

HIRFL 上的中、低能重离子物理基础和应用研究

罗亦孝

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 本文简介 HIRFL 上中、低能重离子物理基础和应用研究的主要进展;着重介绍三个方面的研究:中能 HIC 和热核性质的研究,远离稳定线核的合成和研究,重离子束应用,并概述近期实验研究规划的初步建议。

关键词 重离子碰撞(HIC), 热核, 远离稳定线核。

1 前言

HIRFL 的建成为我国中、低能重离子物理基础和应用研究提供了前所未有的条件。在 HIRFL 上已经和正在开展的实验研究涉及三个领域:

1. 中、低能重离子碰撞和热核性质研究;
2. 远离稳定线新核素合成和研究;
3. 重离子束应用——快重离子在固体材料和生物组织中的辐照效应及其应用研究。

自 1988 年末 HIRFL 引出 $50\text{MeV/u }^{12}\text{C}$ 束以来,除各实验终端在束调试外,在 HIRFL 上开展的上述三个领域的实验研究共使用束流时间 4500 小时,占用束流时间比分别为:44%、26%和 30%。

HIRFL 的在研项目得到了国家自然科学基金委、国家科委和中国科学院的经费支持,包括 1 个中科院八·五重大项目、2 个国家自然科学基金重点项目(3 个子课题)、1 个中科院重点项目、18 个国家自然科学基金面上项目、4 个中科院青年基金择优项目和 1 个 863 项目子项。

在 HIRFL 上完成的实验研究(包括有关理论研究)已发表论文 195 篇;其中,HIRFL 上完成的重离子反应机制的研究是中科院七·五重大项目“重离子反应机制研究”的重要组成部分,该项目获 1992 年中科院自然科学一等奖;在 HIRFL 上首次合成和鉴别的重质量丰中子新核素 ^{208}Hg 是被评为 92 年全国十大科技成果的、我国在世界上首次合成的

三个新核素之一,因其重要的物理意义和技术难度,得到国内外同行普遍关注和好评。

2 HIRFL 上已完成的中、低能重离子物理基础和应用研究

2.1 中能重离子碰撞和热核性质研究

中能重离子碰撞可产生处于高激发态的热核,这是地球自然界中仅有的非平衡态下的强相互作用量子体系。研究热核的形成和衰变,探索高温高密度极限条件下的核物质性质具有重要意义。1989 年,美国核科学顾问委员会受能源部和国家科学基金会委托撰写的美国核科学发展长期规划“核、核子和夸克——90 年代核科学”,对此作了详细阐述。此外,中能区($10\sim 100\text{MeV/u}$)是平均场效应起主导作用的低能区向核子-核子碰撞起主导作用的高能区过渡的能区,研究在该能区各种反应机制的竞争亦引人注目。

2.1.1 放射化学靶余核测量对中能重离子碰撞和热核性质的研究^[1~5]

重靶余核的实验研究可提供关于中能重离子研究和热核性质的重要信息。然而,由于探测器截止阈的限制,反冲能很低的重靶余核的探测具有技术上的困难。放射化学和 γ 能谱-厚靶厚收集箔技术可以在确切鉴别反应产物 A, Z 值的情况下探测反冲能很低的重靶余核。李文新等在 $20\sim 46\text{MeV/u }^{12}\text{C}+\text{Cu}, ^{93}\text{No}, ^{115}\text{In}, ^{181}\text{Ta}, ^{197}\text{Au}$ 反应中,采用放射化学方法,对重靶余核质量分布和有关的反应机制、线性动量转移、复合系统承受的最大激发能及核温度进

行了系统研究.

2.1.1.1 靶余核质量分布和有关的反应机制研究^[1-4]

测定了数十个靶余核生成截面,在假设高斯电荷分布基础上得到了靶余核质量分布;对靶余核质量分布进行了理论拟合,成功地检验了描述热核衰变的统计碎裂模型^[4-5].实验表明,靶余核质量分布曲线形状不随靶质量改变,但随入射能增加,质量分布加宽,中等质量碎片产额增加;对于可裂变靶核,统计碎裂模型需作修正.

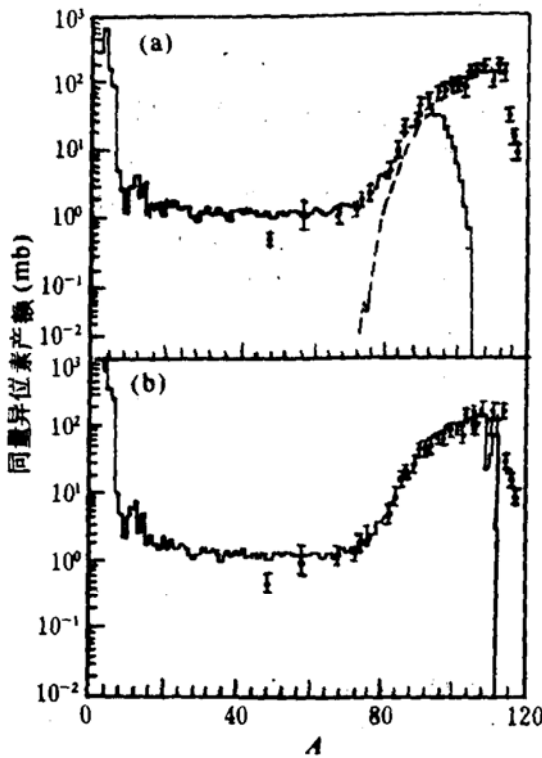


图 1 42MeV/u ¹²C + ¹¹⁵In 反应中靶余核质量分布和理论比较

图 1 表示 42MeV/u ¹²C + ¹¹⁵In 反应靶余核质量分布^[4].可以看出,经典的统计蒸发计算((a)中虚线)完全不能拟合实验数据;全熔复合核两体衰变模型只在轻质量区符合实验结果((a)中实线);而十分引人注目的是,统计两体衰变模型能很好地拟合整个靶余核质

量分布(图 1(b)).统计两体衰变模型假定靶余核产生于几个类复合核系统的衰变,而这类复合核系统是¹²C同靶核的全熔合和¹⁰B, ⁸Be, ⁶Li, ⁴He, ²H同靶的非完全熔合形成的(各占一定比例).该理论拟合说明,对于上述反应的靶余核来说,全熔合和非完全熔合中形成的复合系统经历了平衡的两体衰变从而生成靶余核.在该能区全熔合过程仍占有不可忽略的贡献(14%),这是十分令人感兴趣的.

2.1.1.2 线性动量转移的系统研究^[1,6]

低能到中能区重离子碰撞的线性动量转移不仅与反应机制的研究紧密相关,而且可以提取热核激发能和核温度的重要信息(如果能区别不同的反应机制的贡献的话).放射化学方法由靶余核的平均前向反冲射程 FW 提取了余核在束流方向上的反冲速度 V_r ;反冲余核相对速度 V_r/V_{cn} 随靶余核质量数减小而上升,并达到坪区,从而得到最大反冲速度 V_r^{max} ,即中心碰撞形成类复合核的反冲速度,这就区分了相应于中心碰撞的线性动量转移和反映从周边碰撞到中心碰撞的线性动量转移平均值.实验表明,中心碰撞线性动量转移随靶核质量增加而增大;而平均线性动量转移强烈地依赖于弹靶系统的不对称性.

2.1.1.3 复合系统最大激发能和核温度研究

由一特定入射能下相应于中心碰撞的最大可转移线性动量 P_r^{max} 可提取该反应复合系统的激发能;不同入射能的实验表明, P_r^{max} 随入射能增加而增大,并达到一最大值,这一不再随入射能增加而增加的最大可转移线性动量同原子核激发能有密切关系,可提取复合系统的最大激发能和核温度.

在 20 ~ 46MeV ¹²C + Cu 反应中,确定了 P_r^{max} 随入射能的变化.发现,当 $E_{inc} = 27.5$ MeV/u 时,每个入射核子转移的线性动量达到 $(P_r^{max}/A_p)^{max} = 155$ MeV/c.u 的最大值,提取的复合系统最大激发能为 $E^*/A_c \sim 2.5$ MeV/u,核温度平均值为 4.5MeV ($a = A/8$),从而由实验获得了复合系统的最高核温度.

2.1.2 47MeV/u ¹²C + ⁶⁴Ni, ⁶⁴Ni, ¹¹⁵In, ¹⁹⁷Au 周

边反应研究^[8~13]

詹文龙、诸永泰等测量了 47MeV/u ¹²C + ⁵⁸Ni, ⁶⁴Ni, ¹¹⁵In, ¹⁹⁷Au 反应中带电粒子角分布、轻带电粒子关联及轻带电粒子和复杂粒子的能谱,以研究该过渡能区各种反应机制的竞争和弹核碎裂过程,提取核温度并研究发射源时空演化。

使用一台九单元 CsI(Tl) 光二极管读出探测器阵列鉴别轻带电粒子^[6],测量轻带电粒子关联. 该探测器具有体积小、长期工作稳定、简单、能量阈低等优点; 并使用一台高分辨 Si + CsI(Tl) 光二极管, 读出探测器望远镜探测 1 ≤ Z ≤ 7 的类弹碎片和弹性散射^[7], 该探测器具有大的能量动态范围, 高的能量和质量分辨; 此外, 一台 Si + BaF₂ 探测器望远镜置于前方向上探测高能量轻带电粒子^[8].

2. 1. 2. 1 过渡能区各种反应机制的竞争^[12]

实验研究了轻带电粒子和类弹产物同位素产额分布随靶核 N/Z 值、探测角度和动能的变化. 能量低于 15MeV 的 t 和 d 粒子产额比值 t/d 随靶核 N/Z 值增加而增加; 而对于能量高于 30MeV 的 t、d 粒子, t/d 值几乎保持不变. 此外, 低能 t、d 粒子 t/d 值不随探测角变化, 而高能 t、d 粒子 t/d 值随探测角增加而显著减小. 上述实验事实表明, 高能 t、d 粒子产生于弹核碎裂或反应初始阶段平衡前发射等过程; 而低能 t、d 粒子来自耗散和蒸发过程. 在该过渡能区必须考虑平均场相互作用和耗散过程的存在.

2. 1. 2. 2 弹核碎裂研究^[13]

由能谱到速度谱的转换和速度谱的拟合获得了前方向发射的类弹碎片的动量分布宽度, 发现, 平行动量分布宽度符合 Goldhaber 关系, 提取的约化平行分布宽度为 80 ± 10MeV/c, 这个值对不同反应系统是相同的, 并与相对论能区的值相近(图 2). 该结果表明, 弹核碎裂过程可以用擦碎(Abrasion)模型来描述.

2. 1. 2. 3 轻带电粒子关联测量, 温度提取和发射源时空演化的研究^[9~11]

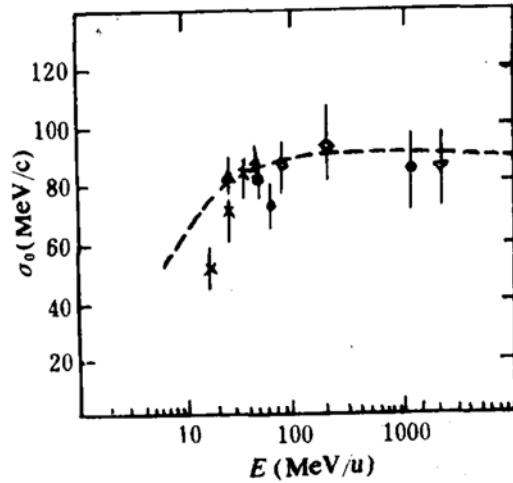


图 2 约化平行动量分布宽度 σ_0 随入射能的变化

小相对动量的轻带电粒子关联已被用来测定粒子不稳定态的相对布居, 并在统计平衡假定下提取核温度. 此外, 由轻带电粒子关联还能获得反应区域时空范围的重要信息. 表 1 列出对于不同反应系统从测量粒子不稳定态相对布居而提取的核温度. 该核温度与靶无关; 而由 ⁸Be 衰变产额比提取的核温度较低, 后者是因为弹核 ¹²C 破裂为高能 α 和 ⁸Be, 这可能是高能 ⁸Be 的来源.

表 1 由粒子不稳定态相对布居提取的核温度

粒子不稳定态	靶		
	⁵⁸ Ni	¹¹⁵ In	¹⁹⁷ Au
⁵ Li g.s./ ⁵ Li 16.6MeV	3.07 ± 0.40	3.30 ± 0.40	3.20 ± 0.40
⁶ Li g.s./ ⁶ Li 2.186MeV	3.03 ± 1.20	2.90 ± 1.20	3.30 ± 1.20
⁸ Be g.s./ ⁸ Be 3.04MeV	2.89 ± 1.20	2.40 ± 1.20	2.29 ± 1.20

P-P 关联测量给出了不同反应系统的发射源的半径参数. 对于 50~100MeV 高能质子半径参数 r_0 较小, 而且与靶无关, 说明这些高能质子主要来自平衡前发射的初始阶段, 从而发射源较小. 而对于 25~50MeV 的低能质子关联函数强烈依赖于靶核, 甚至出现 $R(q) < 0$, 这些低能质子产生于蒸发过程, 两个关联质子的时空分隔极大, r_0 不再有物理意义, 零寿

命假设不再成立, 应进行寿命修正.

2.2 47MeV/u $^{12}\text{C} + ^{187}\text{Tb}, ^{197}\text{Au}, ^{209}\text{Bi}$ 中心碰撞研究^[14]

戴光曦等在球筒形通用散射室中使用有效面积为 $25 \times 20\text{cm}^2$, 位置分辨为 4 mm 的 DGAC 探测器测量 47MeV/u $^{12}\text{C} + ^{159}\text{Tb}, ^{197}\text{Au}$ 和 ^{209}Bi 反应中关联的两体和三裂变碎片的位置和飞行时间; 并采用云母探测器记录裂变事件; 同时, 放置 $\phi 100 \times 100\text{mmNaI(Tl)}$ 探测器在同裂变碎片符合的条件下测量巨偶极共振 (GDR) 高能 γ 射线.

2.2.1 二裂/三裂变事件的观测

在 $^{12}\text{C} + ^{197}\text{Au}, ^{209}\text{Bi}$ 反应中观察到了三分裂. 三裂和二裂产额比 P_{32} 在 20~45MeV/u 入射能范围内随入射能增加而增加, 在 45MeV/u 时达最大值 0.6% (见图 3). 并测量了三分裂中二裂片的相对角和相对速度, 质心系中相对速度在 2.5cm/ns 处成峰, 相对角在 $\sim 120^\circ$ 成峰.

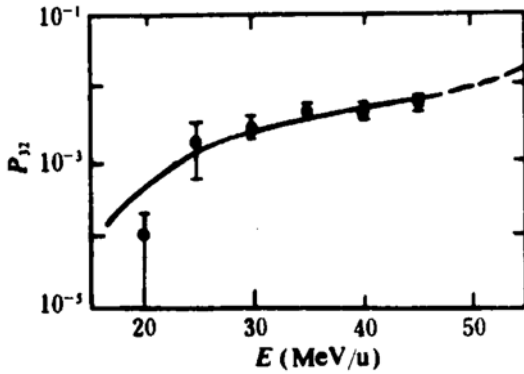


图 3 $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$ 反应中三分裂和二分裂产额比 P_{32} 随入射能的变化

2.2.2 核温度的提取

由关联裂变碎片出反应平面角分布或最可几线性动量转移可以提取核温度.

轻粒子蒸发的反冲效应引起了关联裂变碎片的共面歧离, 测量关联裂变碎片出反应平面角分布, 由高斯拟合得到共面标准偏差, 根据该标准偏差与复合系统激发能的关系, 对上述三个反应系统测得的核温度分别为 4.72

MeV, 4.15MeV 和 4.00MeV.

测量关联裂变碎片得到上述三个反应系统最可几线性动量转移分别为 0.67、0.66 和 0.65, 分别相应于每核子线性动量转移 192~198MeV/c.u, 提取的核温度分别为 4.7MeV、4.2MeV 和 4.0MeV, 与同关联裂变碎片出反应平面角分布测得的结果符合.

2.2.3 GDR 的观测

GDR 的观测在热核研究中有重要意义, GDR 临界温度 (由于粒子发射的竞争, 在该温度之上不再出现 GDR 激发) 的研究是引人注目的课题之一.

实验中未观察到上述三个反应中 GDR 高能 γ 射线在 γ 谱中的突起, 这是否是由于复合系统核温度已超过了由公式 $T_c = 17A^{-1/3}$ 给出的三个反应复合系统核温度 3.1MeV、2.9MeV 和 2.8MeV, 尚需做进一步的实验研究.

2.2.4 47MeV/u $^{12}\text{C} + ^{197}\text{Au}, ^{209}\text{Bi}$ 裂变碎片与发射粒子关联测量^[14]

由北大江栋兴教授等完成.

3 远离稳定线新核素合成和研究^[15~17]

远离稳定线新核素的合成和研究是重离子物理迅速发展中的前沿领域之一, 在 HIRFL 上开展新核素合成和研究是该重大项目的重要组成部分.

3.1 $A > 170$ 丰中子区新核素合成和研究

该重大科研项目以重质量丰中子区为主攻方向, 是基于该质量区不同理论模型计算给出奇异的半衰期值, 实验对理论的检验涉及核结构研究, 从而引人注目; 理论预言在该质量区 $Z=82, N=126$ 附近存在一个新的 β 延发中子先驱核岛^[15] (图 4), 逼近该岛并证实这一理论预言具有重要的物理意义; 该质量区新核素合成和研究进展缓慢. 独具特色的物理思想、生成机制和分离鉴别技术路线将可能在该质量区取得突破并形成我们的优势. 我们在该质量区的重要进展已表明该科研方向的选择是正确的.

张立、靳根明^[16]等在兰州重离子加速器

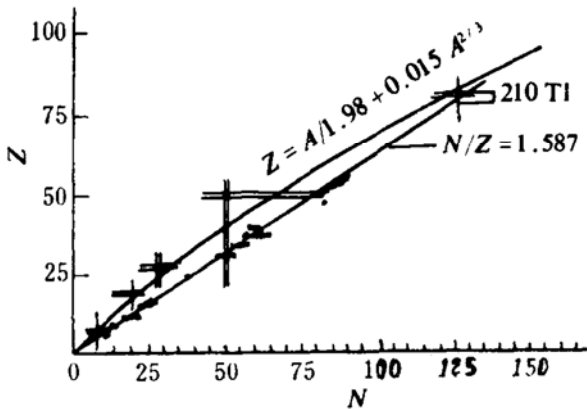


图4 理论预言在 $Z=82, N=126$ 附近存在一个 β 缓发中子先驱核岛, ^{210}Tl 是首次发现的先驱核

上,用中能 ^{12}C 束在全阻止厚 ^{208}Pb 靶上的多核子转移反应生成 ^{208}Hg ;并用熔融靶—热色谱装置实现了对产物 Hg 元素的释放、高效和高选择性的传输和收集^[17];继而采用化学分离方法提取元素 Tl;从 ^{208}Tl 的确切鉴别确认了 ^{208}Hg 的产生,并测得 ^{208}Hg 半衰期为 42min,生成截面 $\sim 1\mu\text{b}$. 新丰中子核 ^{208}Hg 具有重要物理意义,半衰期测量值长于 ^{206}Hg (8.15min),其理论解释已引起广泛关注;此外,该新核素的生成和分离难度很大,在 ^{208}Pb 上转移两个中子(并削裂两个质子)生成 ^{208}Hg 截面极低,其生成机制和分离鉴别技术独具特色,得到国内外学术界好评.

3.2 47MeV/u $^{12}\text{C}+^{133}\text{Cs}$ 、 ^{197}Au 和 ^{209}Bi 反应中近靶丰中子产物生成截面的放化研究

杨维凡、起之正等用放化方法研究了 47MeV/u $^{12}\text{C}+^{133}\text{Cs}$ 、 ^{197}Au 和 ^{209}Bi 反应中近靶丰中子产物的生成截面,为重离子反应合成重丰中子新核素提供了有用的数据.

实验测量了低靶产物 I、Hg、Au 和 Pt 等同位素的产额分布,发现靶核每减少 1 个质子,其近靶产物最可几质量数与靶核之差为 4~5 质量单位,靶核减少 2 个质子生成丰中子核素的截面为数百微巴;靶核减少 3 个质子并增加 2 个中子的截面亦为 $\sim 10^2\mu\text{b}$ 量级.

3.3 Ba—Bi 区新核素合成和研究

Ba—Bi 区未知核素具有重要谱学意义,但该区域至今存在大块空缺,其中一部分空缺是由于高温难熔性质而带来分离鉴别的技术困难;另一部分核素虽然已经合成和鉴别,但谱学数据却仍是空白.

考虑到该区域核(特别在重质量区)在 β^+ 衰变的同时有相当高几率的 EC 过程竞争,徐树威等人提出用氦喷嘴快速带传输和 X- γ 符合方法鉴别核素的技术路线,并已成功研制成 He-jet 快速带传输和 X- γ 符合探测装置.

已在 HIRFL 上选用 137MeV, 0.3 μA 的 $^{16}\text{O}+^{185}\text{Re}$ 熔合蒸发反应,使用上述装置测量 X- γ 符合,鉴别出了 $^{194\sim 196}\text{Bi}$ 、 $^{194\sim 196}\text{Pb}$ 和 $^{192,193}\text{Tl}$ 八种同位素,为进一步提高 ^{16}O 束能量,首次测量 ^{193}Bi 的 (EC+ β^+) 衰变性质等工作奠定了可靠基础.

3.4 放射性次级束流线和在线同位素分离器新型离子源研制

利用初级中能弹核在靶核上的碎裂和复杂转移过程,以高的截面产生放射性次级束.除用于新核素合成和研究外,还将用于反应截面和反应机制研究.詹文龙和郭忠言等已完成该装置第一阶段研制——HIRFL 上由 SSC 到 TR3 的双消色差后输运系统改造,正在进行次级束产生、控制部件和探测器调试;在束调试后将进行物理实验.

在线同位素分离器是新核素合成和研究的另一关键设备.除正在研制熔融靶离子源和表面电离源外(王同庆、谈锦封、张立等),赵之正等和清华大学物理系尚仁臣、徐四大教授等合作,正在进行激光离子源研制.激光离子源利用激光共振电离原理,可在同位素分离器进行质量 A 分离之前实现对产物核的 Z 分离.现已进行共振电离激光同气体喷嘴传输系统耦合的原理研究.该类新型离子源具有高效、快速、电荷分辨能力强等优点,并适用于分离高温难熔元素.

4 HIRFL 上开展的中能重离子束应用研究——重离子束材料科学和生物效应研究

中低能重离子在固体物质中淀积能量、发生相互作用,其表面辐射效应和体辐射效应可导致辐射损伤,也可实现材料改性.此外,重离子是高 LET 粒子,具有 Bragg 峰,同 γ 、X、电子和中子辐照相比,有更高的生物突变率,对于相同染色体畸变率,细胞损伤不易修复.重离子 γ 辐照并具有离子种类、电荷态、能量和剂量等多种诱变参数,加上其能量淀积有高的空间分辨,可实现对细胞及基因的定点定位损伤.上述优良的定向诱变条件在诱变生物学和辐照育种中有独特优势.利用 HIRFL 提供的重离子束和多功能重离子辐照装置,已在上述两个区域开展了以下研究:

1) 马峰等 93 年 3 月份与航天部五一 0、五 0 九和八 0 九研究所合作,利用 HIRFL 提供的 95MeV ^{40}Ar 束流,对航天部研制的星载计算机的几种芯片做了单粒子效应的模拟实验.测得了这几种芯片的单粒子翻转截面和单粒子栓锁截面,这个结果对于细致研究分析单粒子效应的产生与器件的工艺条件之间的关系及进一步寻找抗单粒子效应加固方法提供了基础数据,也为今后在 HIRFL 上进一步开展该项研究积累了经验.

2) 中能 ^{12}C 束对铁素体钢 HT-9 和纯镍辐照肿胀实验

金运范等运用了内转换电子的穆斯堡尔谱学 (CEMS) 对 42.5MeV/u ^{12}C 束辐照 HT-9 不锈钢进行了相分析.实验观察到了不同能量 ^{12}C 束辐照样品之间穆斯堡尔谱的差异.辐照样品顺磁相成分增加,并观察到铁磁相超精细磁场值的变化,反映了 Fe 原子近邻和次近邻的变化.实验表明,随损伤截面增大,超精细场分布范围逐渐收缩,分布峰位向减小超精细场方向移动,且分布峰宽减小.上述现象已解释为中能 ^{12}C 束引起的合金元素偏检.

徐荣辉等用正电子湮没寿命法研究了

42.5MeV/u ^{12}C 束在纯镍材料中的损伤分布.理论计算的损伤能沉积曲线和正电子湮没平均寿命值曲线,以及正电子湮没捕获率曲线基本符合.

3) 中能 ^{12}C 束辐照铁氧体 $\text{Y}_{1.6}\text{Ca}_{1.4}\text{Sn}_{0.5}\text{V}_{0.45}\text{Fe}_{4.05}$ 和 O_{12} 的非晶化研究由南京大学夏元复教授等完成.

4) 136MeV $^{16}\text{O}^{6+}$ 离子注入小麦种子、蚕卵、微生物及枸杞、蕃茄等经济作物样品的生物效应研究

卫增泉等采用 136MeV $^{16}\text{O}^{6+}$ 束注入各种生物样品,共处理样品 320 小盘,剂量范围 $10^7 \sim 10^9 \text{P/cm}^2$.五个小麦品种分别在干、湿种子、不同剂量率注入胚根或胚芽,并有三个品种小麦注入后通过组培进行生物技术研究.被处理的大部分干种子已适时播种到大田育种,以待观测.其它样品在实验室进行生物学研究.枸杞等经济作物辐照实验后已在田间播种,以求品种改良.

对放线菌和蚕卵的实验是首次开展的重离子对动物细胞和微生物的生物效应研究.已发现辐照处理过的放线菌初级产物生长旺盛、速度快;重离子诱变菌种提高发酵指数已呈现有希望的前景,这不仅从学术上可得到有理论价值的结果,而且将产生明显的经济效益.

5) 中能 $^{12}\text{O}^{6+}$ 离子对植物细胞遗传学效应研究

卫增泉等和兰州大学、甘肃省农科院合作,用中能 $^{12}\text{O}^{6+}$ 束辐照小麦、山豆、白兰瓜等植物种子,研究了小麦发芽势随辐照剂量的变化、染色体结构畸变等亚显微结构变化和植物细胞 DNA 损伤与修复,及细胞突变变异现象.

观察到了致死剂量.辐照小麦干种子后观察到的根尖细胞中染色体畸变类型有微核、染色体桥等六种,且畸变率由 0.5% 增加到 179%.并在主根细胞中观察到包括线粒体形态异常、高尔基体发达、出现特有次级溶酶体等一系列亚显微结构变化.其中,后二种结构变化是一种辐射损伤修复,进一步研究这种辐

射损伤修复的规律,提高诱变突变效率,对于诱变育种有重要意义。

5 HIRFL 上重离子物理基础和应用研究近期初步规划

充分利用 HIRFL 提供的中、低能重离子束和现有的实验终端,研制奇异核次级束流线、在线同位素分离器新型离子源、多单元带电粒子探测器和中子探测器等必要的实验装置,围绕重大、重点科研项目,按照开放、流动、联合的方针,组织一支以中青年科研骨干为主体的科研队伍,发扬学术民主,精选上器课题,实验和理论研究相结合,着力开展中、低能重离子碰撞和热核性质研究、远离稳定线新核素合成和研究及重离子束应用研究,确保在八·五末再做出一批有国际水平的科研成果。

5.1 中、低能重离子碰撞和热核性质研究

该科研方向的研究将集中于下述课题:

- 1) 中能重离子碰撞中能量耗散机制及热核生成的动力学研究;
- 2) 热核激发能和粒子蒸发与碎裂竞争;
- 3) 通过带电粒子关联和干涉研究热核形成过程中的时空演化;
- 4) 中等质量碎片发射研究;
- 5) 热核三裂变和多碎片出射研究;
- 6) 热核形成和衰变动力学过程的理论。

5.2 远离稳定线新核素合成和研究

5.2.1 $A > 170$ 丰中子区新核素合成和研究

深化在重质量丰中子区新核素合成和研究中初步形成的物理思想,进一步改进和发展独具特色的技术路线,在该质量区形成优势。

1) 进一步开展 ^{208}Hg 衰变谱学的实验和理论研究。在 ^{208}Hg 及其邻近核的衰变寿命和核结构研究中取得高水平物理成果。

2) 选择新的目标核,进一步逼近理论上预言的 $Z=82, N=126$ 附近 β 缓发中子先驱核岛。 ^{211}Tl 将是优先考虑的下一个新核素。在技术上为在该质量区探测 β 缓发中子做准备。

5.2.2 超铀缺中子区和 Ba - Bi 区新核素合成和研究

前者涉及奇异重离子放射性、重质量区的形变及重核中对于自发裂变的奇异稳定性等;后者将可能填补 Ba - Bi 区部分空缺,其谱学信息具有重要物理意义。有关的实验技术和设备已研制完成。

充分利用 SFC 提供的较高能量的低能重离子束,分别使用已研制成功的级联 α 衰变符合探测装置和 He - jet 快速带传输 + X - γ 符合探测装置开展这两个核区的研究。

5.2.3 $A < 70$ 轻质量区缺中子新核素合成和奇异放射性研究

该课题已在高能所质子加速器和原子能院串列加速器上取得进展。SFC 上开展进一步的实验研究将有可能就该质量区奇异质子放射性的研究取得一批新的研究成果。

5.2.4 $A \sim 130$ 和 $A \sim 190$ 区高自旋核结构研究

这在远离核的结构研究中占有重要位置。使用已建立的在束 γ 装置已在原子能研究院的串列加速器上取得一批成果。1993年三季度直通束流线建成后,SFC 提供的较高能量的低能重离子束流将在该领域发挥重要作用。

5.3 重离子束应用研究

HIRFL 上开展的重离子束应用研究是国家实验室十分重视的科研领域。拟逐步扩大规模、提高水平、加大投资强度,力争在八·五期间取得一批高水平科研成果,九·五期间形成自己的特色。

5.3.1 快重离子在固体材料中的辐照效应及应用研究

1) 快重离子电子能损效应机理研究及其应用探索

研究快重离子在绝缘体磁性材料中潜径迹形成的电子能损阈值,潜径迹形态学以及辐照剂量对损伤效应的影响;快重离子在低温下辐照金属磁性材料所生成的缺陷及宏观特性的改变;快重离子在表面和界面引起改性的研究,以获得电子能损在金属材料 and 绝缘体材料中转化为原子位移的机制;获得宏观改性与辐照参数的依赖关系;探索表面界面效应的应

用.

2)研究核微孔膜制备技术并探索其在科研和国民经济中的应用.

3)测量各种离子在半导体器件的 LET 曲线;研究单粒子效应阈值和机理,以给出宇航半导体器件的单粒子翻转数据,并对器件做出评估和筛选.

4)重离子辐照模拟聚变堆第一壁材料快中子辐照损伤研究.这是 863 项目子项.

5.3.2 荷能重离子生物效应及辐照育种研究

1)荷能重离子在生物组织中的径迹结构及能量沉积研究

研究沿重离子径迹不同位置上的能损,离子径迹径向作用范围及能量沉积微观分布;细胞失活同重离子与其碰撞参数之间的关系.

2)重离子注入植物种子和动物细胞及微生物的生物效应研究

在低能重离子实验基础上,进行中能重离子辐照实验,研究重离子贯穿辐照及射程在 1mm 左右的辐照的不同生物效应.

研究较低中能(射程~1mm)重离子的注入机理,着重在生物分子改性.首先以低能重离子注入纯 DNA 大分子,观察辐照对生理生化功能和遗传功能的影响,以及是否形成新结构生物分子,以进一步开展生物工程研究.并

拟采用微束技术研究单个重离子与单个细胞的相互作用,为开展定点定位诱变育种作理论和技术上的准备.

参 考 文 献

- 1 Li Wenxin, et al. Proc. of Inter. Symp. on Heavy Ion Phys. and Its Appl., Lanzhou, 1990, 158
- 2 李文新等.高能物理与核物理,1991,15(9)
- 3 孙彤玉等.核化学与放射化学,1991,13(4)
- 4 Li Wenxin, et al. Phys. Rev. C, 1992, 46(6)
- 5 李文新等.高能物理与核物理,1990,14(12)
- 6 Xi Hongfei, et al. N. I. M., 1992, A320: 504
- 7 周建群等.高能物理与核物理,1992,16(10): 933
- 8 Liu Guanhua, et al. N. I. M., 1992, A322: 243
- 9 Xi Hongfei, et al. Chinese Jour. of Nucl. Phys., 1992, 14(3): 214
- 10 Xi Hongfei, et al. Chinese Jour. of Nucl. Phys., 1992, 14(4): 283
- 11 Xi Hongfei, et al. Chinese Phys. Lett., 1992, 9(8): 400
- 12 尹淑芝等.高能物理与核物理,1992,16(4): 364
- 13 刘冠华等.高能物理与核物理,1993,17(2): 166
- 14 江栋兴等.高能物理与核物理,1992,16(6): 556
- 15 杨澄中.核物理动态,1985,2: 1
- 张立.高能物理与核物理,1991,15: 188
- 16 张立等.高能物理与核物理,1992,16: 768
- Zhang Li, et al. Nucl. Phys., 1993, A553: 489C
- 17 赵进华等.原子核物理,1992,14: 264

Recent Studies and Achievements at HIRFL

Luo Yixiao

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

Abstract The experimental studies and achievements recently made at the Heavy Ion Research Facility of Lanzhou(HIRFL) are reviewed with an emphasis on the three research fields;the study of intermediate energy heavy ion collision and properties of hot nuclei, the synthesis and study of nuclei far from stability, and the applications of heavy ions. A research program for the near future is also briefly introduced.

Key Words heavy ion collision, hot nuclei, nuclei far from stability.