

★

热点解读

把10个原子核从海量反应物碎片里挑出来,需要多大的耐心?

今年8月,位于广东惠州的强流重离子加速器装置(HIAF)公布了调试期间的首个重要物理成果:科研人员从海量反应产物中,辨认出10个稀有原子核钆-153。这种粒子极难产生,找出它,好比从沙滩上筛出几粒带特殊印记的沙。而这种肉眼看不见的“沙”,恰恰是人类用以探查原子核世界的钥匙。

今年7月21日,HIAF作为国家重大科技基础设施,顺利通过工艺验收,正式进入试运行阶段,各项指标达到国家要求并优于设计指标,其产生的束流强度是此前国际同类装置最高水平的几倍。此外,HIAF也是世界首台将超导直线加速器、同步加速器和储存环集成于一体的重离子研究装置。

那么,为什么要耗时10多年建造这样一台装置?该装置又怎样让数量庞大的粒子跑得快、聚得拢、测得准?它的出现又将给科学研究和现实生活带来哪些影响?请看本期解读。

强流重离子加速器装置通过工艺验收——

探寻原子世界的“未知疆界”

■宋可畅 涂一可



在核素图的空白处

HIAF寻找的,是藏在原子核深处的秘密。

当我们把所有已知原子核标在一张图上,就会得到一幅核素图。在这张图里,能稳定存在的核素只挤在一条狭窄地带,有些核素刚生成便转瞬即逝。可偏偏是这些罕见的核素,标出了原子核能延伸到哪里,也帮助我们加深对物质世界的认识。例如,我们所熟悉的用来查甲状腺的碘-131、用来探测文物年代的碳-14,都是这张核素图上的某个点。

如何找到这些核素?实验里,通常使用高速重离子轰击靶材,撞出大量碎片,科研人员再从中辨认想要的那一种粒子。粒子越多,碰撞越密,极罕见反应露面的机会才越大,寻找未知核素的可能性也才越大。而这也正是重离子加速器追求高束流强度的原因。

我国早有兰州重离子研究装置在运行,多年支撑着核物理和重离子应用研究,也在合成新核素、重离子治癌等方面有过多项成果。但随着研究不断深入,向捕捉更罕见核素的方向推进,原有的实验条件渐渐触到了天花板:要想捕捉到更罕见的核素反应,需要更强的流强、更高的能量、更精细的测量,对于这3项要求,兰州重离子研究装置已经难以同时满足。正是在这一背景下,HIAF应运而生,它要做的,并不是简单地把机器装置造得更大,而是让装置产生、加速、分离和测量核素的能力迈上新台阶。

从构想到落地,HIAF研发人员走过了10多年时间:从2009年提出建设构想,到2018年12月开工建设,再到2025年10月实现首次释放束流,最终于今年7月通过工艺验收。如今,作为世界首台将超导直线加速器、同步加速器和储存环集成于一体的重离子研究装置,它可以将几种原本分置的能力收进同一台机器,为那些过去想研究却难以研究的问题提供了新的实验条件。

让粒子跑得快、聚得拢、测得准

实现“强流”,不是单纯地把开关拧大就能实现。随着粒子的增多,难题也接踵而至——

同号粒子相互排斥,束流越强,空间电荷效应越明显,粒子更容易膨胀、偏离轨道甚至丢失;粒子与真空室内残余气体碰撞,还可能改变电荷状态;同步加速

过程中,磁铁、电源、高频和真空系统又必须在极短时间内协同变化……高流强如果控制不好,不仅不会产生更多有效粒子,反而可能造成更大的束流损失。因此,让海量粒子聚在一起并不算成功,只有把它们安全、稳定地送到实验终点,强流才真正有用。

如果把重离子实验看成一场接力跑,HIAF中的不同系统就是一棒接一棒的队员。前面的系统负责造出粒子并使其加速,中间的负责储存和调控,后面的则负责分离和辨认,其中的任何一棒都不能掉链子。围绕这趟接力跑,HIAF科研团队逐段攻关,形成了全链条自主技术体系,攻克了3道关键技术难关。

——更快的加速节奏。粒子进入增强器系统后,沿环形轨道一圈圈奔跑,每转一圈就能再获得一些能量。而HIAF增强器的磁场上升率达到每秒12特斯拉,快循环脉冲电源的电流上升率也达到每秒3.8万安培。已知地球磁场只有约十万分之五特斯拉,这套增强器,则使磁场在一秒钟之内从零攀升到地磁场的20多万倍,其能量强度可想而知。随后,磁场负责把粒子拽回到正确轨道,高频系统负责在恰当时刻继续加速,电源负责提供动力。几套系统仿佛组成了一支训练有素的乐队,在同一节拍上精准配合。

——更聪明的束流累积。为了解

决上文所说的大量同号粒子相互排斥问题,科研人员创新提出六维相空间涂抹注入方法:用3个位置坐标加3个动量坐标完整描述每个粒子的运动状态,让一批批粒子在位置、方向和速度上有序铺开,减少过度拥挤。这就像体育场让观众从不同入口、分时进入不同座区,即便空间有限,也能容纳更多人。同时,科研人员配合独立时钟堆积技术,束流累积增益较此前国际最高水平提高10倍,而束流损失降低一个数量级。

——更稳定的轨道。束流要稳定奔跑,轨道环境也必须足够稳定。HIAF研制出约0.3毫米厚的超薄壁真空室,并用三维打印钛合金骨架支撑。管壁只有0.3毫米的超薄厚度,是为了减小快速变化磁场在金属中引起的涡流;管内被抽成真空,是为了不让高速粒子撞上残余气体……束流越稳,后端测出的质量才越准,医用同位素、材料分析才有可靠底气。

当粒子抵达靶区并发生碰撞后,任务还没有结束。反应碎片混作一团,要通过放射性束流线先把它们分开、筛选,再送入高精度环形谱仪。不同原子核在环形谱仪中飞行的时间和状态有细微差别,探测器据此判断它是谁、质量是多少。

可以这样说,HIAF中的每个系统都缺一不可,正是这些系统紧密配合,才能精准发现一闪而过的罕见核素。

从科学发现走向更广阔的未来

对HIAF来说,建成只是起点,能否持续产出原创成果,才是检验HIAF这个大科学装置价值的关键。HIAF试运行前后,已经显露锋芒:今年4月,高精度环形谱仪对金-202原子核的质量测量精度大大提高,较此前国际最高精度提高了1倍;随后,钆-153粒子被实验确认发现,成为装置调试期间首个重要物理成果,把核素图的边界又往外推了一步。

在超重核与新元素研究领域,HIAF同样备受期待。元素周期表上已确认118种元素,再往前发展,就要面对发生概率更低、存在时间更短的反应。强束流能增加极罕见反应露面的机会,为探索119号、120号元素及更远的核素区域提供新的实验条件。

不过,新元素的合成不是粒子足够多就一定成功;反应路径怎么选、靶材料能否承受、碎片怎样分离、信号如何确认,HIAF必须经过每一关的考验,同时最终结果还要经得起重复验证。

此外,HIAF产生的重离子束,用途也不仅在于寻找新核素。在空间科学领域,航天器材料和电子器件可以先送到重离

子束下,接受一轮辐射轰击的考验,看它们是否具有扛住太空射线冲击的能力;在材料科学领域,材料科学家可以借助它观察物质在极端条件下结构的变化过程;相关技术还能向核能、生命科学和医用同位素制备等方向拓展……你或许听过用重离子治疗肿瘤,这类精准放疗已在国内部分医院开展,而HIAF更稳更强的束流,有望支撑下一代放射性药物与精准放疗研究。对不同领域的研究者来说,HIAF像一片蓝海,同一束粒子在不同的探索环境下,能回答不同的问题。

不过,这些应用前景并不会随着装置开机自动到来。从稳定供束到靶站承受能力,从分离效率到探测灵敏度,HIAF仍要在试运行中一道一道磨合;科研成果要真正走进医疗、工业等领域,还要经过专用设备研制、工艺验证和临床或产业检验。大科学装置为我们提供了工具和条件、汇聚人才与问题,但每一项收获,都需要装置的稳定运行和长期培育。

从10个钆-153粒子被成功辨认,到向核素图的更远处进发,HIAF的发现之旅才刚刚开始。未来,当航天器的芯片因HIAF的作用变得更可靠,当元素周期表翻到119号元素所在的那一页,人类或将继续追问原子核的边界究竟在哪里,并把对微观世界的认识,一格一格继续向前推进。

上图:强流重离子加速器装置俯视图(无人机照片)。

新华社发

人工智能赋能无人侦察机发展

■张晓雪 陈志华

据外媒报道,今年6月,俄乌冲突前线,俄军依托“天竺葵-4”无人侦察机昼夜巡飞侦察,精准锁定乌军机场战备战机坐标,同步引导火力完成定点摧毁,数十秒内实现“发现即打击”的作战闭环。

凭借低成本、零人员伤亡、全天候滞空等独特优势,无人侦察机可深入高风险空域,抵近侦察、大范围持续监控,这既弥补了传统侦察手段的性能短板,又能同步完成光学成像、信号截获等多个任务。

当前,随着全球军事竞争加速向智能化、无人化演变,无人侦察机作为新型且高效的情报收集手段,已成为各国的重点发展对象,逐渐从传统的辅助侦察装备,演变为当前感知战场态势的重要装备。

——技术革新迭代,侦察感知向智能自主深度跃迁。智能自主、通信传输、传感器融合3大核心技术的突破,让无人侦察机的“战场感知神经”愈发灵敏高效。在智能自主技术方面,无人侦察机可摆脱对地面实时遥控的依赖,自主完成航线规划、目标分类、威胁等级判定等任务,自主规避防空火力,实施编组侦察;在通信传输技术方面,无人侦察机搭载高速加密卫星数据链,即使远海飞行也能保证情报毫秒级回传,保障后方指挥机构实时掌握全域态势;在传感器技术方面,新型传感器与传统传感器融合应用,可以在不同环境下同时捕捉可见光、红外、电磁信号,提升侦察效能。

——装备平台更新,作战平台向全域化方向发展。无人侦察机平台呈现微型集成、长航迭代、隐身安防发展趋势,这有助于全方位提升侦察机在复杂战场的生存能力。一是微型多功能集成化加速显现。美军Tiguar M轻型无人机机装便携,野外仅需操作2分钟即可投入使用,能够连续20小时超长滞空,对近岸岛礁实施侦察监视。二是大型长航时侦察平台迭代升级。该类机型可跨境远程巡航,兼作空中指挥节点,统筹小型无人侦察机搭建多层侦察网络。三是低可探测隐身技术持续突破。例如,欧洲新一代隐身无人机在遭遇雷达锁定后,可自主释放干扰弹,提高安防生存能力。

——作战范围拓展,无人侦察力量深度融入联合作战体系。如今,无人侦察机已经深度嵌入联合作战链路。在联合作战链路中,无人侦察机作为战场数据采集终端,能实时将图像、电磁、坐标数据汇入联合作战指挥云平台,打破卫星、舰艇、地面雷达、空中战机信息壁垒,实现全域情报共享、火力协同。

面向未来战场,无人侦察机仍将沿着自主化、集群化、全域化方向持续突破。各国只有立足自身作战需求,统筹推进核心技术攻关、联合作战战法创新,充分释放无人侦察装备感知优势,打造覆盖全域、智能高效的空中侦察力量,才能牢牢掌握感知未来战场的主动权。

★

趣问·求知



潘岱唯绘

如何让“仿生鸟”现形

■廖旺 唐浩能

轮廓、颜色甚至飞行姿态上都高度模仿鸟类,人类凭借肉眼或光学设备难以区分。

从声学探测维度看,仿生无人机飞行时产生的噪声远低于传统旋翼无人机。以仿生无人机中的扑翼飞行器为例,其飞行时产生的音量仅为39分贝甚至更低,这样的“静音”特性使传统声学探测手段难以及时发现仿生无人机。

不过,面对设计得越来越逼真的“仿生鸟”,识别技术同样在不断进化。

一个可行性路径是为雷达装上“光学眼睛”——将雷达与远距离光电观测系统结合使用。

其中,雷达负责发现和跟踪目标,光电观测系统采用可见光与红外融合

传感器精准判定目标类别,有效排除鸟群、云团等虚假信号。目前,这种“雷达+光电”多模态融合的思路,已在实战化测试中展现出较好效果。

此外,激光多普勒识别技术凭借高分辨率,能够精确解析仿生无人机的运动参数,为识别各种空中目标提供了新维度。

公开资料显示,国内某科研团队结合光的偏振原理,从材质属性不同这个本质差异入手,根据真实飞鸟与仿生无人机的偏振特征差异,已能快速有效地识别这两类目标。

同时,声纹特征智能识别技术也成为重要突破口。真实鸟类的鸣叫与扑翼声具有天

然、随机的生物声学特征,而仿生无人机电机运转时则存在固定频率的机械噪声。工作人员通过部署高灵敏度声学传感器,采集空域声信号并构建仿生目标声纹库,结合AI实时比对分析,可快速从背景噪声中提取异常机械声纹,实现对隐蔽仿生无人机的早期预警与精准识别。

“仿生鸟”的挑战,本质上是对低空探测识别体系的全面考验——从雷达设计到光电捕捉,从声学特征提取到多源数据融合,每个环节都不能成为短板。随着仿生无人机技术不断发展,相应的识别技术也需要反复检验、迭代升级,只有这样,才能为未来战场的天空筑牢安全防线。