

## 兰州重离子研究装置(HIRFL)投入实验

沈文庆

(中国科学院近代物理研究所)

我国自行设计,自行建造的第一个大型重离子研究装置 HIRFL,于 1988 年 12 月 12 日联调成功,第一次引出  $50\text{MeV}/\text{A}$  的  $^{12}\text{C}^{+6}$  离子束。随即在 1989 年和该装置配套的 8 个实验终端及公用实验设施在实验大厅及测试室就位,部份实验终端还利用加速器束流进行了在线调试。从 1988 年底至今还进行了 5 个方面的实验课题的实验工作,取得了一些初步的实验结果。兰州重离子研究装置

(HIRFL)已经投入实验,并预期 1991 年开始全面对国内用户开放,1992 年开始对国外用户开放。本文将简要描述 HIRFL 加速器,实验终端及公共实验设施;HIRFL 上已进行过的实验的简况;1990 年 HIRFL 上准备进行的实验及 HIRFL 上将开展的研究工作展望。希望国内同行能充分利用兰州重离子研究装置提供的各种重离子束及配套的实验终端和公用实验设施在重离子物理、用重离子

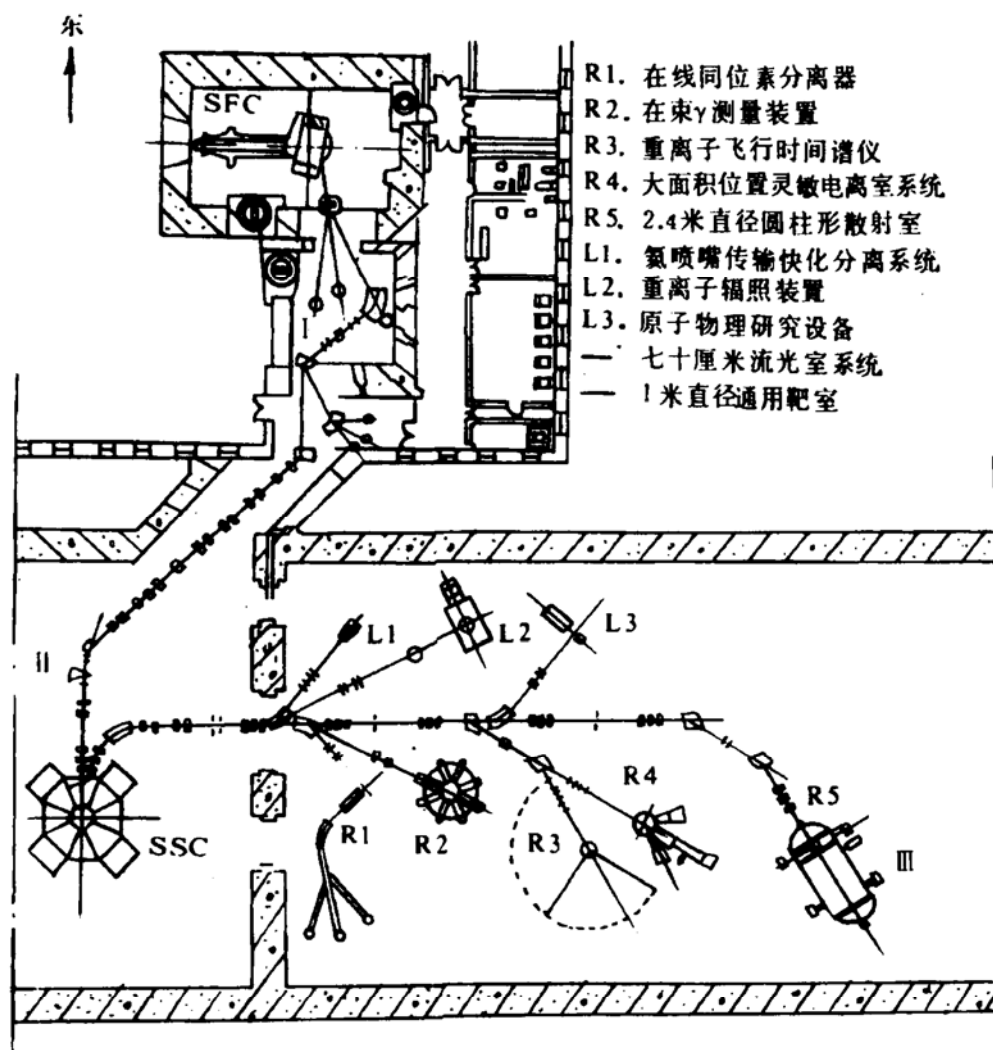


图 1. HIRFL 和它的实验区

束进行的应用基础研究、高科技研究等方面做出高水平的工作来。

## 一、HIRFL 加速器、实验终端和公共实验设施

HIRFL 加速器包括一台能量常数为  $K = 69$  的扇聚焦回旋加速器 (SFC) 作注入器和一台能量常数为  $K = 450$  的分离扇回旋加速器 (SSC) 作主加速器, SFC 和 SSC 之间有 60 米前输运线、一个剥离器和两个聚束器。束流从 SSC 通过后输运线引到实验大厅内的 8 个实验终端上。它们是: 在线同位素分离器 ( $R_1$ ), 在束  $\gamma$  谱学装置 ( $R_2$ ), 重离子飞行时间谱仪 ( $R_3$ ), 大面积位置灵敏电离室装置 ( $R_4$ ), 2.8 米圆筒形靶室 ( $R_5$ ), 氦喷快化装置 ( $L_1$ ), 重离子辐照装置 ( $L_2$ ) 及原子物理装置 ( $L_3$ )。图 1 显示了 HIRFL 加速器、输运线及 8 个实验终端的平面布局。实验大厅还留有 1/3 以上空间可供进一步发展新的实验终端使用。配合 HIRFL 的加速器和实验终端, 还建成了配套的公共实验设施, 包括数据获取和处理系统、公共测试室、公用 NIM 及 CAMAC 库、公用机械真空系统及相应的真空、探测器、电子学、制靶、放化等实验室。现有一台 PDP 11/44 用于 SFC 上实验的在线数据获取, 一台 PDP 11/84 及二台 MICRO-VAX II 计算机作 SFC 和 SSC 联机时进行实验的在线数据获取, 另外有二台联网的 VAX-8350 作加速器控制、离线数据分析及理论计算。已经发展了 MOLDAS I、II、III 三套在线数据获取系统以满足不同参数量 (目前限于仪器数目可达二百以上) 及不同计数速率的实验的要求。HIRFL 实验大厅各终端里的探测器通过 NIM 仪器后由长电缆传到测试室的 NIM 仪器, 再通过 CAMAC 传送到计算机。NIM 库仪器足够供 200 参数左右的实验使用。制靶实验室可提供各种常用的靶子, 探测器实验室可制作半导体薄片探测器 (厚度可小到

$15\mu$ )、厚半导体探测器 (厚度可达数千  $\mu$ )、气体电离室、平行板雪崩探测器等各种类型的探测器。电子学实验室可根据实验组的要求制作少量特殊的电子学插件。HIRFL 已经初步具备利用中、低能重离子开展重离子物理, 用重离子进行的一些应用研究及一些交叉学科研究的条件。

图 2 是 HIRFL 加速器的能量曲线, 曲线 I—IV 分别相应于 SFC 单独还是 SFC + SSC 组合运行及使用 ECR 源还是 PIG 源的四种组合情况。1987—1988 SFC 单独运行, 提供了  $^{12}\text{C}$ 、 $^{16}\text{O}$  束, 1988 年底 SFC + SSC 提供了  $50\text{MeV/A}$  的  $^{12}\text{C}$  束, 1989 年用  $50\text{MeV/A}$   $^{12}\text{C}$  束开展了一些实验, 1990 年 HIRFL 将提供  $50\text{MeV/A}$  的  $^{12}\text{C}$  及  $^{16}\text{O}$  束, 并在 1990 年下半年安装 ECR 离子源。预计从 1991 年开始 HIRFL 将可提供  $4.8—120\text{MeV/A}$  的 C 到 Ta 的各种束流, 并将逐步达到稳定可靠运行。

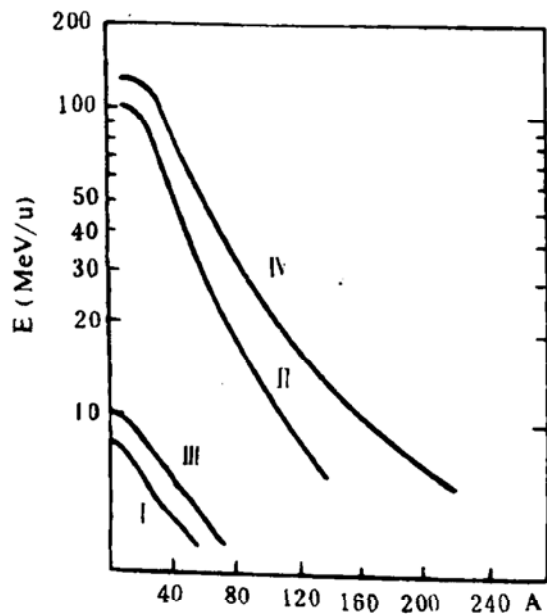


图 2. HIRFL 的束流的能量曲线

## 二、HIRFL 上已进行过的实验的简况

HIRFL 出束后交叉进行了一些实验终端的在束调试和一些物理实验工作。例如在

线同位素分离器和大面积位置灵敏电离室实验终端进行了在束调试。目前 8 个实验终端都已进行过离束的调试。例如图 3 显示了用天然 Xe 注入到离子源测得的在线同位素分离器的质量分辨(1200 ~ 1500)。在此基础上进行了在线同位素分离上的  $^{12}\text{C}$  (50MeV/A) +  $^{181}\text{Ta}$  ( $^{nat}\text{w}$ ) 反应研究及在线同位素分离器

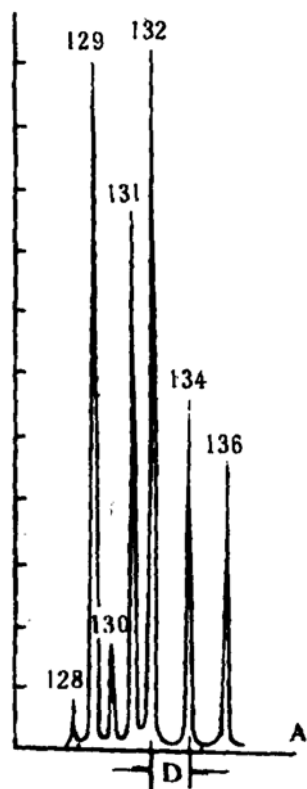


图 3. 用天然 Xe 注入到离子源测得的在线同位素分离器的质量分辨

在束调试的实验。实验初步测得了  $^{12}\text{C} + ^{181}\text{Ta}$  ( $^{nat}\text{w}$ ) 反应的产物质量分布。初步建立了一套在线同位素分离器的在束实验方法,为今后利用在线同位素分离器合成新的核素并研究其衰变性质、核谱学打下了基础。用  $^{12}\text{C}$  (50MeV/A) 轰击 Cu,  $^{93}\text{Nb}$  和  $^{181}\text{Ta}$ , 用放射化学方法研究靶余核和线性动量转移的实验已经取得了较好的成果。用离线  $\gamma$  射线能谱法测得产物的反冲射程,从而得到最大线性动量转移和平均线性动量转移。实验数据表明相应于中心碰撞的最大线性动量转移在轻靶和中重靶范围内与靶质量无关,但明显低于与  $^{238}\text{U}$  碰撞的线性动量转移(图 4)。平均线性动量转移显示了与弹核及靶核不对称性的强烈依赖关系(图 5)。实验中测得大量靶余核截面以及前向平均射程,从而得到同量异位素分布、质量分布和径向动量转移。实验和我国理论工作者发展的修正统计模型和蒙特卡罗方法的计算进行了比较,得到了满意的符合(图 6)。在大面积位置灵敏电离室实验终端上进行了 HIRFL 加速器能量和能散的精确测量,中能重离子反应中发射复杂粒子的研究及 50MeV/A  $^{12}\text{C}$  在  $^{209}\text{Bi}$  和  $^{197}\text{Au}$  上反应发射轻粒子和裂变碎片的关联测量(北京大学和近物所合作实验)三个实验。图 7 显示

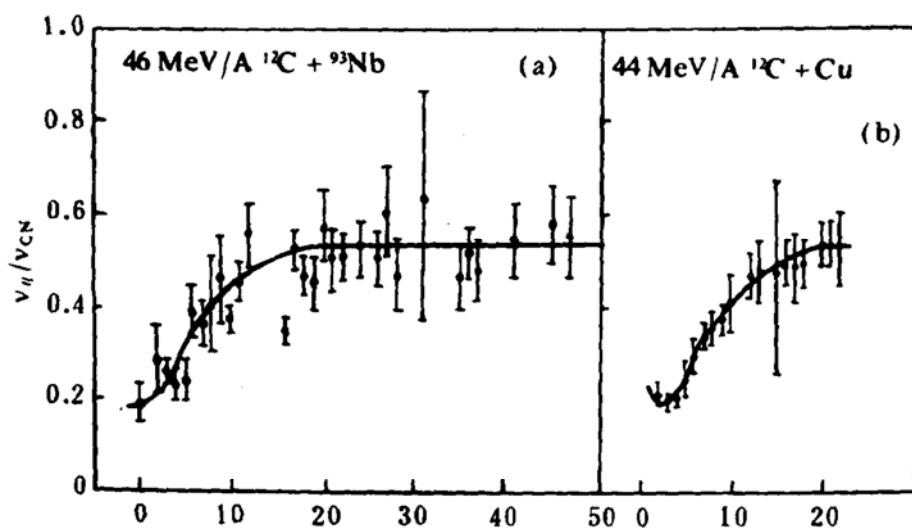


图 4. 相对速度转移  $v_H/v_{CN}$  随质量损失  $\Delta A$  的变化

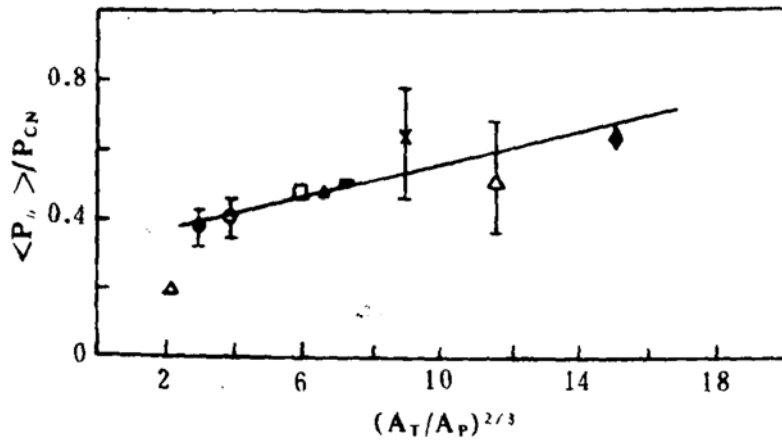


图5. 线性动量转移平均值 $\langle P_{||} \rangle / P_{CN}$ 与弹靶不对称性 $(A_T/A_P)^{2/3}$ 的变化  
 的结果取自HIRFL上的实验

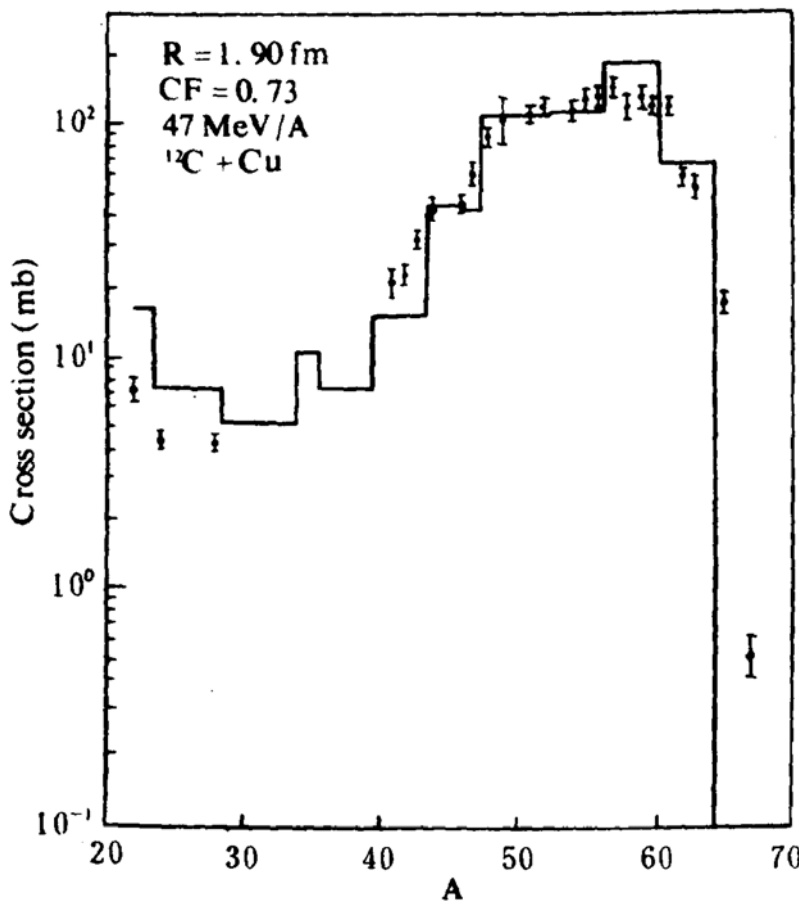


图6. 实验质量分布和修正统计模型计算结果的比较

了北京大学近物所合作实验中测到的线性动量转移谱和中能 $^{40}\text{Ar}$ 引起的反应不同, 能量高达 $50\text{MeV}/\text{A}$ 的 $^{12}\text{C}$ 在 $^{209}\text{Bi}$ 、 $^{197}\text{Au}$ 靶上引起的大的线性动量转移( $> 60\%$ )的几率还很大, 它们可能还是通过二体裂变产生的。小线性动量转移(约 $35\%$ )对 $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$ 的贡献要比 $^{12}\text{C} + ^{197}\text{Au}$ 大。实验数据的分析及物理解释

正在进行之中。另外用 $50\text{MeV}/\text{A}$   $^{12}\text{C}$ 还进行了铁素体钢HT—9(聚变堆结构材料的候选者之一)和纯镍的辐照损伤实验。辐照后的样品用正电子湮没方法测量了正电子湮没寿命谱, 获得了正电子在自由态、单空位及双空位的寿命和强度, 由此推断出辐照产生的缺陷浓度。实验得到的损伤能分布与理论计算

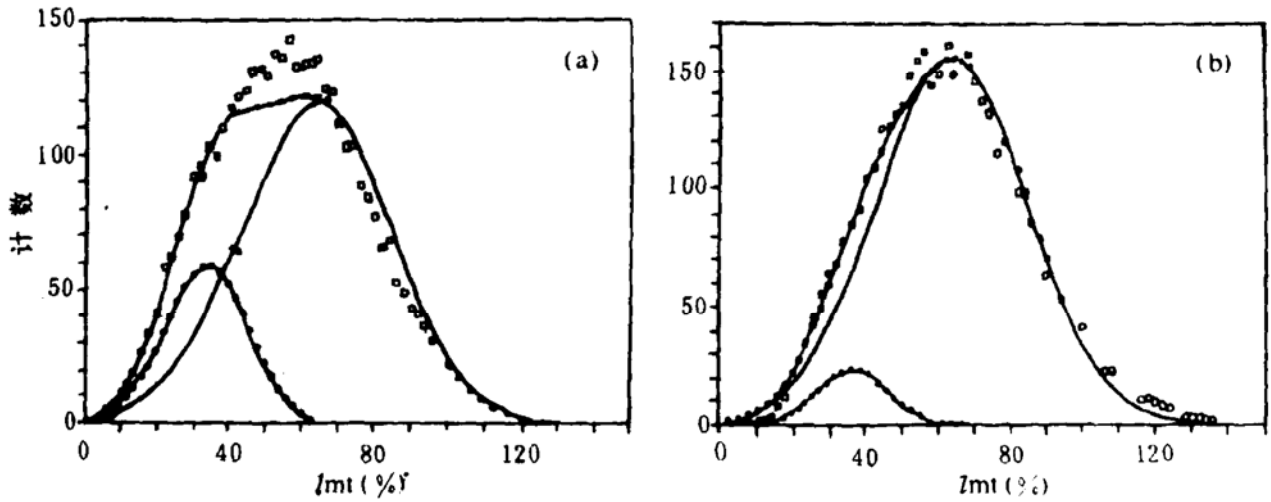


图 7. 50MeV/A<sup>12</sup>C + <sup>208</sup>Bi (a) 及 <sup>208</sup>Au (b) 的线性动量转移谱

基本相符,但实验峰值略大于理论值。穆斯堡尔谱学方法分析样品证实辐照后的HT—9钢中有新的相出现。用透射电子显微镜对辐照后的样品制样进行破坏性的观察得到了损伤剖面。

由于HIRFL刚出束,对中能重离子实验方法还要积累经验,因此以上实验结果都还仅仅是初步结果,需要进一步的分析 and 进一步的实验。

### 三、1990年HIRFL上准备进行的实验

1990年将用50MeV/A<sup>12</sup>C或<sup>16</sup>O束对辐照终端、快化终端、原子物理终端、飞行时间谱仪终端、筒型靶室终端及在束 $\gamma$ 终端等进行在束调试。同时安排了一些实验。安排的实验有为合成新核素及其衰变性质研究作

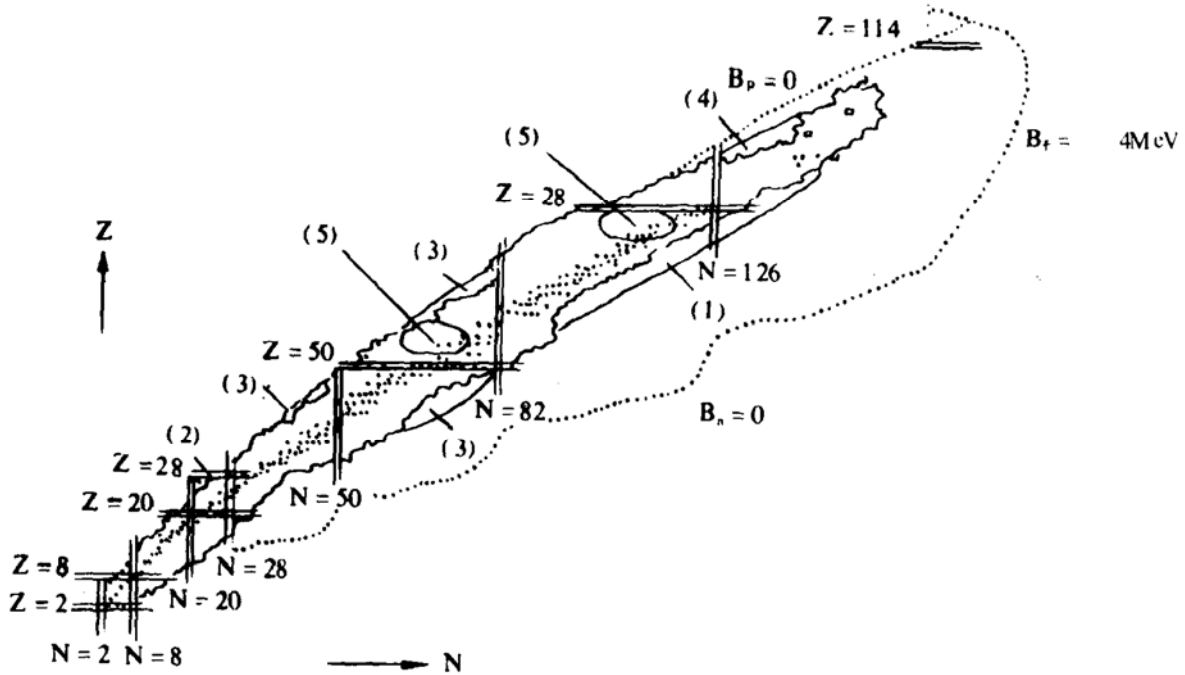


图 8. 核素图, 括号内数字对应各子课题的研究范围

准备的实验: 例如 $^{12}\text{C} + \text{Hg}$  产生  $^{202}\text{Pt}$  实验;  $^{12}\text{C} +$  重靶测定近靶产物生成截面的实验;  $^{12}\text{C}$  (或  $^{16}\text{O}$ ) +  $\text{Pb}$  反应近靶余核产生新核素预备实验;  $^{12}\text{C}$  (或  $^{16}\text{O}$ ) +  $^{197}\text{Au}$  余核速度谱测量 (使用放化方法研究中能反应中近靶余核生成机制)。有关中能核反应机制方面研究的实验有:  $^{12}\text{C}$  (或  $^{16}\text{O}$ ) 轰击  $\text{Tb}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Bi}$  产生的核温度, 可能的极限核温度测量及中能重离子引起的三分裂研究;  $^{12}\text{C}$  (或  $^{16}\text{O}$ ) 轰击  $\text{Au}$ 、 $\text{Bi}$  裂变碎片角分布测量; 丰中子次极炮弹反应总截面测量; 中能深部非弹碎裂; 复杂粒子发射和非完全深部非弹实验。另外在中能重离子束应用基础和交叉学科研究方面将安排辐照损伤实验及中能重离子对植物细胞遗传效应研究等方面的实验。

#### 四、HIRFL 上将开展的研究工作展望

近物所主要有四个实验研究室一个理论室三个实验条件技术支持方面的研究室围绕 HIRFL 开展研究工作。限于人力, 主要将开展三个大方面的实验工作。(1) 重离子合成新核素及其衰变性质、核结构和生成机制研究, 它可能包括以下方面的研究工作:  $A > 170$  重核丰中子区新核素合成和  $Z \sim 82$  缓发中子先驱核的研究;  $A < 70$  质子滴线附近和  $A = 100 - 150$  中重核区新缺中子远离核的合成及奇异质子衰变性研究; 高温难熔  $\text{Y} - \text{Pd}$  区, 稀土区新核素的合成鉴别和衰变性质研究; 缺中子超铀区新核素合成及其重离子放射性的寻找和中能反应近靶余核生成机制研究; 远离核衰变  $\gamma$  谱学和  $A \sim 130$ 、 $A \sim 185 - 190$  过渡区核高自旋核结构实验研究。图 8 显示了上述各子课题研究范围在核素图上的位置。随着研究工作的深入和发展

也可能集中到一、二个区去作深入研究。(2) 中能重离子核反应机制方面的新现象的研究; 它包括以重离子非完全熔合裂变和非完全线性动量转移为重点的对心碰撞研究; 以非完全深部非弹性碰撞研究为重点的重离子周边碰撞研究; 奇异核次极炮弹进行的反应总截面、奇异核的反应研究。为了进行深入进行上述二大方面的研究工作可能在最近几年内在 HIRFL 上要建立奇异核次极束流线及 SFC 多余电荷态的离子的引出装置。(3) 快重离子在固体材料中的辐照效应及其应用研究。它包括有: 堆用材料的辐照损伤研究; 快重离子的电子能损效应及其应用研究; 核微孔膜的研制及其应用。除这三大方面研究外, 近物所还有很小部分人力开展用重离子进行的原子物理和生命科学方面的研究工作。显然以上研究方向仅是用 HIRFL 可提供的重离子束流进行的研究工作的一部分, 其它研究方向需要国内外同行来 HIRFL 开拓, 就是近物所正在进行或将进行的研究方向也必须进一步发展国内外的合作研究。

HIRFL 将建成为开放、流动、联合的兰州国家重离子实验室。将由国内有关的科学家来共同管理、共同使用、共同发展。HIRFL 的研究设备将无偿提供给经 HIRFL 学术委员会接受的课题使用。HIRFL 学术委员会已在 1989 年 11 月成立, 其中  $2/3$  委员是所外科学家。1990 年 HIRFL 学术委员会将评审 1991 年要在 HIRFL 上开展的研究课题, 欢迎全国同行来 HIRFL 开展研究工作。近物所内的科学家准备了 HIRFL 研究指南、HIRFL 用户手册、HIRFL 研究课题申请表等材料的初稿, 也欢迎全国同行进行修改和完善。衷心希望全国同行能管好、用好、发展好 HIRFL, 让 HIRFL 为我国的重离子科学作出高水平的研究工作来。