

# 中国原子能科学研究所的HI-13串列式 静电加速器上的物理研究

姜承烈

(中国原子能科学研究所)

中国原子能院的HI—13串列加速器经调试于86年10月达到了指标,由美方移交到了中方。87年8月通过了国家验收,正式提供使用。原子能院于87年11月成立了一个全国性的课题评审小组,由北大杨立铭教授任组长,评审全国各院校提交的、申请到HI—13加速器上做实验的开题报告。我们认为,必需把HI—13实验室办成一个对外开放的国立实验室。第一步是向国内开放。只要是课题评审小组通过、认为是应当支持的实验,我们免费向各兄弟院校提供加速器束流和其他通用实验设备,甚至还资助来做实验所需的旅差费、住宿费以及小额的有关科研费。87年评审通过的题目中有三个是兰州近代物理所的和一个是高能物理所的。现在这四个题目中有二个已经用束做完了实验。

## 一、HI—13串列加速器实验室简介,加速器和重要设备近况

HI—13串列加速器实验室的平面图见图1,共有三个实验大厅,六根实验管道。上面设置有八个靶站。我们已经建立了三套大型实验设备和六套中型的实验设备。

- 1、串列加速器验收和运行状况;
- 2、Lamb Shift极化离子源建造情况;
- 3、Q3D磁谱仪和焦面探测器调试情况;
- 4、三探头中子飞行时间谱仪;

5.1 HPGe—BGO反康谱仪及定向仪,  
BGO— $\gamma$ 多重性Array;

5.2 带电粒子—中子— $\gamma$ —多重符合系统;

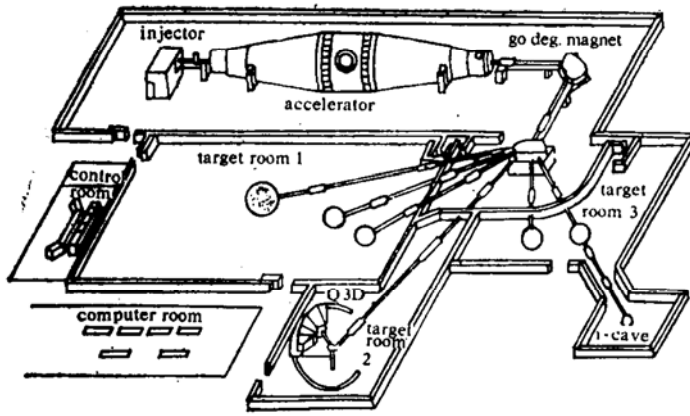


图1. HI-13串列加速器实验室平面图

- 5.3 微桔子型β谱仪;
- 6、φ240×250NaI—塑料闪烁体反康谱仪及定向仪;
- 7、φ1000通用靶室 (附带一个φ450靶室);
- 8、φ600通用靶室 (裂变靶室);
- 9、蒸发残核静电分离器;
- 10、超精细相互作用扰动角分布谱仪;
- 11、超灵敏质谱分析谱仪;
- 12、VAX11/780数据获取系统;
- 13、其他。

## 二、已经评审通过的二十九个课题

序号	批准课题名称	7
1	原子核高自旋研究	利用α非弹性散射及转移反应研究IBA
2	原子核高自旋态超形变带的寻找	8 建立静电偏转板反冲分离器研究重离子垒下熔合反应
3	中重核区原子核高自旋态研究	9 轻系统非完全深部非弹碰撞研究
4	重离子碰撞中的共振结构研究	10 $^{16}\text{O} + ^{24}\text{Mg}$ , $^{28}\text{Si}$ 和 $^{32}\text{S}$ 全熔合激发函数测量
5	重离子弹性散射、非弹性散射和转移反应的微观研究	11 新核素 $^{65}\text{Se}$ 的探索研究
6	多核子转移反应与 $1f_{7/2}$ 壳核高激发区核谱的研究	12 Q3D磁谱仪性能检验和运行参数的确定
		13 快中子与氙, 一铀238作用的次级中子能谱测量
		14 快中子诱发裂变瞬发中子能谱的研究
		15 U—238裂变产额测定
		16 激发曲线测量
		17 辐射俘获高能γ射线测量
		18 核能级密度的实验研究
		19 辐射俘获反应研究
		20 快中子飞行时间谱仪的调整和10 MeV中子在碳上的散射
		21 大NaI反符合屏蔽谱仪效率及响应函数的刻度
		22 (HI, n)反应中子源可行性的探讨
		23 高电离态原子光谱学研究
		24 超灵敏质谱计研究和应用
		25 材料辐射损伤的超精细相互作用研究
		26 重离子反冲分析材料表面轻元素及深度分布
		27 固体径迹探测器的刻度
		28 堆材料辐照损伤多种方

### 三、一些有意义的核物理实验 成果

#### 1、垒下熔合裂变反应碎片角分布各向异性的反常现象

近年来垒下熔合反应研究很受重视，因为观测到其反应截面远较由一维穿透模型所预言的大得多，人们认识到这种加强来源于各种准弹性道和入射道之间的强耦合，这种耦合引起位垒高度的变化并增加了位垒穿透几率和加宽了贡献于熔合反应的自旋分布。Vandenbosch等在 $^{16}\text{O}+^{232}\text{Th}$ 和 $^{12}\text{C}+^{238}\text{U}$ 的裂变碎面角分布研究中看到了碎片角分布的各向异性和自旋均方值 $\langle I^2 \rangle$ 都远大于计及上述各种耦合效应后的计算结果。他们指出，垒下熔合反应研究中的自旋分布比起激发函数来对各种模型有更为严厉的检验。我们把这

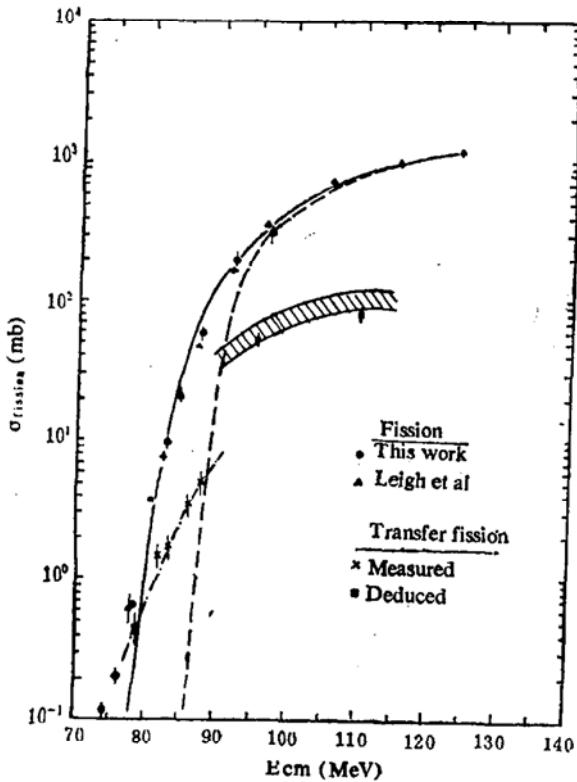


图2.  $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$ 熔合裂变激发函数

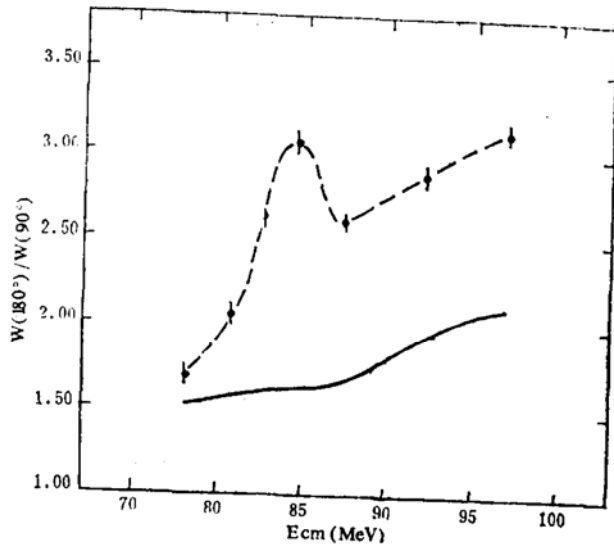


图3.  $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$ 熔合裂变角分布  
各向异性对能量的关系

类研究扩展到多个其他碰撞体系，特别是推展到垒下的更低能区，看看有没有新的信息。

已经完成的测量有：

- 甲、 $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$ ,  $E_{lab}(^{19}\text{F})=85-105\text{Mev}$   
(九个能点)；
- 乙、 $^{12}\text{C}+^{237}\text{Np}$ ,  $E_{lab}(^{12}\text{C})=60-80\text{Mev}$   
(七个能点)；
- 丙、 $^{19}\text{F}+^{203}\text{Pb}$ ,  $E_{lab}(^{19}\text{F})=88-105\text{Mev}$   
(四个能点)。

实验中使用了固体径迹探测器。在 $\theta_{lab}-90^\circ-176^\circ$ 测量裂变碎片，用金硅面垒探测器在小角区测纯库伦散射以求截面绝对值。其中第一与第二两个碰撞体系形成的熔合体系是相近的，分别为 $^{261}\text{Es}$ 和 $^{249}\text{Es}$ 。测得了近垒和垒下熔合裂变碎片的角分布及激发函数，见图2。

以耦合道理论拟合实验上获得的熔合裂变激发函数，可以得到各种分波的穿透系数，从而预言了角分布。这样预言的角分布低估了实验测得的各向异性的程度。也就是说，从实验各向异性推得的自旋分布 $\langle I^2 \rangle$ 是几倍于上述从耦合道拟合所预言的 $\langle I^2 \rangle$ 。这一点是与Vanden bosch的结论相一致的。

特别有兴趣的是对于 $^{19}\text{F}+^{232}\text{Th}$ 体系，

测到了垒下相当低的能区，我们观察到了一个异常现象，即在各向异性  $W(180^\circ)/W(90^\circ)$  对质心系能量的曲线上看到了一个位于  $E_{cm} \sim 85\text{MeV}$  的峰，见图3。这是现存的理论都无法进行解释的。

## 2、奇质子核高自旋态谱学中带交叉频率异常的研究

随着角动量增加原子核结构的演变情况是近年来低能核物理研究中最为瞩目的领域之一。其中在带交叉现象方面已做出了大批成果。对于稀土区，极大部分数据是关于偶偶核的。也已有一批奇中子核的数据。关于奇中子核，由于多了一个中子准粒子，对于  $i_{13/2}$  中子的拆对和顺排过程中出现了一个“阻塞”效应，使得带交叉频率在奇中子核情况要比在偶偶核情况约低40KeV。关于奇质子核，已有的数据并不多，或者可以预想这个奇质子对于  $i_{13/2}$  中子的拆对和顺排不会引起“阻塞效应”。已有的数据表明，大部分情况确实是这样。但已看到了一些反常例子而且都出现在质子的 Nilson 组态为  $[541]_{1/2}$  带的情况。我们准备系统地研究这种现象，而且对奇质子高自旋态谱学的研究还可以得到很多诸如M1跃迁机率等有意义的的数据。

实验是我们HI—13加速器及英国Daresbury国家实验室上分别进行的。已完成的实验测量有：

- 甲、通过  $^{166}\text{Gd}(^{18}\text{F}, 5n)^{169}\text{Ta}$  反应和  $^{122}\text{Sn}(^{51}\text{V}, 4n)^{169}\text{Ta}$  反应研究  $^{169}\text{Ta}$  核
- 乙、 $^{148}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 4nr)^{163}\text{Lu}$  反应研究  $^{163}\text{Lu}$  核
- 丙、 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 4nr)^{175}\text{Ta}$  反应研究  $^{175}\text{Ta}$  核

实验中使用了裸高纯锗探测器、HPGe-BGO反康谱仪、反冲质量谱仪等，测量了一些激发函数和某些角分布，而更主要的是测量了多个探头的  $\gamma$ - $\gamma$  符合谱。

从已经分析出来的数据，为  $^{169}\text{Ta}$  核建立了三个转动带。分别确定其组态为  $[541]_{1/2}^-$ ， $[514]_{9/2}^-$  以及  $[402]_{5/2}^+$  (或

$[404]_{7/2}^+$ )，见图4。

对于  $^{169}\text{Ta}$ ，建立于  $i_{13/2}$  准中子  $[541]_{1/2}^-$  带上的带交叉频率测得为  $\hbar\omega_c \sim 0.305\text{MeV}$ ，比起其相邻的二个偶偶核  $^{168}\text{Hf}$  和  $^{170}\text{W}$  的情况分别高了45KeV和40，见图5。这与这个区域所有  $[541]_{1/2}^+$  组态带出现反常现象是一致的。

对于  $^{169}\text{Ta}$ ， $^{171}\text{Ta}$  和  $^{173}\text{Ta}$  三个核，这种

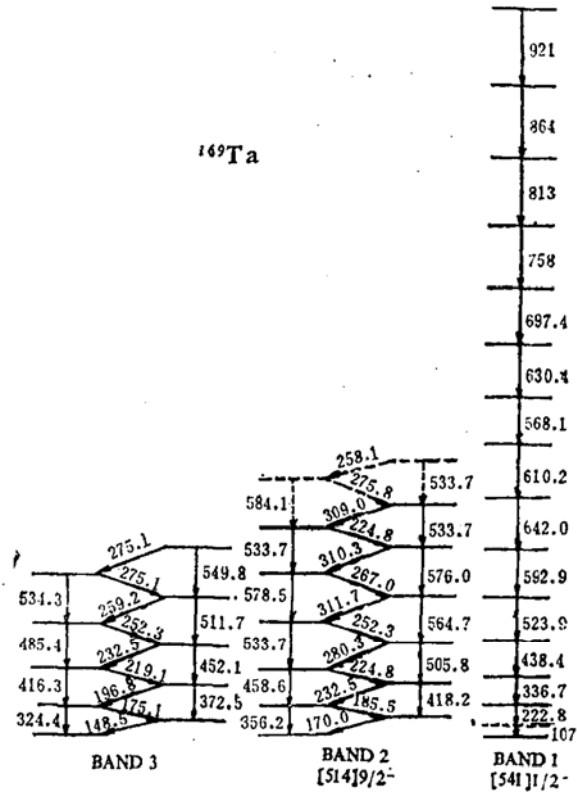


图4. 建立的  $^{169}\text{Ta}$  衰变纲图

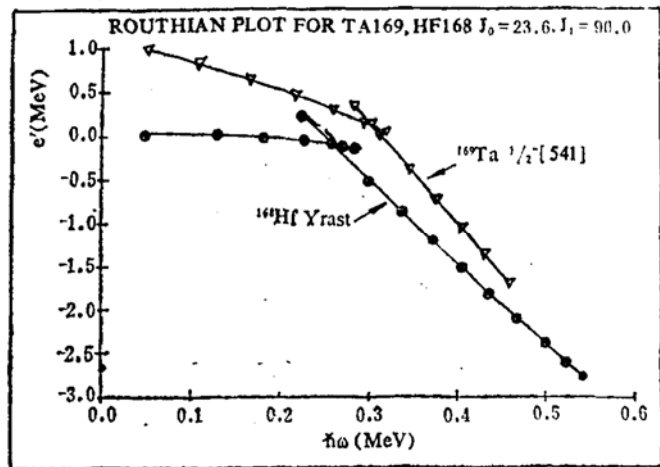


图5.  $^{169}\text{Ta}$  的返回频率和相邻的偶偶核  $^{168}\text{Hf}$  的情况的比较

反常的  $\Delta \hbar \omega_c$  分别为 -42、-13 和 -55 KeV。目前用 CSM 理论进行的计算结果尚不能解释这个变化规律。试图用中子核实的极化的不同来解释。

- 3、 $^{60}\text{Co}(p, n)^{60}\text{Ni}$  反应研究能级密度；
- 4、 $n + ^{238}\text{U}$  次级中子能谱测量；
- 5、 $^{16}\text{O} + ^{64}\text{Ni}$  非完全深部非弹性碰撞；
- 6、用背散射研究陨石中的超重元素；
- 7、 $^3\text{He}(^{12}\text{C}, n)$  中子源的实验探索；

- 8、 $^{12}\text{C}(n, n)$ ,  $(n, n_1)$  角分布测量；
- 9、 $^{238}\text{U}(n, f)$  裂变产额测定；
- 10、 $^{89}\text{Y}(\alpha, \alpha')$  非弹性散射及微观壳模型分析；
- 11、 $^{31}\text{P}$  轰击  $^{12}\text{C}$  来寻找新的共振结构；
- 12、 $^{238}\text{U}(n, fn)$  能谱测量；
- 13、 $\text{Cd}(d, x)$ ,  $\text{Ag}(d, x)$  激发函数测量；
- 14、Nd 重离子辐射损伤研究；
- 15、其他。