尔物理学奖历史上第五位女性获奖者,吕利耶对那些想要投身科学事业的女孩们给出了特别的鼓励,“我的研究团队里,30%以上是女性科研人员,这个比例还在不断提升。”在她看来,科学的发展离不开多元化,更多女性投身科学,是不断拓展科研边界的重要力量。她也为现场有志于投身物理学研究的高中女生给出了真诚建议:保持对科学的热爱与好奇,坚定自己的选择,时间会给坚持最好的答案。 ■李相如



### 历时14年我国为海外中国青铜器“建档”

4月19日,领衔编纂《海外藏中国青铜器集录》的北京大学博雅讲席教授朱凤瀚在展示书中内容。

4月19日,历时14年,北京大学博雅讲席教授朱凤瀚领衔编纂的《海外藏中国青铜器集录》(全60册)由上海古籍出版社首发出版。

《海外藏中国青铜器集录》为海外中国青铜器全面“建档”“归册”,是首次系统调查和梳理海外藏中国青铜文物的重要学术成果,将为开展溯源及流转历史研究提供支撑,助力流失海外中国文物回归。 ■新华社记者 刘颖 摄

## 超级铜箔打破不可能三角

### 新成果登上《科学》,有望让手机长时间使用不发热

据文汇报 手机充电几分钟就发热,问题竟出在一片薄如蝉翼的铜箔上,因为它无法同时满足强度、导热、耐热三重性能的高要求。近日,中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心卢磊团队与合作者成功研发出一种“超级铜箔”,破解了这一难题。相关论文日前发表于国际顶级学术期刊《科学》。

铜箔是集成电路互连线的关键导体,也是锂电池集流体的核心基材,兼具“工业神经”与“新能源血液”双重属性。在很多环境下,它不仅要承受复杂的力学载荷,还需同时满足高导电、高导热与长期热稳定性的严苛要求。

然而,高性能铜箔的制备长期受制于一个“不可能三角”:强度高时导电性差,导电性好时热稳定性又跟不上。随着人工智能算力通信与下一代新能源系统对材料性能需求的不断提高,打破这个“不可能三角”已迫在眉睫。

为此,研究团队设计了全新的“梯度序构”微观结构。他们在电解沉积制备过程中,往电镀液里加了一种微量有机添加剂。随后,厚度仅10微米、纯度99.91%的厚铜箔的纳米晶粒基体上,竟长出了密密麻麻的、平均尺寸仅为3纳米的纳米畴。

这些纳米畴沿厚度方向呈贫、富交替的周期梯度分布,像布料的经纬线一样“交织”在铜箔中——水平方向上,晶粒间均匀分布的纳米畴能提升材料的整体均匀变形能力;垂直方向上,梯度分布的纳米畴则诱导产生超高密度的几何必需位错,显著提高其强度。更巧妙的是,这些纳米畴与基体形成半共格界面,如同微型锁扣,牢牢卡住晶粒间的缝隙,防止晶粒长大,提升金属强度。同时,它们对电子的散射极弱,电子通过时不会受到阻碍,确保了铜箔的高导电性能。

这种“超级铜箔”拉伸强度高,突破了过去普通工业铜箔约为300—600兆帕的抗拉强度极限。与此同时,该铜箔导电率仍然高达高纯铜的90%,比同等强度水平的铜合金高出约2倍。而且,不同于一些放置几天就会衰退的高强度材料,“超级铜箔”室温存放近半年后性能毫无衰减,热稳定性出色,适合长期使用的电子产品、电池等场景。

据悉,这款“超级铜箔”已具备工业连续化生产能力,未来有望让手机芯片做得更精密、长时间使用不容易发烫,新能源车锂电池也将做得更薄、更安全,大电流充电损耗会更低。 ■金奕伶

## 市场监管总局对“幽灵外卖”系列案作出行政处罚决定 7家电商平台被罚没35.97亿元

据新华社 4月17日,国家市场监督管理总局依法对7家电商平台“幽灵外卖”系列案作出行政处罚决定,责令7家电商平台改正违法行为,暂停新增蛋糕店铺3至9个月不等,并处以罚没款共计35.97亿元。同时,对7家平台企业法定代表人和食品安全总监合计处以罚款1968.74万元。

据市场监管总局介绍,依据《中华人民共和国食品安全法》第一百三十一条、《中华人民共和国电子商务法》第八十三条的规定,对上海寻梦信息技术有限公司(拼多多)、北京三快科技有限公司(美团)、北京京东叁

佰陆拾度电子商务有限公司(京东)、上海拉扎斯信息科技有限公司(原饿了么,现淘宝闪购)、北京抖音科技有限公司(抖音)、浙江淘宝网络有限公司(淘宝)、浙江天猫网络有限公司(天猫)7家电商平台作出相应处罚;依据《中华人民共和国食品安全法实施条例》第七十五条的规定,对7家平台企业法定代表人和食品安全总监作出相应处罚。

案件启动调查后,市场监管总局第一时间责成电商平台立行立改,7家电商平台均已下架未经审核的有关“幽灵店铺”,停止与相关转单平台的餐饮转单合作。 ■王悦阳

## 上海“羲和”激光装置在国际上首次激发并捕获太赫兹孤子 球状闪电悬案找到关键线索

据文汇报 雷雨交加的夏日夜晚,一团诡异的发光火球悄然悬浮于空中,或飘入室内,或掠过田野,数秒乃至数分钟后消散——这便是球状闪电,自然界最神秘、最令人费解的电磁现象之一。

过去200多年,科学家始终无法回答一个核心问题:球状闪电这样一团空心而炽热的等离子体,为何不会瞬间炸开,反而能在空气中“聚而不散”?如今,这一“百年悬案”在上海的实验室里找到了关键线索。

依托大科学装置——上海超强超短激光实验装置“羲和”,中国科学院上海光学精密机械研究所超强激光科学与技术国家重点实验室宋立伟、田野和李儒新团队,首次在国际上成功激发并捕获了一种与自然界球状闪电高度相似的球形发光体,并证实其本质为一种电磁孤子——太赫兹孤子。

近日,国际顶尖学术期刊《自然·光子学》发表了这一成果。它不仅为破解“百年悬案”提供了关键实验证据,更揭示出极端电磁能量自持约束的微妙物理机制。

### 实验室“吹”出毫米级“球状闪电”

球状闪电之所以成为科学上难啃的硬骨头,在于其行与常识相悖——普通闪电转瞬即逝,而它却能在空中悠然漂浮,甚至穿透玻璃窗。

“球状闪电就像一个被雷电吹出的等离子体‘肥皂泡’,里面囚禁着一段电磁波,一个巨大到宏观可见的电磁孤子。”田野解释,灼烧着的等离子体加热外部空气向内挤压,而内部电

磁波则要冲破“肥皂泡”,两者相抗衡,形成了一种微妙平衡,使得球状闪电得以维持较长时间。

早在19世纪,英国物理学家法拉第就开始尝试破解这个谜团。近几十年来,科学家想尽办法在实验室里制造出类似球状闪电的电磁孤子。不过,要捕捉并囚禁电磁波,难度极大。以往在实验室里,用近红外激光只能产生出微米级的电磁孤子,寿命仅皮秒级,只有极高速的科学相机才能拍摄到它们的身影。

2017年,“羲和”激光装置在国际上首次实现10拍瓦激光放大输出,此后它一直雄踞全球同类装置的峰值功率榜首。“在‘羲和’上我们发现,用飞秒激光驱动金属丝,可产生很强的表面波激光。”于是,田野产生了一个大胆想法——用波长接近毫米的表面波激光来产生宏观可见的球状闪电。

要让毫米波激光“吹”出等离子体“泡泡”,所需激光功率极高。经过无数次实验,研究团队终于找到办法,将表面波升级到纳米针尖,让表面波场强达到足够高,最终在实验室“吹”出直径近毫米的“球状闪电”,维持时间延长至百纳秒级。

“这比之前的电磁孤子‘寿命’延长了100万倍,已能用普通相机拍下了。”宋立伟在第一次看到那团蓝白色小球时,兴奋得差点不相信自己的眼睛——这是世界上第一次成功在实验室捕获太赫兹波,产生一个肉眼可见的太赫兹孤子。

### 稳定支持下做出“可能无用的研究”

自然界中,真正的球状闪电直径

可达几十厘米。根据计算,用微波激发这样一个体积的球状闪电,所需能量基本与两块雷雨云层放电所产生的能量相当——球状闪电正是自然界所产生的宏观电磁孤子。田野相信,未来经过进一步探索,有可能在实验室“造”出直径厘米级、寿命长达数秒的电磁孤子。

若这个目标实现,团队想做的第一件事是开设一个科普小实验现场,让中小学生都能来尝试一下用激光“吹泡泡”,感受一下“制造”小型球状闪电的神奇。

田野认为,这项研究可能会启发未来的能量存储形式——这种孤子可作为一种全新“容器”,用于存储极高能量的电磁辐射,为新型能量存储技术奠定基础。理论上,这种无容器储能方式所能达到的能量密度,远超现有电池或电容器,有望为解决能源问题提供新路径。未来,它也可能为太赫兹光子学、聚变能源等领域开辟新的探索方向。

除了“羲和”激光装置这样的“国之重器”带来的顶尖实验环境,研究团队于2021年获得上海市科委首批“基础研究特区计划”为期5年的稳定支持。加上国家自然科学基金委基础科学中心项目、青年科学基金A类、中国科学院稳定支持青年团队等资助,团队得以心无旁骛。

田野坦言,这是一项近期看来可能无用的研究,“但正是在上海这片土壤,我们才敢于尝试”。或许,“无用”会在某些时候成为“大用”。用大装置“造”球状闪电的好奇心,也是上海这座城市创新与包容的一个剪影。 ■许琦敏