

走近之江实验室最新科研成果—— 近观“高精尖” 远眺未来时

本报记者 严粒粒 见习记者 涂佳煌 通讯员 陈航 周立超

高铁让地理距离不再遥远,朝发便可夕至;智能手机让人际联系更为便捷,天涯不过咫尺……不断更迭的科技,正为我们的生活,以及观察世界的方式,提供着极大的便利和可能性。本周,之江实验室举行了成立以来最大规模的集中科研成果发布会,面向公众重磅发布了十余项科研成果。探索科学研究新范式的智能计算,引领世界前沿的基础研究,破解“卡脖子”难题的核心器件与装备……这些重要领域,乍一看有些晦涩,走近后,你会发现它们的价值所在。



基于光动量效应的极弱力测量科学装置。

极弱力测量科学装置 追寻感知力极限

如果说,人与人的相爱,是靠一股吸引力在牵引,文学家可能会感叹,这股力源自两个灵魂的默契;而科学家此时或许会跳出来,以严谨的态度表明——这股力一点也不玄乎,甚至还可以被测量。

“只要有质量的两个物体,相互之间就会产生引力。如果两个成年人正好站在地球相对的两端,那么他们之间所产生的引力大约是 $9 \times 10^{-23}N$ 。科学装置能够稳定测量出比上述情形还要小的力。”之江实验室量子传感研究中心副主任高晓文说。

他口中的科学装置,便是之江实验室发布的新一代极弱力测量科学装置。这台由之江实验室牵头,联合浙江大学共同设计研制、具备完全自主知识产权的科学测量仪器,具备了分辨率达 $4.2 \times 10^{-2}N$ 、力灵敏度达 $4.3 \times 10^{-2}N/Hz^{1/2}$ 的极弱力测量能力。经过与目前全球相关领域的公开指标对比以及专家验收测试,该装置的核心性能指标,已居全球最高水平。

我们为什么要测量力?
“力是描述客观世界物质相互作用的最基本物理量。提升力精密测量的能力,能为人类不断探索科学规律、认知客观世界提供有力的科研利器。”之江实验室极弱力测量科学装置项目负责人、之江实验室特聘专家胡慧珠说。

的确,测力的精密水平,能让我们观测到不一样的世界。比如,在原子力显微镜把物体放大10亿倍的视野里,我们能直接感知到极微弱的原子间相互作用力。科研人员从而能够在比一粒盐小几千倍的尺度上描绘出一种材料的孔、突起和特性。

并且,当前世界科学界最热门的几个话题,都离不开对力的研究。比如,当我们抬头,把目光投向宇宙空间,有更多看不见、摸不着的物质,让科学家们无从下手研究。观察它们,便可以它们之间能产生的极微弱的力着手。

2015年,LIGO(激光干涉引力波天文台)首次探测到一个来自宇宙的引力波信号。它那长达四公里的探测臂微微移动了一个质子直径的万分之一。因为这一事件,LIGO项目的三位组织者获得了诺贝尔物理学奖。我们是否还能再次灵敏地探测到如此微弱的引力波,去印证宇宙起源是一场大爆炸?

此外,暗物质被认为占宇宙中所有物质的大约85%,从未被直接观察到,并且仍然是现代物理学中最大的未解之谜之一。科学家们怀疑它的存在,因为它对宇宙中物体的引力效应。我们能否感知到这大量看不见的物质,从而解释为什么星系会这样旋转,宇宙为

什么会越来越膨胀?

这些都是项目团队希望去帮助解答的问题。“暗物质、暗能量、引力波的探测和检验是宇宙物理学的重大命题。因此我们希望这台极弱力测量科学装置,能够在相关领域得到应用,为相关研究做出贡献。”胡慧珠透露,近期,他就将赶赴国内相关领域优势单位作学术交流。在那里,一个探测引力波的大型装置正在建设之中。

相比处于研究初期的量子计算和量子通信,这台科学装置所依托的量子传感是量子技术中较为成熟的子类别,实际应用场景丰富。不止支撑科研,项目团队围绕国家重大任务和产业应用需求,不断拓展装置的应用领域。

在项目团队看来,极弱力测量科学装置不是一颗“蛋”,吞下去就完了。它更像是一只去孕育更多成果的“鸡”。“基于力学量的精密测量,能够构建具有广泛应用前景的智能传感器。”胡慧珠介绍,“比如矿产探测就是一种有效应用”。

在没有探测器的古代,人们对矿藏的勘测源于经验。如《管子》中写到:“上有丹沙者,下有黄金。上有慈石者,下有铜金。上有陵石者,下有铅锡铜。上有赭者,下有铁。”当然,经验主义难免失败。当力的探测达到足够精度的时候,探矿的准确度就大大提升。

“物质之间是有引力作用的。如果地下存在空洞,或者有密度较高的矿的时候,地表的重力加速度会发生变化。我们的智能传感器能感知微小到小数点后第七位的力的变化,并描绘出矿藏的地下分布情况。”胡慧珠举例,除了矿产勘探,根据装置原理能设计出地球重力仪,用于服务地质勘探、灾害预警等现实场景。

极弱力测量科学装置对力的测量基于光动量效应,通俗理解起来,便是用光束之间产生的引力作为“镊子”,“夹住”极微小的粒子做测量。科学家认为,该装置还有进步空间,目前 $4.2 \times 10^{-2}N$ 的力的分辨率只是一个阶段性成果。

“说是‘测量’,其实更核心的是‘控制’。”胡慧珠强调,光束控制的稳定程度与力的测量环境程度正相关。项目组把实验环境进行全方位的隔振降噪处理,隔振基座甚至被埋在地下17米的深处,就是为了排除干扰。“理论上,如果进一步加强对光的控制,我们对力的捕捉精度还能提升7到8个量级。”

合作,永远是推动科学进步的关键因素。在成果发布的当天,项目组还上线了一个开放分享的网站。“我们希望为国内外的前沿理论科研提供帮助,也为提高自身多一分可能性。”胡慧珠说。



“之江瑶光”智能计算操作系统应用界面。(图片均由之江实验室提供)

智能计算数字反应堆 让算力像电力一样好用

“算力”即电子设备的计算能力,小到手机、电脑,大到超级计算机,都需要算力支撑其软硬件的正常运行。步入大数据时代,算力成为数字经济发展的基石,算力需求爆发式增长,这一新型基础设施的普惠建设也愈发重要。

然而,当下算力资源的“异构性”特征引发了不少问题。采用不同技术实现的计算能力,往往具备不同的系统架构、指令集等。用户在使用算力执行任务时需要适配不同的算力软硬件,甚至还要为此专门编写软件,不仅使用不便,还产生了大量算力资源浪费。

为了高效利用规模化算力,支撑各领域的计算需求,之江实验室智能计算数字反应堆应运而生。为协同调度算力和算法,数字反应堆“之江瑶光”智能计算操作系统于去年10月启动建设,目前已发布1.0版本,进入了测试阶段。

人工智能技术是“之江瑶光”的核心,以强大智慧,在用户和算力之间“牵线搭桥”。它“包罗万象”,通过一个“资源连接器”,聚合高性能计算集群、智算集群、智能超算等算力资源,其中不乏“之江天目”异构智能计算机、“之江之光”智能超算机等国内新型计算集群,目标聚合损耗低于10%,算力近线性叠加。它又“运筹帷幄”,按策略对数据进行编排调度,把数据高效传达计算集群和节点,让每台计算机物尽其用,协同整合算力可达10EFlops(每秒1000亿亿次浮点运算)。

“之江瑶光”是一个易用性很强的通用计算平台。“数字反应堆总架构师潘爱民评价道。这不仅得益于它雄厚的算力基础设施,还离不开平台配备的如科学计算、人工智能算法、大数据算法框架、开源科学计算库等各类算法框架。它们面向不同计算任务,避免了用户的重复开发和兼容问题。

“瑶光者,资粮万物者也”。基于数字反应堆,天文、制药、育种、材料、基因五大“应用堆”开枝散叶,与智能计算深度融合。数字反应堆对五大平台的“资粮”,一方面在根据已有算法库,为科研人员提供“零代码一键部署”服务,另一方面则能帮助他们根据需要进行低代码自建,即以最少的手动编码构建出功能强大的应用。而随着更多领域的自研算法被引入,“之江瑶光”的算法模块也得到了丰富和扩张。

“我们的首批应用赋能科学研究,

未来基于之江瑶光操作系统以及之江实验室的算力基础设施,能够支持各领域用户建设相应的领域计算平台。”潘爱民说。

数字反应堆提供的智能算法与基础科学的第一原理性碰撞,“裂变”出巨大能量。实验无法穷尽的排列组合、方程无法解析的复杂系统,都能在人工智能的协助下——破解。潘爱民认为,智能算法为科研提供新的工具,拓宽思路,提高效率,从某种意义上说,更有可能催生出数据与领域知识相结合的科学研究第五范式。

“五大平台均诞生了突破性研究成果,无疑是对当下大热的科学智能理念的成功探索。”潘爱民说。

比如,今年6月,之江实验室科学家团队发现了首例持续活跃的快速射电暴,相关成果发表于《自然》杂志。基于“之江瑶光”形成的FAST@LAB智能计算天文平台的作用功不可没。该平台实现了中国天眼FAST数据实时的接入数字反应堆,运用深度学习目标检测算法挖掘观测数据,规模化天体辐射现象,还建立了唯一提供动态图谱和完整物理参数的快速射电暴知识库,引领着国际宇宙“时间前沿”瞬变天体物理研究。

又如CERESLAB智能计算育种开放平台,以“计算选优”代替了传统的“试验选优”。通过现有的基因、分子、环境和表型等多模态、多尺度海量数据集,建立了基于深度学习的精准预测模型,借助基因编辑与合成生物学等先进技术,实现了智能、高效、定向培育新品种。目前,平台已经在中科院东北地理与农业生态研究院、中国水稻研究所开展应用。

算力、算法、数据是驱动人工智能发展的三驾马车。下一步,“之江瑶光”还将强化“云边协同”,除对数据中心“云”的建设外,打造智能数据采集的“边缘平台”。潘爱民介绍:“我们已经在智能育种领域开展实验,在集装箱温室中装配传感器,自动提取作物特征,采集的数据与数字反应堆完全打通,可以自动进行后续计算。”

数字反应堆的生态圈将持续扩大,聚合更强算力,布局更广领域,向“让算力像水电一样,随时随处可得”的美好愿景进发。

高通量纳米激光直写装置 突破三维微纳加工技术

以光子芯片为代表的未来技术领域,需要进行三维、复杂、大面积的微纳结构加工。然而,光刻技术一直被认为是挡在我国芯片产业发展道路上的巨石。

之江实验室高通量纳米激光直写技术及装置,就是奔着解决这一矛盾难题而去。目前,该团队正在之江实验室特聘专家刘旭、匡琴方的带领下,致力于提升激光直写“雕刻”的精度和速度,让斑点中的“世界”更复杂精妙。

所谓“光刻”,是利用光“刀”在特殊材料上雕刻图形。从类别上来看,投影式光刻是当下芯片加工的主要方法。它是一种在光照作用下,借助光刻胶将掩膜版上的图形转移到硅材料芯片上的技术。这有点类似于“胶片相机用底片洗照片”过程——刻有精密图形的掩膜版便是底片,芯片就此批量生产。

投影式光刻是目前能实现的精度与效率最好的光刻手段。但是,有没有可能把目前的“最好”推向更好?

“投影式光刻的缺陷也是明显的。它只能刻二维结构,无法满足当下新的发展需求。此外,所需关键材料——掩膜版不仅价格极为昂贵,工艺复杂,制作周期长,而且关键制备技术也‘卡’在他国手里。”之江实验室高级研究员丁晨良博士透露,“而有时候,实验用芯片并不需要批量生产,何必浪费资源去开发掩膜版”。

让我们以“价格”为切入点,更直观地看清使用掩膜版的“代价”。芯片在制造过程中,要经历多次曝光,每一次曝光都要更换不同的掩膜。随着光刻掩膜版层数增加,成本自然是随之增加。在16到14纳米精度的芯片制程中,所用掩膜成本在500万美元左右,到7纳米时,掩膜成本迅速升至1500万美元。

于是,团队把目光投向另一种光

刻方式——具有图形可自定义、可三维打印两大优势的激光直写。“简单来说,便是抛弃掩膜版,利用激光,直接在芯片上雕刻精密结构。这让芯片的研发周期更快,保密性、自主化程度更高。”丁晨良解释。

虽然激光直写加工方式灵活,但也有相对精度低、效率相对不足、稳定度相对不够三大缺陷。

研究团队经过两年多的攻关,成功研制了多套多通道激光直写装备。其中,十通道激光直写系统,突破了边缘光抑制、十通道特异性调控、3D暗斑调控、光束防漂移、差分定焦锁焦等一系列关键技术,能够让激光直写光刻技术实现“高分辨、高通量、高稳定”的性能优势。

目前,这一技术已经能够实现20到50纳米精度的光刻。而50纳米以下的精度,足以覆盖80%电子产品所用芯片。在速度方面,十通道直写系统代表可以实现10道激光同时雕刻,这意味着雕刻速度可以提升10倍,达到100米每秒的刻写通量。以往以“天”计的激光直写时间单位,就此可以缩短至“小时”。

激光直写对光刻胶材料性能的要求很高,同时,光刻胶制备技术长期被日本企业所垄断。“现有材料对激光的敏感度还不够,这意味着我们需要使用更高能量的激光来雕刻。但是能量越高,光刻的精度就会衰减。”丁晨良介绍,为此,研究团队还特意自主研发了一种适配于所有光刻种类的全新光刻胶。“经过与在目前直写领域广泛应用的一种胶对比,我们新研发的光刻胶整体性能与其不相上下。尤其在刚性参数上表现更强。”

好的科研成果不能捂在手,广泛的应用才能惠及社会。据悉,目前,团队研发的新型光刻胶已经实现批量生产,高通量纳米激光直写装置也已经生产出不止一台样机,可有需要的科研等领域相关机构使用。

论及未来应用,激光直写技术的应用边界,甚至超越它的初衷。例如,丁晨良透露,团队正在和国内某三甲医院合作,探索利用相关技术,实现生物组织结构的3D打印。此外,激光直写光刻三维加工能力的优势,也将为AR、VR等智能感知领域贡献更多新型纳米感知器件,有力推动相关技术的发展。

高通量激光纳米直写技术及装置的3D刻写结果。图上观测到的光刻结构长度约为头发丝直径的五分之一。



扫一扫,了解更多科研成果。