

高技术前沿

据报道,11月3日,国家重大科技基础设施“先进阿秒激光设施”宣布正式启动建设。据悉,建成后,该设施应用终端覆盖全面,具备阿秒级时间分辨能力和高度时空相干性。科研人员基于这一设施,可利用阿秒激光的超短脉宽和高空间分辨率等特性,对包括高速光电器件、超导材料、光伏发电、

光合作用等过程中的深层次超快动力学过程展开探索,为研究物理、化学、材料、信息、生物医学等学科中的重大基础科学问题提供崭新的技术手段。那么,究竟什么是阿秒?阿秒激光技术又是什么?阿秒激光技术未来具有哪些应用前景?请看本文解读。

阿秒激光——

打开通向微观世界的“时间之窗”

■ 逯心一 杨秀全 臧朔阳

突破时间测量的极限

想要了解“阿秒激光”,首先要知道“阿秒”是什么。

阿秒,是一个非常短的时间单位,突破了现有时间测量的极限。它比飞秒更短,是人类目前能够掌握的最小时间尺度。如果以秒为单位进行量级类比,那么1阿秒等于10<sup>-18</sup>秒。

对于如此大的量级差距,有人做了这样一个形象的类比:一束光从地球到达月球的时间约为1秒,那么在1阿秒的时间内,光只能传输0.3纳米。这0.3纳米的距离长度,约为一根头发丝直径的20万分之一。由此,我们可以想见阿秒之短、之微、之快。

而阿秒激光,是指一种在阿秒时间尺度上闪烁的激光。按波长分类,它属于紫外至软X射线波段的激光;按输出模式分类,其属于脉冲激光。

阿秒激光的特点是脉冲持续时间极短,能用于观测和控制原子、分子和固体中电子的超快动态过程。通过阿秒激光,科学家们可以像看电影的慢动作回放一样,观察电子在原子内部的运动,探究它们之间的交互作用。

2023年诺贝尔物理学奖,颁发给了3位在阿秒激光领域作出贡献的科学家。不过,这几位科学家虽然开发出了阿秒脉冲产生和测量的实验方法,但由于目前实验水平有限,无法支撑3位科学家的科研成果在应用领域实现重大原始创新突破。在这样的背景下,先进阿秒激光设施的出现,有望解决这一瓶颈问题。

事实上,20世纪末时,激光技术已经能够产生飞秒级别的脉冲,而更大的挑战则是如何突破飞秒的限制,进入阿秒级的时间领域。

这一突破,来自科学家在高次谐波生成领域的开创性研究。

一次激光电离气体实验,科学家发现,当激光通过惰性气体时,会生成一系列称为高次谐波的光信号。神奇的是,这些谐波的强度并不会线性下降,而是形成一个平台区域。它们组合成的脉冲,竟达到了阿秒级的时域。

阿秒脉冲激光的出现,被认为是激光科学历史上重要的里程碑之一。

从20世纪60年代第一道激光诞生开始,随着技术的不断发展,激光的脉冲宽度也在不断缩小,2001年,奥地利维也纳技术大学费伦茨·克劳兹教授领导的研究小组,首次在实验中获得



先进阿秒激光设施建设示意图。

资料图片

了650阿秒激光脉冲;2012年,美国中佛罗里达大学研究团队成功将飞秒激光脉冲激发氦气形成高次谐波,获得了67阿秒的超短激光脉冲;2017年,瑞士苏黎世联邦理工学院科学家们又进一步将脉冲时间缩短到43阿秒……

我国的阿秒激光研究虽然总体起步较晚,但追赶迅速。

公开资料显示,2013年,中国科学院物理所研究小组使用3.8飞秒的驱动脉冲获得了160阿秒的孤立脉冲。

2021年,中国科学院西安光机所自主研发的高能分辨阿秒条纹相机,产生了75阿秒的孤立阿秒脉冲,刷新了国内的阿秒脉冲纪录。

科学家们成功将人类探索世界的时间尺度推进到阿秒量级,让人类第一次拥有了可以用来直接测量电子动力学行为的工具。

揭示微观世界的奥秘

人类认识运动世界的最初工具是自己的眼睛。慢慢地,人们发现只依靠眼睛认识世界具有很大局限性。

以观看运动中的风扇叶片为例。“工作中的风扇叶片旋转方向是顺时针还是逆时针?”

人类肉眼无法判断。如果拿手

机去拍,大概率会得到风扇叶片运动的“残影”。如果你拿高速摄像机去拍,就能拍到清晰的图像,判断风扇叶片的旋转方向。

与这个道理类似,在阿秒激光出现以前,人们在拍摄电子时,得到的就是电子运动的“残影”,无法判断电子的许多性质。阿秒激光出现之后,人类开始有机会得到电子运动的清晰图像,进而判断这些电子的性质。

凭借前所未有的时间分辨能力,阿秒激光为人类打开了通向微观世界的“时间之窗”,让人类能够在更精细的时间尺度上去“看”不同的现象。

需要注意的是,这里的“看”和我们肉眼借助光的反射来观察物质并不一样,而是收集并分析脉冲激光与物质相互作用的信息,进而成像。例如,科学家们使用阿秒脉冲串激光和红外激光电离氦气,再使用速度成像谱仪测量它们电离的电子能量分布,从而在阿秒尺度上获得氦原子内的成像,“看”到了原子内的电子运动。

此外,科学家还将阿秒激光技术和电子显微镜技术相结合,将透射电镜的时间分辨率从飞秒量级提高到阿秒量级,用于拍摄光与物质之间的超快相互作用。这也为光子集成电路或超材料的发展开辟了新道路。

诺贝尔物理学委员会主席伊娃·奥尔森说:“我们现在可以打开通往电子世界的大门了。阿秒物理学,使我们有机会了解电子控制的机制,下一步将是如何应

用。”

凭借着超高的时间分辨能力,阿秒激光的科学意义巨大。

在原子分子物理领域,阿秒激光可以用来研究原子分子中的电子结构、动力学和相互作用,例如电子轨道成像、电子隧穿、电离、解离等过程。

在凝聚态物理领域,阿秒激光可以用于研究固体材料中的电子、自旋和磁性等物质的超快变化,例如电子相变、自旋动力学等。

在X射线科学领域,阿秒激光可以用来产生高亮度的软X射线和硬X射线,从而实现X射线的时间分辨和空间分辨,例如X射线衍射、X射线发射等技术。

如今,阿秒激光技术已经成为物理、化学、生物等学科中重要的研究手段,世界上的许多国家都将其列为未来10年激光科学发展中重要的发展方向之一。

令人充满期待的前景

时间就像一把尺子,尺子刻度越精细,测量的精度就越精细。与此同时,尺子刻度越精细,对制造尺子的工艺要求也越高,相应的投入也越大。

当前,世界主要科技强国都在加大

对阿秒激光设施建设的投入。同时,随着人工智能技术的不断完善,未来人工智能或将与阿秒激光技术相结合,通过机器学习等方法更加准确地分析和理解相关观测数据,推动多领域在研究上有新突破,在应用上有新拓展。

——生物医学。聚焦的阿秒激光光束可以将相互作用区域限制在非常小的空间里,从而实现纳米精度的操作。比如,在对组织和细胞进行显微操作中,阿秒激光技术可以捕捉物质在极短时间尺度下的运动和变化,这有助于寻找新的治疗靶点。再比如,应用阿秒激光技术检测血液样本中的蛋白质,可以帮助检测癌症的特征物质,进行早期癌症筛查以及抗癌药物的疗效监测,为研发新型药物和治疗方案提供重要依据。

——材料精密加工。当前,制造技术逐渐向高精度、高效率、智能化方向发展,精密激光加工技术是实现这些发展方向的重要手段。阿秒激光技术具有超短的脉冲频率,将其作为激光束对材料进行处理后,有助于提高制造材料的精度。在工作中,通过利用高能量密度激光束对材料进行局部加热、熔化、切割,制造的材料具有精度高、可控性强的优点。

——电子科学。科学家或将通过阿秒技术催生更强大的计算机芯片,用于实现更快速的量子计算。在量子计算中,量子比特之间的相互作用非常关键,而阿秒级别的计时可以更好地揭示这些相互作用,在信息处理和通信领域应用潜力巨大。

——激光雷达。距离测量是军事领域中一个极其重要的环节。无论是目标侦察还是炮火打击,都需要精确的距离数据。而利用阿秒激光技术测距,可以大幅提高测量精度,且具有很强的抗干扰能力。如果将阿秒激光技术同现代光电探测技术相结合,便可构成先进的激光雷达系统。相较传统雷达而言,这无疑将大大提升目标跟踪、导弹制导、地形跟随等任务的精度。

凭借超短的脉冲频率和对快速运动过程的精确捕捉能力,阿秒激光技术在诸多领域拥有着广阔的发展前景,为各行各业的创新发展提供了支撑。可以预见,科学家们将在阿秒尺度上探明更多新奇现象的机理,推动基础科学与应用科学的发展。

展望未来,当人类从阿秒尺度迈入更快的阿秒尺度,也许我们将会揭示粒子产生、核聚变等更快的动力学过程,去解决更加极端的问题。

相信人类对未知领域的无尽好奇与技术的不断成熟,将一次次突破科学极限,并将其不断应用于社会的更多领域,为我们的生产生活带来更多积极的改变。

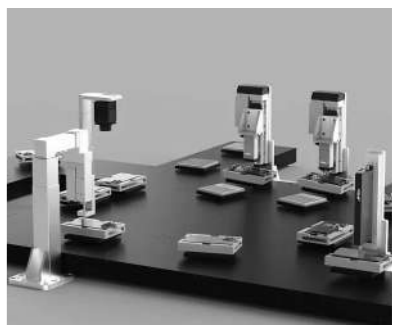
科技云

科技连着你我他

■本期观察:周正松 叶镇泉 赵志星

提起磁悬浮技术,大家最先想到的一定是磁悬浮高速列车。事实上,磁悬浮技术是一项集电磁学、控制工程、动力学等为一体的高新技术,除了磁悬浮高速列车,还可应用于诸多方面。本期“科技云”,我们为大家带来了磁悬浮技术的其他3种应用场景。

磁悬浮“魔毯”



在2024年国际工业博览会上,中国一家科技公司展出了一款自主研发的磁悬浮“魔毯”。

所谓“魔毯”,是一种有别于传统电机或传统机械结构,创新灵活、智能强大,支持精密位移、柔性传输的系统。据悉,利用高密度的定子平面模块,该“魔毯”可以产生能够精确调节的电磁场,使定子模块磁悬浮于定子之上,进行自由灵活的精准位移运动。

高度集成化的设计简化了机械结构设计和安装工作量,显著缩小了设备的占地面积,可以实现高速、灵活的物料运输以及自适应精密装配、检测等工艺工序。在医疗领域,磁悬浮“魔毯”还可以替代传统流水线实现洁净生产,提升操作的精度和效率。

磁悬浮柔性输送线

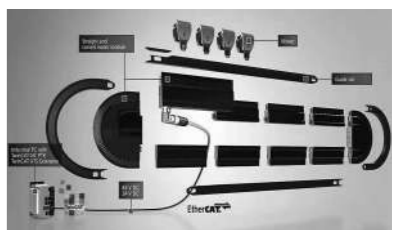


前不久,我国一家机器人公司核心团队推出了一款磁悬浮输送系统——iFM智能柔性运动系统,又称作“磁悬浮柔性输送线”。

相对于其他磁悬浮输送线,iFM智能柔性运动系统采用模块化设计,有着微米级的重复定位精度,具有高精度、高推力、高负载等特点。

iFM智能柔性运动系统还可直接联动控制该公司生产的各类机器人执行器,从而减少控制难度,提高工作效率。同时,该系统高度集成,搭建简单,可以多向度扩展应用场景,并具备较为优异的振动抑制功能、防撞功能等,在多个领域具有广泛的应用潜力。

磁悬浮智能机器人



近日,加拿大一家专注于磁悬浮平面电机产品开发与制造的企业推出一款磁悬浮智能机器人系统。该产品的出现,能有效提高生产线的灵活性和产能,是智能制造发展的一个新标志。

该系统由一个或多个移动器和一个由模块化静磁器组成的固定表面构成,具有高精度和高灵活性,能广泛应用于精密制造和其他需要高精度控制的工业场景。

此外,由于该系统可以实现非接触式自由度的精密运动,不会产生污染,未来有望更多地应用于对洁净度要求较高的行业,如食品、化妆品和药品制造等。



作战场景下,各个作战节点间无线通信网络构建示意图。

唐宇航供图

在不久前召开的“2024世界互联网大会”上,“6G+AI”成为大家热议的行业话题之一。

提起6G,就不得不说起其背后的无线通信技术。近年来,随着大数据、云计算、物联网等新兴技术的发展与应用,无线通信技术逐渐从信息化走向智能化。

作为智能化时代技术革新的一股力量,人工智能技术正在加速赋能无线通信,不断织密“无线通信网”,推

动无线通信产业迎来变革。

在信息化战争条件下,无线通信网络不仅是信息传递的纽带,更是指挥控制、协同作战的关键,“通信+AI”对于军事无线通信也具有重要影响。

面对海量的、瞬息万变的战场数据和信息,如何进行高效处理分类、快速传输共享并进一步转化为战斗力,是军事无线通信面临的一大难题,AI算法将为此提供有效的解决手段。

提高军事通信质量与可靠性。未

来战场上,战场侦察感知活动和对抗日趋复杂激烈,通信网络的稳定性和安全性直接关系到作战信息的传递效率与准确性。一方面,利用多种神经网络模型实现信号的智能滤波、智能降噪、智能编码、智能调制,识别和去除除噪声中的噪声干扰,并优化通信编码和调制方法,能够提高信号传输的速率和准确性,确保军事数据传输不失真。另一方面,AI在数据安全方面也扮演着重要角色,在进行前期的学习后,AI不仅可以实现通信密钥的智能生成、分配和更新,还能通过实时监控和分析网络流量,准确识别各种类型的网络攻击,提高军事通信的可靠性。

助力无人作战装备高效应用。通过更高速率、更低延迟的无线技术,无人机、无人车、无人艇等一系列无人作战装备作为通信系统中的重要节点,打破以往“平台—系统—平台”的单链

式通信结构,能够直接将各自收集到的数据和信息传输给其他节点和指挥系统,实现高效实时的互联互通和信息共享,形成一张庞大的战场信息网络。人工智能技术则为无人系统带来了智能化的提升,通过应用机器学习、深度学习等算法,系统能够根据任务需求进行决策和规划,协调不同类型的无人装备,实现无人集群协同作战,其中最为典型的代表就是无人机“蜂群作战”。

为战场态势感知植入AI大脑。如果将战场态势感知体系比作一个完整的人,那么军事物联网是其身体,通感一体化技术则让身体获得眼睛、耳朵、鼻子和皮肤等器官来感知周围世界;人工智能相当于其大脑,负责对大量感知信息进行分析、决策和学习进化。因此,战场上成千上万的传感器设备将不再是简单的数据收集工具,而是成为能够自主感知、

分析、决策和响应的智能节点,不仅能够指挥机构模拟一个更加全面逼真的战场环境,还能够分析判断战场上的潜在威胁,对作战资源进行智能调配,为指挥员提供辅助决策,共同构成一个高度智能化、自适应和可扩展的系统。

不过,目前“通信+AI”发展仍面临诸多挑战和限制,离技术全面落地还有相当长一段路要走。技术融合本身就需要克服诸多难题,例如无线通信数据可用性差、无线网络建模难度大、AI模型运行时长增长等。随着人工智能技术不断成熟,“通信+AI”的趋势已不可阻挡,智能化“无线通信网”正越织越密,或将颠覆传统作战认知,对战争形态产生深刻变革。

热点追踪

人工智能织密“无线通信网”

■朱锦锐 杨润鑫