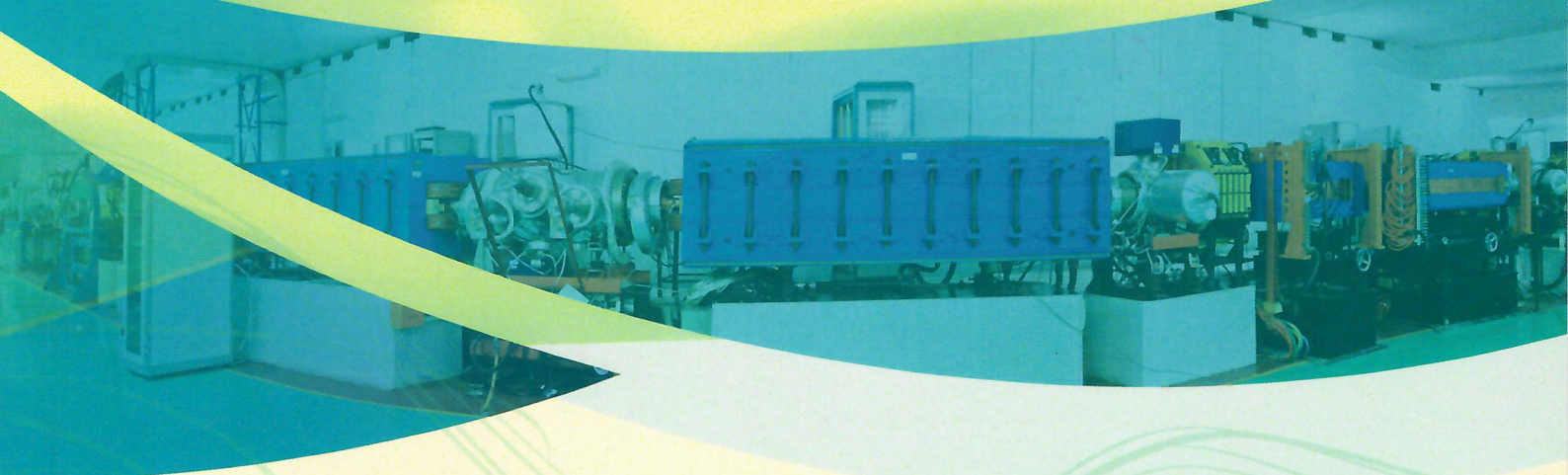
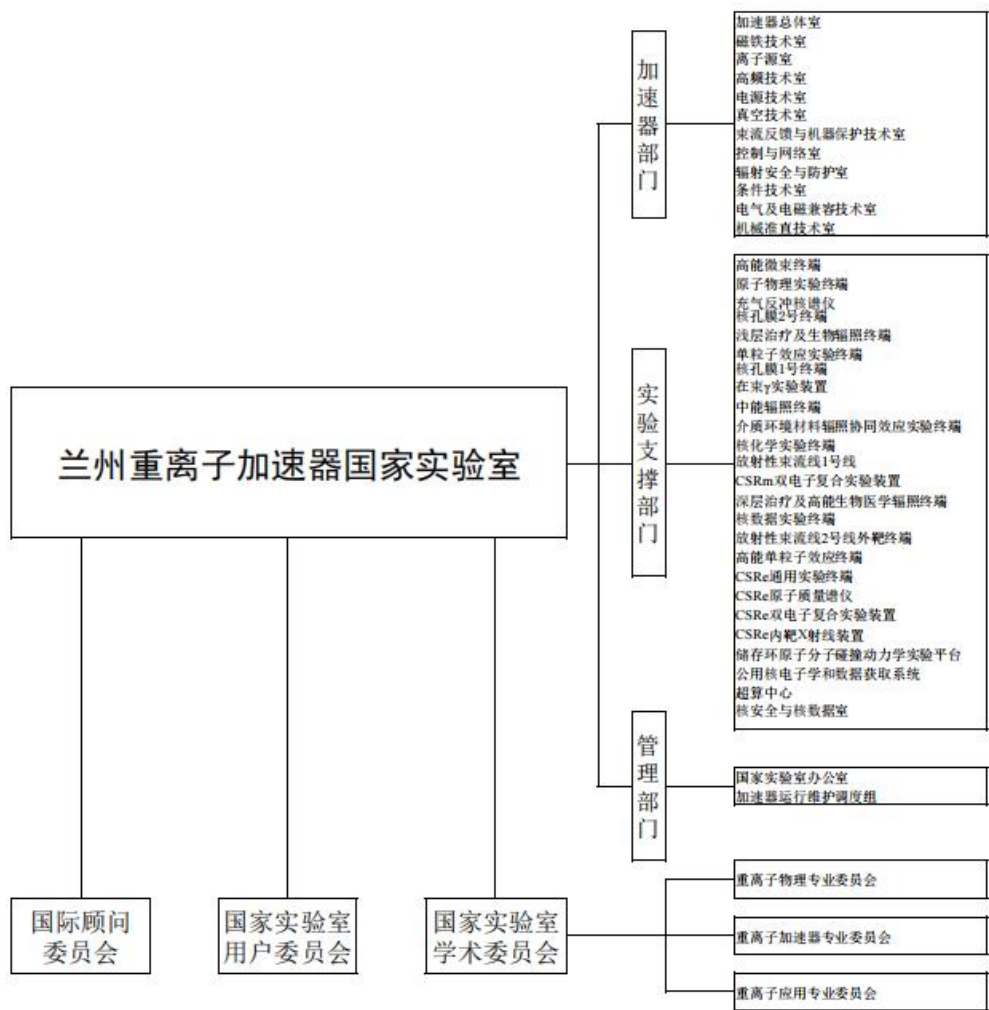


HIRFL 2023

兰州重离子研究装置年度报告
ANNUAL REPORT



2、设施组织框架



二、研究进展与成果

1、成果

（1）短寿命原子核质量精确测量

基于 HIRFL-CSR 利用国际首创的新一代质谱术，首次测量了 ⁶⁶Se(硒) 等一批关键原子核质量。研究表明：在 ⁶⁴Ge (锗) 处的中子星表面热核反应比预想更加缓慢，中子星致密性约束条件也发生了相应变化；首次发现，N=Z 原子核的质子~中子作用能 （ δV_{pn} ）存在二分叉现象，目前只有考虑了三体力的第一性原理计算可以定性重现这一现象。

相关结果发表在 Nature Physics 和 Physical Review Letters 上。

文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02034-2>

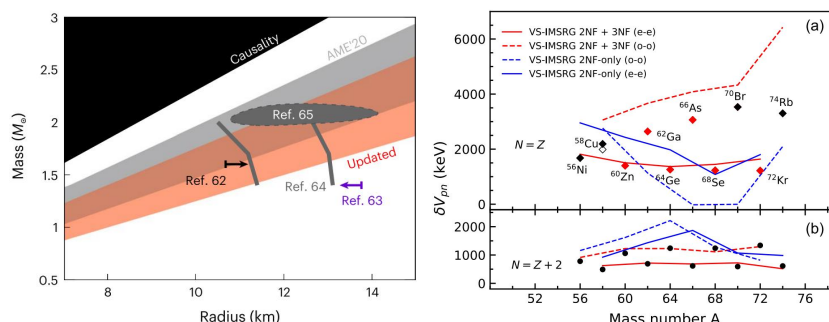


图 2 左图, 新测得质量使用前(灰)后(红)中子星致密性约束条件的对比; 右图, $N=Z$ (a) 与 $N=Z+2$ (b) 原子核质子~中子相互作用能实验数值与第一性原理计算结果的比较。

(2) 科研人员利用核径迹技术制备超高能量吸收密度力学超材料

基于 HIRFL, 利用离子径迹技术, 制备了梁直径仅为 34 纳米的新型金和铜准体心立方纳米梁晶格, 突破了纳米梁晶格力学超材料的尺寸极限, 实现了纳米梁晶格力学超材料国际最高的能量吸收密度 ($1.1 \times 10^8 \text{ J/m}^3$)。此外, 铜纳米梁晶格作为锂负极的“框架”结构应用于锂电池研究, 提升了锂电池循环寿命和稳定性。

相关研究成果以亮点文章“编辑推荐”(Editors' Highlights)的形式发表在 *Nature Communications*、*Advanced Energy Materials* 上。

文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36965-4>

<https://doi.org/10.1002/aenm.202300129>

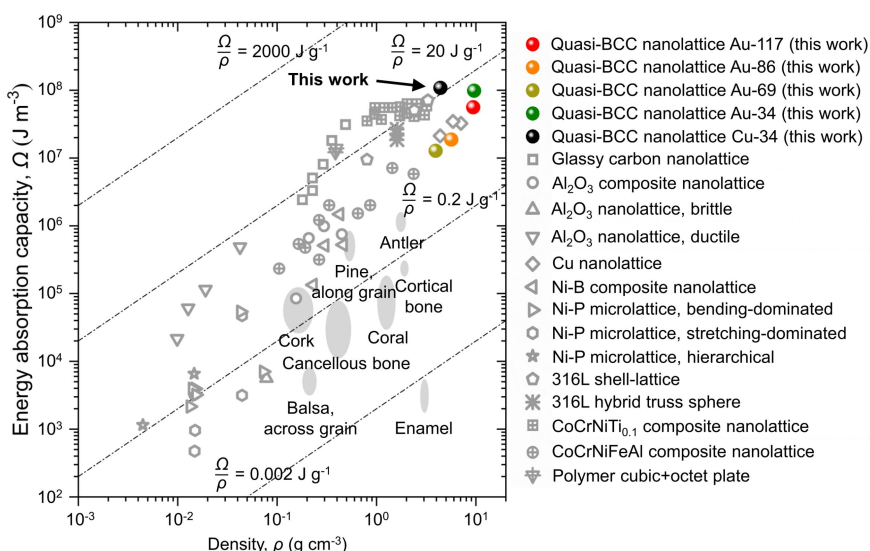


图 3 微/纳米梁晶格力学超材料单位体积能量吸收与密度的阿什比图

（3）重离子束诱变创制镉低积累水稻

“镉大米”问题事关广大人民身体健康，严重制约了湖南等南方稻区水稻产业高质量发展，已成为我国农业亟待解决的战略问题。

近代物理研究所与湖南杂交水稻研究中心合作，依托 HIRFL，发明“重离子诱变+MI-TDS”高通量靶向筛选育种技术，开辟了高效育种新途径。在短时间内率先培育出镉低积累高档优质常规稻“韶香 100”和国内外首个大面积应用的杂交稻低镉型“臻两优 8612”，2023 年累计推广 107 万亩，稻谷镉含量降至平均 0.026mg/kg（国家标准 0.2 mg/kg），亩产最高达 887.2 公斤。为破解“镉米”困境做出重要贡献。



图 4 株洲龙门镇洪塘村的验收现场

（4）强电子激发作用下晶体材料微观损伤的时空演变

山东大学等单位的科研人员利用 HIRFL 提供的 6.3 MeV/u 的 Fe（铁）等重离子辐照条件，系统探讨了晶体材料在离子辐照强电子激发作用下微观损伤的时空演变，阐明了单晶阳离子半径以及热力学等关键参数在径迹形成与再结晶行为中起到的决定作用，构建了辐照参数与径迹损伤的内在关联；进一步探索了辐照微区晶格缺陷诱导的能带调控与荧光增强效应；为极端辐照条件下非线性损伤响应、微纳制备与物性调控相关研究提供了基础依据。

相关研究成果发表在 *Advanced Functional Materials* 上。

文章链接: <https://doi.org/10.1002/adfm.202370045>

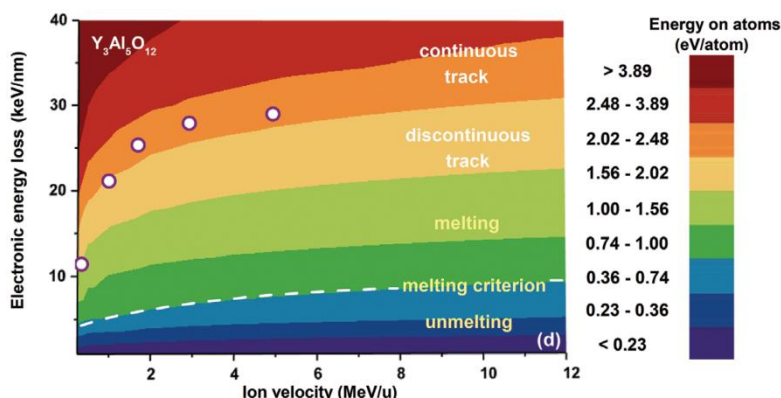


图 5 离子辐照参数与晶体径迹损伤结构的定量关系

2、论文及获奖情况

(1) “医用重离子加速器研发及产业化团队”入选第三届全国创新争先奖牌;

(2) “ $40 < A < 70$ 缺中子核区短寿命原子核质量的高精度测量”成果入选 2022 年度甘肃省自然科学奖一等奖;

(3) “加速器生产医用同位素的关键核心技术及其应用”入选中国核学会技术发明奖三等奖;

(4) 赵红卫获何梁何利科学与技术进步奖;

(5) 赵红卫获甘肃省科技功臣奖;

(6) 邱丰获国际低电平大会首届 IQ Award 奖。

数据统计

SCI/EI 收录 论文数	用户 论文数	获省部级以 上奖数	发明专利 授权	实用新型 专利授权	软件 著作权
291	291	3	109	23	4

三、运行情况与用户实验

1. 运行情况

针对重离子核物理基础前沿及离子束应用研究, 依托 HIRFL, 研究所聚焦 8 个主要方向, 承担了重点实验室、先导专项等 40 余项重大任务, 并主动策划了重离子束驱动的高磁场下高能量密度物质性质、同位素变革性

生产技术和新一代核裂变能技术等研究任务。为了支撑这些重大任务，HIRFL 全年无休，开机 7728 小时，并进一步提升束流品质和运行效率。2023 年，Linac+SSC+CSRm 首次成功加速 500MeV/u 铀，建成了高通量核孔膜终端，升级 HIRFL 水风气系统，实现 CSR 电源水系统独立。

HIRFL2023 年度运行时间表

设施名称	计划（小时）						实际（小时）					
	总机时	其中					总机时	其中				
		换束时间	实验机时	机器研究	故障机时	其它机时		换束时间	实验机时	机器研究	故障机时	其它时间
HIRFL	7000	1394	4696	610	300	0	7728	1662.5	5524	351	159.5	31

2、用户实验

2023 年 HIRFL 为用户实验供束 5524 小时，完成实验 200 多项。其中，核物理与原子物理方向的实验时间 3120.5 小时，材料科学方向的实验时间 1306.9 小时，空间科学方向的实验时间 621.1 小时，生命科学方向的实验时间 475.5 小时。

2023 年部分用户实验小结

A~140 丰质子核集体性质研究	
实验终端	TL2
实验简介	使用 ^{40}Ca 束流轰击 ^{106}Cd 靶，通过熔合蒸发反应产生质量数 ~140 的丰质子核，利用 CsI 阵列探测蒸发放出的带电粒子，利用高纯锗探测器与溴化镧探测器组成的伽马探测阵列测量蒸发余核退激放出的伽马射线。实验中使用了两套数字化仪分别记录带电粒子和伽马射线的数据。实验供束总时间为 109 小时，用了两块靶，其中一块为自制撑靶，另一块加装一块金衬。
遇到的问题	1. 实验开始后较长时间内束流品质不好。 2. 实验后发现实验中 CsI 阵列最后一环背面受到束流照射，有显著损坏；CsI 阵列的一根电线阻挡了部分束流，造成额外的本底。
解决方案	1. 重新调束，显著提高了束流品质。 2. 实验后利用带电粒子信息区分产物放出的瞬时伽马射线

	与在荧光靶和 CsI 阵列上产生的污染产物长寿命衰变放出的伽马射线。
新发现/新思路	对于远离稳定线的丰质子核的探测能力很大程度上取决于 CsI 阵列对带电粒子的探测和甄别能力，这方面需要进一步提升。
Hf($^{18}\text{O}, ^{16}\text{O}$) 反应截面测量	
实验终端	TL2
实验简介	在近物所在束 γ 终端利用回旋加速器产生的 126MeV 的 ^{18}O ，经准直将束斑限制在 $\Phi 3\text{mm}$ 左右后，轰击 Hf 金属自撑靶，进行 Hf($^{18}\text{O}, ^{16}\text{O}$)双中子转移反应试测量。测试结果显示，该终端经准直后的束斑稳定，对探测器的干扰较小，可以用于此类反应的角分布测量。
遇到的问题	加速器地线与终端地线连在一起，加速器供束时带来了较大的噪声，致使终端信号基线振荡，使得硅探测器粒子鉴别谱变差。
解决方案	终端地线与加速器地线隔离，使得终端有自己的“干净地”，解决加速器供束对终端信号造成的干扰。
新发现/新思路	测试结果显示该终端可以用于反应角分布测量，在该终端可以开展一些重要核反应的角分布测量。
高能 C^{6+} 离子与 He 原子碰撞电离过程动力学实验研究	
实验终端	TR1
实验简介	本实验计划利用反应显微成像谱仪实验装置对高能 C^{6+} 离子与 He 原子碰撞电离过程全微分截面进行高精度测量。实验中，HIRFL 的离子源产生强流 C^{6+} 束流，经 SFC 及 SSC 加速，进入 TR1 终端，束流能量为 55MeV，终端流强约为 200nA。本实验中，我们首先成功地对用于符合测量的 SSC 高频正弦波信号进行了测试，为在 TR1 开展电离实验奠定了基础。但是，在随后打靶过程中，高能离子带来的电离辐射导致分子泵控制器损坏，无法继续实验，实验提前结束。
遇到的问题	1. 电离辐射太强，导致分子泵控制器损坏 2. 远程监控不正常工作
解决方案	将分子泵控制器通过长线移至辐射区域外；布置专用远程监控

新发现/新思路	SSC 高频正弦波信号能够与碰撞反应产物进行符合测量，为在 TR1 开展电离实验奠定了基础。
新核素合成实验	
实验终端	TR2
实验简介	利用兰州重离子加速器，使用 ^{58}Ni 束流轰击 ^{106}Cd 靶，通过充气反冲谱仪对反应产物进行分离，并将目标核传输到焦平面，通过焦平面探测器测量其 α 、 γ 及质子等衰变，成功观测到极端远离 β 稳定线新核素的信息
遇到的问题	N=82 附近缺中子核素 β (EC) 衰变占优势，难以确定其偏转磁刚度
解决方案	使用质子- α 关联方法排出干扰，确定相应磁刚度
新发现/新思路	
基于核孔膜的超材料和精密分离膜研究	
实验终端	TR5
实验简介	通过 TR5（单粒子效应终端）的小样品传送装置，通过磁扫描法辐照面积最大为 $50 \times 50 \text{ mm}^2$ 的精密核孔膜科研样品。使用离子为 19.5 MeV/u Xe 束，典型流强为 30 nA 左右。实验过程中进行了 $10^6 - 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ 的核孔膜辐照，并结合我所研究特色，进行了变角度交叉辐照。
遇到的问题	1.高频故障 2.终端冷却水管接头老化松动，导致分子泵冷却水漏水
解决方案	加速器部门及时进行了故障排除；终端方面，和真空室的同志一起更换了相关老化部件，保障了实验顺利进行。
新发现/新思路	在科研方面，本次辐照有力保障了诸如超材料、基于离子径迹的核孔膜精密分离等研究的需求；在技术和管理方面，本次实验由常驻惠州和兰州两地研究人员共同配合参与，完成了本次较大规模（共 31 人参与辐照实验）的材料辐照实验。
单粒子效应试验	
实验终端	TR5
实验简介	2023 年利用兰州重离子加速器，重点开展了商用 COTS 器件单粒子效应地面模拟实验，完成华为通信单机中数字、电源等 6 大类芯片，250 颗 COTS 器件实验筛选，为通信

	载荷的器件选型和加固方案设计奠定了基础。
遇到的问题	
解决方案	
新发现/新思路	
基于 Kr 束的核孔膜辐照生产	
实验终端	TR6
实验简介	基于 TR6（核孔膜 1 号终端），开展面向产业化需求的核孔膜辐照生产。使用离子为 25 MeV/u 的 Kr，典型束流强度在 50 -100 nA 左右；通过磁扫描，辐照最大幅宽为 400 mm 的原料 PET 膜卷。终端最大同时辐照 6 卷原料薄，采用卷膜的形式提高辐照生产效率。共辐照生产 55 万平方米左右的离子径迹薄膜。
遇到的问题	束流流强波动
解决方案	采用电离室实时对流强进行测量，并调整卷膜的速度，实现对束流流强波动的补偿
新发现/新思路	由于束流的能量足以穿透 6 层原料薄膜和一定的空气层，本次实验在辐照薄膜后配置了电离室以检测束流流强的实时变化，同时与卷膜速度联动，通过对速度进行调整保障注量的准确性和均匀性。在实际生产中取得了较好的成效。
质子滴线核 $^{17}\text{F}+^{58}\text{Ni}$ 在近垒及垒下能区反应机制研究	
实验终端	RIBLL1
实验简介	通过主束 ^{16}O 与氙气体靶反应产生次级束 ^{17}F ，通过 RIBLL1 偏转、聚焦、纯化，后轰击 ^{58}Ni 靶，通过大立体角阵列，对准弹性散射、熔合蒸发产物以及破裂产物进行测量。 实验束流能量为实验室系靶前 63MeV；纯度在 1%~23%浮动；主束 ^{16}O 过 T0 穿透 FC 后流强在 1.5euA 左右(不稳定)，次级束 ^{17}F 在状态好时每秒计数约为 26000pps。
遇到的问题	1.主束稳定性不好，气体靶膜在实验中多次损坏 2.主束偏离从而导致次级束 ^{17}F 调束困难
解决方案	换膜，持续调束
新发现/新思路	无

RIBLL2-F4 实验装置 ^{78}Kr 碎片粒子鉴别及其电荷改变截面测量

实验终端	RIBLL2
实验简介	本次实验是 RIBLL2-F4 实验装置建成后第二轮正式实验，继上一轮成功测量 ^{40}Ar 反应碎片后，将目标扩展到更重的核区（ ^{78}Kr 以下），利用改进的 TOF 飞行时间探测器以及色散面位置探测器，成功鉴别出 ^{78}Kr 碎片产物。完成了中科院重大科技基础设施开放研究项目——“HIRFL-CSR 上的中高能放射性束物理研究”的验收所需的测试任务，在此基础上本次实验还完成了 ^{78}Kr 碎片的电荷改变截面测量，相关数据正在处理中。
遇到的问题	1. 慢引出效果不理想 2. F4 终端位置处束斑偏大
解决方案	需要更换慢引出的相关部件
新发现/新思路	为了优化束流品质，采用基于离子光学的调束方法极为必要。

RIBLL2 外靶装置探测器联合在束调试，及丰中子核碎裂产物截面测量

实验终端	RIBLL2
实验简介	本实验利用外靶装置探测器对中等质量区次级束产物的粒子鉴别能力进行了测试，并尝试开展次级束打靶的碎裂截面测量。首先使用 300AMeV 的 ^{78}Kr 主束调试并刻度了外靶装置的漂移室，塑闪探测器和电离室。然后使用 350AMeV 的 ^{78}Kr 打 10mm 厚的 Be 靶产生次级束，通过 RIBLL2 分离和传输到外靶。在空靶，C 靶和 CH ₂ 靶条件下开展了次级束碎裂产物测量。
遇到的问题	1. CSR 外靶终端区域精密探测器较多，易受到噪声影响，测试发现外靶区域噪声非常大，严重影响了探测器的正常工作。 2. 外靶相关实验在调试阶段需要经常挡住束流，进入终端对探测器系统进行优化。从挡束到终端大门开启，以及关闭大门到重新放束所需时间过长。
解决方案	通过加速器总体部门协调，将 RIBLL2 后半段（通往 CSRe）的电源系统封闸，采取此措施后外靶区域的噪声大幅下降，从而使外靶实验可以顺利开展。

新发现/新思路	希望在保证辐射防护安全的前提下，在挡束流开启终端门方面优化措施，减少所需时间。
Fe²⁶⁺离子与原子分子碰撞电离及解离实验	
实验终端	ReMiLa-CSRe
实验简介	由 SFC 引出 4.35 MeV/u 的 Fe ¹⁵⁺ 离子注入主环，在主环累积、冷却、加速（25 MeV/u，120 MeV/u）后引出，通过安装于 RIBLL2 T0 靶处 30 μm 厚碳膜（0.2 mm 厚铝膜）剥离剩余核外电子，选择全裸 Fe ²⁶⁺ 离子注入实验环，参与碰撞反应。碰撞产生的电子与离子，由一对探测器进行符合测量，筛选出真实的碰撞事件进行记录。束流注入 CSRe 后，前 40 s 用于束流冷却，之后开始记录数据，注入 40 min 后，清空 CSRe 中剩余离子，开始新一轮的注入、冷却、记录。
遇到的问题	1. CSRe 碰撞实验所需的束流强度比较低，通过束诊设备难以定位束流位置，确定束流状态。 2. 反应谱仪的数据获取系统及计算机都位于电源平台，在中控室调束过程中难以实时监测数据获取情况。
解决方案	1. 安装于 CSRe 反应谱仪的探测系统，能够实时给出碰撞产物的计数以及位置图像信息，计数可用于判断束流相对强度，位置图像能够给出束流径迹，用于判断束流打靶、冷却情况。 2. 将用于数据获取的计算机接入加速器的内网，在中控室远程访问该计算机，同时添加多个 wifi 摄像头，对实验中重要设备进行监测。
新发现/新思路	安装于加速器的实验终端与各个束诊设备之间可以相互协调，精准给出束流状态信息，有利于快速调出最契合实验所需的束流。

四、科技队伍与人才培养

依托 HIRFL，现有以青年研究人员为主的科技人员 516 人。高级职称 302 人，其中青年人员占 63.2%。2023 年获评杰青 1 人、优青 1 人、万人青拔 1 人，引进海外优青 2 名。

研究所设置了“青年研究员”岗位，制定了《中国科学院近代物理研究所“青年研究员”聘任办法（试行）》，以加强研究所人才队伍建设，吸引具有创新思维和发展潜力的青年人才，储备高层次人才。

在研究生培养方面，研究所与高校开展联合培养本科生计划，设立菁英班和英才班，“走出去”吸引优秀生源；另一方面，通过举办春季学校、夏令营，接待本科生开展大研计划、参观实践，将优秀生源“请进来”。同时，研究所还不断加强与相关高校合作，扩大联合培养研究生规模。

设施 人员 总数	按岗位分			按职称分			学生			在站 博士 后
	运行维护 人员	实验研 究人员	其他	高级职 称人数	中级职 称人数	其他	毕业 博士	毕业 硕士	在读 研究生	
516	275	219	22	296	105	115	60	40	543	30

五、合作与交流

国际合作

疫情的结束为设施开展对外交流合作提供了新机遇。2023 年，研究所出国（境）交流共 412 人次；接待来访和合作外籍专家 320 人次，其中来所参加国际会议 150 余人次。获批各类国际合作项目 41 项，其中新增“PIFI 团队项目”1 项；“创新型人才国际合作培养项目”“俄乌白国际合作培养项目”各 2 项。在兰州及惠州共举办国际会议 10 次；接待国内外团组来访 6 次。

7 月 8 日至 7 月 16 日，在惠州主办原子核中的手征与摇摆国际会议。



图 6 原子核中的手征与摇摆国际会议会议合影

11 月 12 日至 17 日，在惠州举办“第七届超铀元素化学和物理国际会议”。



图 7 第七届超铀元素化学和物理国际会议合影

12 月 17 日至 18 日，近代物理研究所与大阪大学理学院、核物理研究中心合作研讨会在惠州成功举办。

学术交流

3 月 31 日至 4 月 4 日，第十四届全国固体核径迹学术会议在中国科学院近代物理研究所惠州研究部成功举办。

7 月 7 日至 21 日，“面向兰州重离子加速器的核物理理论讲习班”在近代物理所顺利召开。



图 8 暑期讲习班合影

7 月 22 日至 25 日，RIBLL 合作组第 17 次会议在甘肃省永靖县召开。

RIBLL 合作组第17次会议与会代表合影

甘肃·永靖
2023.07.23
中国科学院近代物理研究所



图 9 RIBLL 合作组与会代表合影

科普宣传

4 月 15 日，近代物理所联合中国抗癌协会肿瘤粒子治疗专委会开展了“第 29 届全国肿瘤防治宣传周——CACA 指南 我知你知”为主题的科普教育活动。

5 月 13 日至 14 日，近代物理所联合甘肃省物理学会、甘肃省核学会“预见未来·核宇宙科学市集”为活动主题开启第十九届公众科学日。



图 9 第十九届公众科学日活动现场

5 月 22 日至 25 日，近代物理所开展了猫小野科普星球之星球校园系列活动，分别走进静宁路小学、张掖路小学以及中国科学院兰州分院小学开展科普活动。

11 月 3 日至 4 日，近代物理所联合甘肃省物理学会、甘肃省核学会举办了以“好奇探索未知 科学连接未来”为主题的 2023 年中国科学院科学节活动。

六、大事记

1 月 30 日，生态环境部副部长、党组成员兼国家核安全局局长董保同一行调研近代物理所。

2 月 24 日，国家重大科研仪器设备研制项目“低温高密核物质测量谱仪的研制”通过国家自然科学基金委员会中期检查。

5 月 6 日，兰州重离子加速器国家实验室召开 2023-2024 年度束流评审会。

6 月 5 日，HIRFL 首次加速 17MeV/u 的 $^{94}\text{Zr}^{19+}$ 束流，为同核异能态阻停中激发退激的实验研究提供了优越条件。

6 月 26 日上午，中国科学院副院长、党组成员张亚平一行到近代物理所调研。

7 月 10 日，甘肃省委副书记、省长任振鹤在近代物理所进行专题调研并主持召开座谈会，详细听取了重离子治疗装置小型化研发、靶向同位素药物研发、无氧铜材检测评价结果等工作汇报。

10 月 19 日，科技部、财政部发布 2023 年中央级高校和科研院所等单位重大科研基础设施和大型科研仪器开放共享评价考核结果的通知，近代物理研究所获评良好。

11 月 9 日至 10 日，HIRFL 在中国科学院国家重大科技基础设施运行年会上荣获年度优秀设施。

11 月 13 日，直线注入器 SSC-Linac 新增加速腔 DTL3 和 DTL4 成功加速束流， $^{238}\text{U}^{46+}$ 束流出口能量达到 1.48MeV/u，流强 20uA，与 SSC 联合调试，加速 $^{238}\text{U}^{46+}$ 束流至 15.5MeV/u，最高流强 8.7uA。

12 月 31 日，HIRFL 成功加速 500MeV/u 的 $^{238}\text{U}^{74+}$ 离子束，流强达到 10^8 ppp，是 HIRFL 迄今加速的最高能量、最重离子束流，也是亚洲最高能量和最重离子束流记录。

I、Overview

The Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL), operated by the Institute of Modern Physics, Chinese Academy Sciences (IMP), is the largest heavy ion research facility in China. In August 1991, the former State Planning Committee of China approved to set up the National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou based on this facility and opened to the domestic and international users.

As a multi-purpose research facility, the main device of HIRFL is its accelerator complex, which consist of the Electron Cyclotron Resonances (ECR) ion sources, the Sector Focused Cyclotron (SFC), the Sector-Separated Cyclotron (SSC), the Cooler Storage Ring (CSR), the radioactive ion beam separators (RIBLL1/2). With this complex, HIRFL can deliver all kinds of ion beams, from hydrogen to uranium, either stable or unstable, with energies from few MeV/u up to several hundreds MeV/u.

HIRFL can support experimental research works on nuclear physics, nuclear astrophysics, atomic physics and many interdiscipline or applications with heavy ion beams, and as a very important tool for the whole Chinese nuclear physics society, a lot of important achievements were obtained in the past. Such as the synthesis of more than 30 new nuclides for the first time in the world, includes 2 super-heavy isotopes, the precise mass values of 35 short-lived isotopes measured firstly with the isochronous mass spectrometry method, the independently developed heavy ion cancer therapy equipment, the new species and strains of some crops fostered by heavy ion irradiation induced mutation, and so on.

II、Research progress and results

Precision mass measurement of short-lived nuclides

Based on the Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL), the mass measurement research group at the Institute of Modern Physics firstly measured the nuclear masses of ^{66}Se and some other important nuclides, using the newly developed mass spectrometry. The nuclear astrophysics simulation with the new

masses is consistent with the nuclear reactions on the surface of a neutron star stalling near ^{64}Ge . The results suggest a less-compact neutron star in GS 1826–24. The new masses allow us to observe the bifurcation of residual proton-neutron interactions (δV_{pn}) in the $N = Z$ nuclei for the first time. Currently, only ab initio calculations with a chiral three-nucleon force (3NF) included could qualitatively reproduce the bifurcation in δV_{pn} .

This work has been published in *Nature Physics* and *Physical Review Letters* respectively.

URL: <https://doi.org/10.1038/s41567-023-02034-2>

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.192501>

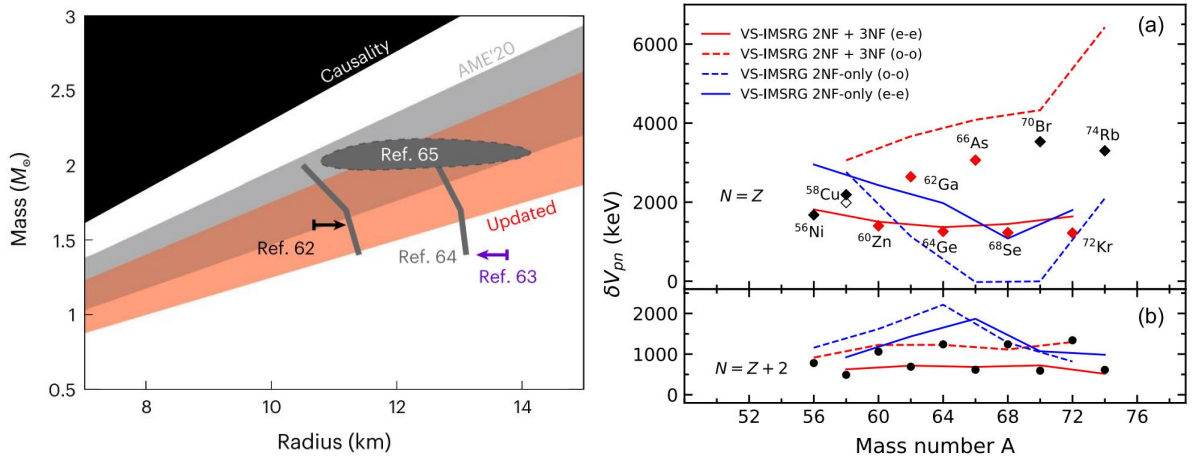


Fig 1. Left: Neutron-star mass (M_{NS}) versus radius (R_{NS}) constraints calculated with (red) and without (grey) the new masses. Right: Experimental δV_{pn} for (a) $N = Z$ and (b) $N = Z + 2$ nuclei and comparison with the ab initio calculations.

Researchers fabricated mechanical metamaterials with ultra-high energy absorption capacity based on ion track technology

Based on the Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL), the researchers fabricated a new type of mechanical metamaterial, i.e. quasi-body centered cubic (quasi-BCC) beam nanolattice, with the ion track technology. The smallest diameter is only 34 nm which is smaller than that of existing nanolattice mechanical metamaterials. Resulting from the synergetic effects of size effect, unique structural architecture, and intrinsic properties of metals, the highest energy absorption capacity achieved by such a type metamaterial made

of copper reaches up to $1.1 \times 10^8 \text{ J/m}^3$, a new record for lattice metamaterials. Thanks to the mechanical robustness and the high-porosity with low tortuosity, the copper nanolattice is used as a “host” of lithium anode of lithium-ion battery. Such a battery shows good stability and cycle life.

The results were published in *Nature Communications* as Editors’ Highlights and in *Advanced Energy Materials*.

Article links: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36965-4>

<https://doi.org/10.1002/aenm.202300129>

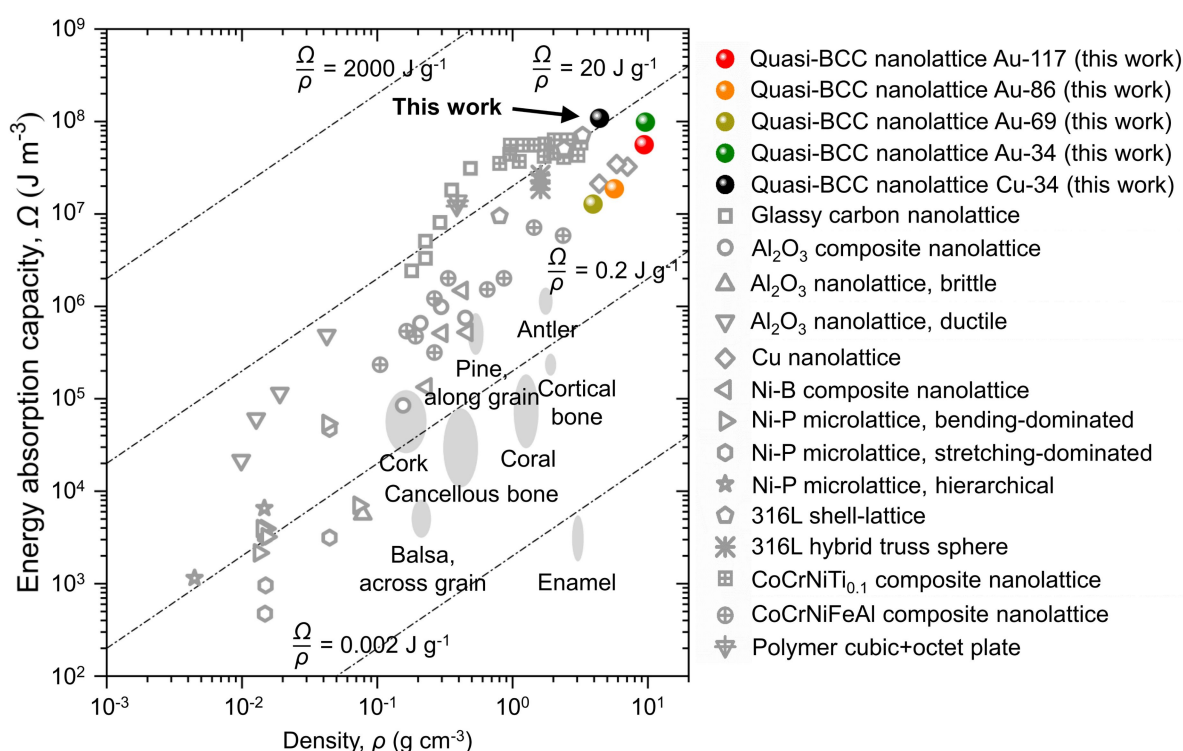


Figure2. The Ashby map of energy absorption capacity versus density.

Breeding for Rice Cultivars with Low Cadmium Accumulation by Carbon-ion Beams Irradiation

The problem of cadmium rice is a great threat to the health of people, which have seriously restricted the high-quality development of rice industry in Hunan and other southern rice areas, and it has become a strategic issue to be urgently solved in China’s agriculture.

Through the cooperation between the Institute of Modern Physics and the Hunan Hybrid Rice Research Center, based on HIRFL, a novel high-throughput targeted screening breeding technology combining “heavy ion mutagen + M1TDS” was developed, which has carved a new path to efficient breeding. In a short period of time, the researcher have cultivated the high-quality conventional rice with low cadmium accumulation named "Shao Xiang 100" and the low cadmium absorption hybrid rice "Zhenliangyou 8612", while the latter was the first of that kind that has been planted in large-scale at domestic and overseas. In 2023, this variety has been cumulatively promoted to 1.07 million mu. The average cadmium content of rice has been reduced to 0.026 mg/kg (far below the national standard of 0.2 mg/kg), while the maximum yield per mu has reached 887.2 kg. This accomplishment significantly contributes to addressing the predicament surrounding "cadmium rice".



Figure3. The low cadmium absorption hybrid rice "Zhenliangyou 8612"

Structural Damage and Recrystallization Response of Garnet Crystals to Intense Electronic Excitation

This work demonstrates the track damage formation and recrystallization effects in garnet crystals under the intense electronic excitation, attributed to the key role of thermal parameters and cation radius ratio. The irradiation-induced nanostructures in garnet crystals enable the significant bandgap regulation and

defect-related luminescence enhancement. These results lay a foundation for the exploration of radiation susceptibility, eventually achieving optimization of the capabilities of single crystals for valuable applications.

The results were published in *Advanced Functional Materials*.

Article links: <https://doi.org/10.1002/adfm.202370045>

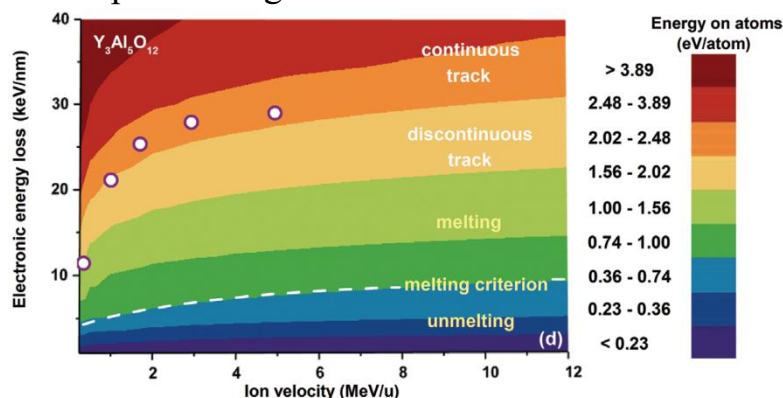


Figure4. Quantitative relationship between radiation and the structure damage of garnet crystals

III、Operation

For the research on the fundamental frontiers of heavy ion nuclear physics and ion beam applications, focused on eight major directions, HIRFL undertakes more than 40 major tasks such as key laboratories and pilot special projects. Meanwhile, it has proactively planned research tasks, for example, “the properties of high-energy-density materials in strong magnetic fields”, “Extreme optical and mechanical material development based on HIRFL and application”, etc..

In order to support these major tasks, HIRFL has operated for 7,728 hours throughout the year, and further improved beam quality and operation efficiency. With the operation mode of Linac+SSC+CSRm, uranium ions have been successfully accelerated to 500 MeV/u for the first time. A high-throughput nuclear pore membrane terminal has been built. The HIRFL water, wind and gas system has been upgraded to realize the independence of the CSR power system and water system.

IV、Scientific & technical personnel and talent training

To ensure HIRFL operating, there are currently 516 scientific and technological personnel, mainly young researchers. Among them, 302 hold senior professional titles, of which 63.2% are young people. A researcher gained the National Science Fund for Distinguished Young Scholars, and a researcher the Excellent Young Scientists Fund. Two talented researchers were introduced to IMP through the Excellent Young Scientists Overseas Fund.

Focused on the scientific research and development work at HIRFL, the Institute of Modern Physics of the Chinese Academy of Sciences take measures to encourage young scientific and technological talents to “pick the beam” and “play the leading role” in major national scientific and technological tasks, for example, serving as the project leader, or play the crucial roles in core technology breakthroughs, and the proportion of young scientific and technological talents under 40 years serving as project leaders or backbones should not be less than 50% in principle.

The Institute has also set up the post of "Young Researcher" and formulated the "Employment Method of Young Researcher " to strengthen its talent team construction, attract young talents with innovative thinking and development potential, and reserve high-level talents.

V、Cooperation and exchange

After the epidemic, the Institute actively encouraged international cooperation and exchanges, and the enthusiasm of scientific researchers was high. In 2023, a total of 412 researchers exchange for conferences, training and collaboration abroad; 320 foreign scholars visited IMP, including more than 150 scholars coming for international conferences held in Lanzhou or Huizhou. 41 international cooperation projects were approved, including 1 new “PIFI team project”, 2 new "International cooperation training projects for Innovative Talents" and 2 new "Russian-Uzbekistan-Belarus International cooperation training projects". A total of 10 international conferences were held in Lanzhou or Huizhou; hosted 6 delegations.

VI、Chronicle of events

- May. 6th The review of the 2023 HIRFL beam time application was held at the Huizhou Research Department of IMP.
- May. 13th-14th The 19th Public Science Day was organized by HIRFL.
- Jun. 5th HIRFL accelerated $^{94}\text{Zr}^{19+}$ beam at 17MeV/u for the first time, this provided an excellent condition for the experiment of isomer depletion in the stopping process of charged ion.
- Jul. 8th-16th International Conference on Chirality and Wobbling in Atomic Nuclei was held at Huizhou.
- Jul. 7th-21st The Nuclear Physics Theory Workshop for HIRFL was held at Lanzhou.
- Oct.15th-18th The International Conference Symposium on Ion Sources and Plasmas was held at Lanzhou.
- Nov. 2nd-7th Workshop of Neutron Capture Reaction Experiment Based on OSLO Method was held at Huizhou.
- Nov. 12th-17th The 7th International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements was held at Huizhou Research Department of IMP.
- Nov. 13th SSC-Linac after added DTL3 and DTL4 successfully accelerated the beam $^{238}\text{U}^{46+}$ for the first time. In conjunction with SSC, the $^{238}\text{U}^{46+}$ beam was accelerated to 15.5MeV/u with a maximum beam intensity of 8.7uA.
- Dec. 17th-18th The collaborative seminar of IMP and Osaka University was held at Huizhou Research Department of IMP.
- Dec. 31st HIRFL successfully accelerated 500MeV/u $^{238}\text{U}^{74+}$ ion beam to a current intensity of 10^8 ppp, which is the highest energy and heaviest ion beam accelerated by HIRFL, and also the highest energy and heaviest ion beam record in Asia.

编 委：孙志宇

责任编辑：戎欣娟 毛双惠

单位地址：甘肃省兰州市城关区南昌路509号

邮编：730000

电话：0931-4969130

网址：www.impcas.ac.cn

联系人：戎欣娟