

## 中等质量热核三重碎裂\*

戴光曦 吴和宇 段利敏 李祖玉 贺智勇 罗清政 张保国

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1995-06-15 收稿

### 摘 要

在  $25\text{MeV/u}$   $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 、 $^{103}\text{Rh}$ 、 $^{93}\text{Nb}$  反应中对三重碎裂事件做了测量。用 10 块  $25\text{cm} \times 20\text{cm}$  位置灵敏平行板雪崩计数器 (PPAC) 组成的探测系统对中等质量热核其出射角大于  $32^\circ$  的三重碎片, 做了关联测量。裂片总动能 ( $TKE$ ), 三体与二体的产额比 ( $P_{32}$ ), 裂片质量、速度、关联角分布等量均由实验测得。从裂片质量比可粗略得到一个简单的经验表达式。利用一个简单的时-空模型对角关联函数进行模拟提取出了三体事件中两断点的时间差。在热核中  $P_{32}$  相对于  $Z^2/A$  表现出较好的系统性。

**关键词** 热核, 三重碎裂, 角关联函数, 核物质的结团化, 两断点时间差。

### 1 引 言

在中能重离子核反应产生转动热核的研究中, 三裂或多重碎裂是人们感兴趣的前沿领域。本文研究客体为单体热核, 不是双热核或热核物质; 后者存在于  $\text{Au} + \text{Au}$ 、 $\text{Au} + \text{Pb}$  反应中。一个引起争论的问题是这种单体热核碎裂是否是一种新的衰变模式, 即为真实三体碎裂, 还是二体级联裂变<sup>[1]</sup>。

最近, 对  $A=120$  的热核的热容量的测定表明, 在激发能大于  $2.4\text{MeV/u}$  时, 热容量  $C_v (=dE/dT)$  随温度  $T$  快速上升<sup>[2]</sup>。这时似乎核物质发生汽化和膨胀。在这种激发态下, 膨胀的核物质是不可逆的, 在密度涨落下将出现结团。结团化可能导致多重碎裂, 这是一个很重要的问题。

由于质量数  $A$  大于 200 的重核已经有了数据, 所以我们所研究的热核, 质量数  $A$  为 120—145; 它们的激发能为  $3.6—4.2\text{MeV/u}$ , 处于结团化的区域<sup>[3,4]</sup>。结团化可能是一个时间刻度小于  $100\text{fm}/c$  的动力学过程, 在这以后, 统计模型如通用的 GEMINI 等程序预言统计过程将起重要的作用。

由于人们把不同的反应过程统称为多重碎裂, 例如动力学多重碎裂、弹核多重碎裂、双热核系统 (如  $\text{Au} + \text{Au}$ 、 $\text{Au} + \text{Xe}$ ) 多重碎裂、伴随有准弹性碰撞 (QE) 和深部非弹性碰撞 (DIC) 的跟随裂变等。因而我们特别提出, 在此只考虑与一个高激发的复合核有

\* 国家自然科学基金和中国科学院近代物理研究所所长基金资助。

关的过程. 为了形成单个的复合核并测量其多重裂变衰变, 选择一个非对称反应系统要优于对称系统, 对于非对称系统其完全与非完全熔合截面较大. 对于重的热核 D. Guerreau 等人在 GANIL<sup>[5-7]</sup> 测量了 30 和 60 MeV/u  $^{40}\text{Ar} + ^{197}\text{Au}$  反应中的三体 and 四体碎裂, 戴光曦小组在中国科学院近代物理研究所的重离子加速器上测量了 25 MeV/u  $^{40}\text{Ar} + ^{209}\text{Bi}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{159}\text{Tb}$  反应中<sup>[8,9]</sup> 的多重碎裂. 对于中等质量数的热核, 只有很少量的数据. 实验中区分了统计的复合核过程与直接过程, 如伴随有 DIC 和 QE 的裂变是很重要的. 在实验中通过选择探测器的角度, 例如只记录发射角大于  $32^\circ$  的裂片. 如果一个三体事件是跟随 DIC 和 QE 的裂变, 由于类弹碎片是向前角发射, 那么这三个碎片不会被同时探测到, 因此被排除掉了.

复合核的裂片质量分布有可能作为裂变机制的标识量. 例如在 12.5 MeV/u  $^{84}\text{Kr} + ^{166}\text{Er}$  与  $^{129}\text{Xe} + ^{122}\text{Sn}$  反应中<sup>[10]</sup>, 三个重碎片的质量比分别为 23.2%、23.2%、53.6% 和 31.5%、30.7%、37.9%. 由于反应是一个伴随有大量能量损失的 DIC 的跟随裂变过程, 因此最重的裂片是一个类弹裂片, 而另两个具有相同质量的裂片是一对二裂产物. 另外由两断点测得的反应时间为  $1 \times 10^{-21}\text{s}$  (300 fm/c), 也表明这是一个快过程.

在本文的第三部分给出了三体碎裂中的裂片质量比, 并给出一个裂片质量划分的经验公式“三分整型规则”.

在二裂过程中形变只是沿着一条轴进行, 而且是轴对称的. 但在多重碎裂中假设形变沿着一个平面的两条轴或空间中的三条轴进行, 分别对应于三重或四重碎裂, 两个断点时间有可能不同, 并由裂片的相对角分布推导出. 第四部分将讨论三重碎裂断点时间差的确定. 现有的用相对角分布仅可确定时间差, 不能确定反应时间. 后者还应加上从碰撞到第一断点的时间.

## 2 实验方法和探测器布置

实验是在中国科学院近代物理研究所重离子加速器(HIFEL)上进行的. 从加速器引出的 25 MeV/u  $^{40}\text{Ar}$  束流进入一个大型筒形散射室(直径 2.4 m, 长 6.5 m)<sup>[11]</sup>. 选用的靶为  $^{115}\text{In}$ 、 $^{103}\text{Rh}$ 、 $^{93}\text{Nb}$ , 厚度依次为 1040、650、470  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , 流强为 10 nA.

作为裂片探测器的 10 个位置灵敏平行板雪崩计数器(PPAC), 其布局如图 1 所示. 每块 PPAC 的灵敏面积为  $25\text{cm} \times 20\text{cm}$ , X 和 Y 的分辨率都为 4 mm, 径向和轴向覆盖的角度分别为  $26^\circ$ 、 $21^\circ$ . 由 6 块 PPAC 组成一个围绕束流轴的探测器环, 其中心位于径向  $45^\circ$ , 相邻 PPAC 的轴向夹角为  $60^\circ$ . 另外 4 块 PPAC 分别放置于束流两侧, 中心角  $(\theta_0, \varphi_0)$  分别为  $(119.0^\circ, 0.0^\circ)$ 、 $(81.5^\circ, 0.0^\circ)$ 、 $(117.8^\circ,$

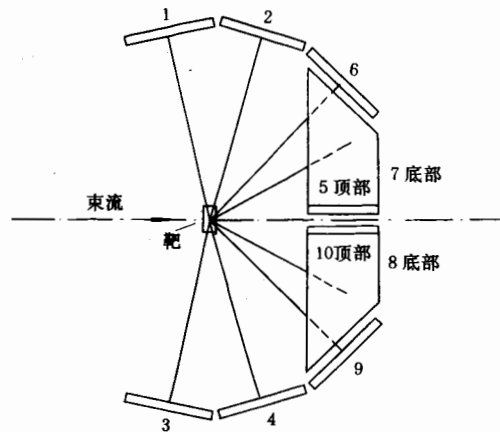


图1 PPAC 探测器布局  
探测器环由 5<sup>#</sup> 到 10<sup>#</sup> PPAC 组成.

180.0°)、(81.0°, 180.0°). 在实验室系中, 探测角从 32.0° — 129.1°. 由文献[12]估算的对一块 PPAC 在测量三体碎裂时的双击事件几率为 1.6%, 可以忽略. PPAC 作关联裂片测量的有效性已为许多裂变实验和准裂变实验所证实<sup>[13]</sup>. 这时直接测定量是裂片速度的大小与方向, 数据再构时解运动学方程可得到质量. 考虑到线性动量的不完全转移对总质量的修正和轻粒子蒸发不改变裂片最可几速度, 所以用 PPAC 作三裂测量可得到热核形成时总质量被裂片的分享. 若改用望远镜探测系统, 得到轻粒子蒸发后的裂片  $Z$  值, 但是不知道裂片原始质量. 两种方法各有利弊.

### 3 实验结果

在 25MeV / u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 、 $^{103}\text{Rh}$ 、 $^{93}\text{Nb}$  反应中已经得到了三重碎裂的裂片质量分布. 为了在不同的复合核质量  $M_t$  下进行对比, 表 1 给出了裂片质量比  $M_{f_i} / M_t$ , 用以代替裂片平均质量  $M_{f_i}$ . 从 In 靶测出的裂片质量谱可见, 对中等质量裂片大致为总质量的 1/3(31.5%), 轻裂片与重裂片分别为 19.4% 和 49.1%. 碎裂前的质量定义为复合核质量减去蒸发的轻粒子质量. 这里对不同的靶系统均取蒸发粒子的质量为 21. 通过 GEMINI 程序模拟, 要耗散掉 60% 的激发能, 蒸发的轻粒子质量为 21. 所以我们对数据再构得到的碎片质量作相应的减缩.

表 1 25MeV / u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ 、 $^{103}\text{Rh}$ 、 $^{93}\text{Nb}$  反应中三组裂片的平均质量比  $M_{f_i} / M_t$  以及在质心系中的平均速度分布  $v_i$

项目	靶	$f_1$	$f_2$	$f_3$
$M_{f_i} / M_t$ (%)	$^{115}\text{In}$	19.4	31.5	49.1
	$^{103}\text{Rh}$	20.1	31.3	48.6
	$^{93}\text{Nb}$	18.7	33.0	48.2
	1/3Law <sup>(a)</sup>	22.2	33.3	44.4
$v_i$ (cm / ns)	$^{115}\text{In}$	2.25	1.77	1.25
	$^{103}\text{Rh}$	2.46	1.96	1.40
	$^{93}\text{Nb}$	2.37	1.98	1.52

(a) 1/3 整形规则.

从表 1 可以看出, 不同的靶裂片质量比变化不大. 如果定义一个 1/3 整形规则: 三个裂片质量依次是 (2, 3, 4) / 3<sup>2</sup>, 即 22.2%、33.3%、44.4%, 它与实验结果很接近. 经过轻粒子蒸发后, 复合核的剩余激发能在 210MeV 附近, 足够越过 100MeV 的多重裂位垒<sup>[8]</sup>.

对应于 In, Rh 和 Nb 靶三重碎裂下裂片的质心速度分布也已得到. 三组裂片的平均速度列于表 1. 从中可以看出, 重碎片速度总是小于轻碎片的速度, 裂片的平均速度对三种反应系统来说, 最轻的一组为 2.11—2.46cm / ns, 最重的一组为 1.25—15.2cm / ns.

图 2 是三个系统的总动能 (TKE) 分布. 表 2 给出了各组裂片的平均动能值和 TKE, 碎片越轻则得到的动能越大. 在数据再构中, 采用了 70% 的线性动量转移 (LMT), 这

表2 25MeV / u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{93}\text{Nb}$  反应中每组裂片的平均动能以及三组裂片的总动能

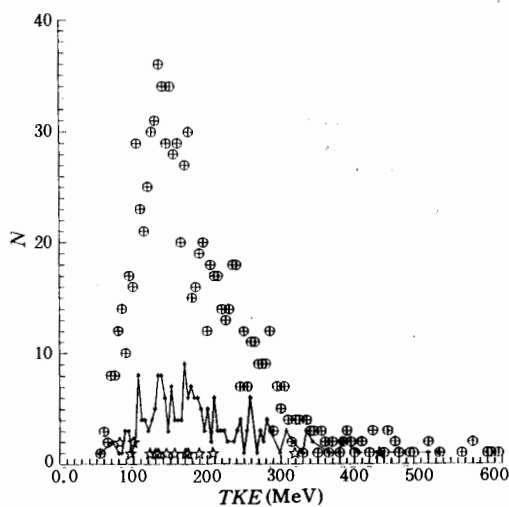
靶	$E_{k_1}$ (MeV)	$E_{k_2}$ (MeV)	$E_{k_3}$ (MeV)	$TKE$ (MeV)
$^{115}\text{In}$	79.2	64.1	49.7	185.9
$^{103}\text{Rh}$	85.6	65.8	49.5	191.8
$^{93}\text{Nb}$	79.0	59.7	48.1	175.8

表3 25MeV / u  $^{40}\text{Ar}$  入射反应中, 在 $\langle LMT \rangle = 0.7$ 时的复合核温度

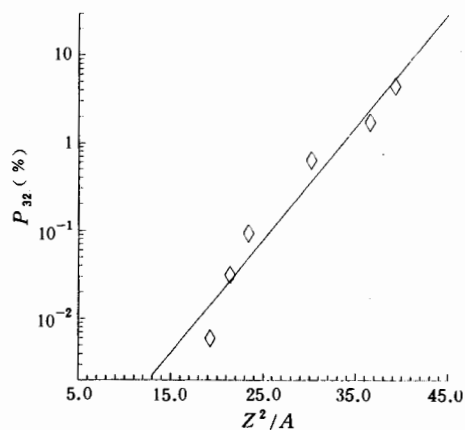
靶	$^{115}\text{In}$	$^{103}\text{Rh}$	$^{93}\text{Nb}$
复合核	$^{143}\text{Eu}$	$^{131}\text{Pr}$	$^{121}\text{Cs}$
$Q$ (MeV)	-36.65	-34.97	-31.59
$E^*$ (MeV)	526.3	515.4	506.4
$\varepsilon$ (MeV / u)	3.68	3.93	4.19
$T$ (MeV)	6.07	6.27	6.47

个值是由二体裂片的折叠角分布确定出的. 在此假设二裂与三重碎裂有相同的  $LMT$ . 如果  $LMT$  与靶核质量有关, 选用同样的  $LMT$ , 对较轻系统(Nb 靶)就会过高地估计其  $v_{\text{cm}}$  与  $TKE$ . 将三个系统的  $LMT$  分别选为 0.72、0.70 和 0.68, 平均的  $TKE$  和速度 In 靶稍小于 Rh 靶, 但大于 Nb 靶. 这  $LMT$  值的不同是由于探测器几何相同, 而轻靶的复合核更加朝前冲所造成的.

表3列出了 25MeV / u  $^{40}\text{Ar}$  入射反应中生成的热核和它的初始温度. 对不同的系统, 温度值为 6.1—6.5MeV, 这个值已经接近核温度的极限  $T_{\text{lim}}^{[14]}$ . 反应中的三碎裂与二裂变产额比  $P_{32}$  可以从探测到的三裂与二裂事件数比值和几何探测效率得到.

图2 在 25MeV / u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{93}\text{Nb}$  反应中三组裂片的  $TKE$  分布

\*  $^{40}\text{Ar} + ^{103}\text{Rh}$ ; ☆  $^{40}\text{Ar} + ^{93}\text{Nb}$ ; ⊕  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ .

图3 在 25MeV / u  $^{40}\text{Ar} + ^{93}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{209}\text{Bi}$  反应中,  $P_{32}$  与复合核  $Z^2/A$  关系图

实线为用指数函数拟合的曲线.

探测器组对不同事件的几何探测效率可以通过 Monte-Carlo 模拟获得. 在本系统中, 模拟得到 10 个 PPAC 在图 1 布局下的三体碎裂相对于二体裂变的几何探测效率, 对 In、Rh 和 Nb 靶分别为 24.97%、31.54%、46.61%. 图 3 是  $P_{32}$  与  $Z^2/A$  的关系图,  $Z$ 、 $A$  分别为复合核电荷数与质量数. 实验点在半对数坐标系中可近似地用一条直线来拟合. 图中直线的表达式为:  $\ln(P_{32}(\%)) = -9.934 + 0.2962Z^2/A$ . 表 4 列出了  $P_{32}$  与核温度, 可以看出  $P_{32}$  随着  $Z^2/A$  的减小, 呈指数减小. 这可能是三重碎裂位垒增高的原因. 在文献[8]中, 三裂位垒  $B_{3f}(A)$  是一个减函数. 在  $A=120-250$  的区域, 温度为 5MeV 时, 对称三重碎裂位垒可以表示为:  $B_{3f} = 159.3 - 0.573A$  (MeV), 即  $A$  越小位垒越高. 因此, 在给定的激发能下, 三重碎裂几率会随着复合核质量的减小而降低, 并且与可裂变参量  $Z^2/A$  有关. 所以它是与裂变相类似的一种统计过程.

表 4 25MeV/u  $^{40}\text{Ar}$  入射反应中,  $P_{32}$ 、断点时间差  $t$  和每核子激发能  $\varepsilon$

靶	$^{115}\text{In}$	$^{103}\text{Rh}$	$^{93}\text{Nb}$	$^{197}\text{Au}$	$^{197}\text{Tb}$
$P_{32}$ (%)	0.095	0.032	0.006	1.79	0.65
$\Delta t$ (fm/c)	50			300	500
$\varepsilon$ (MeV)	3.68	3.93	4.19	2.70	3.10

Ar+In 反应中三重碎裂相对角分布显示于图 4 中. 由于统计性限制, 这里只对 Ar+In 系统的裂片角关联数据进行了分析, 以此提取碎裂时间信息.

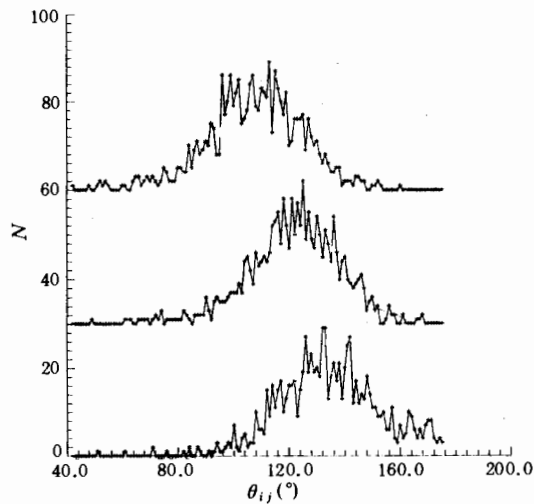


图 4 25MeV/u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$  反应中三组裂片在质心系中的相对角分布

从上到下依次为  $\theta_m$ 、 $\theta_b$  和  $\theta_m$ .

## 4 讨论与结论

下面利用三个裂片的角关联数据来确定断点时间差  $t = t_2 - t_1$ , 其中  $t_1$ 、 $t_2$  分别为断

点1和断点2的断裂时间. 考虑半径常数  $r_0 = 1.8\text{fm}$  的三个球体的断点构形, 它们的相对位置可以取直线形、三角形、‘7’形等, 断点后只考虑库仑相互作用, 这就是我们的时空模型. 各种位置构形的权重取为  $2\pi R_w$ ,  $R_w$  是  $f_1$  与  $(f_2+f_3)$  的表面接触点绕  $(f_2+f_3)$  结团的对称轴转动的环绕半径. 如果  $f_3$  是重裂片,  $f_1$  是轻裂片, ‘7’形的权重最大为  $R_w = R_3$ . 在下面计算中, 下标 1、2、3 可以取轻裂片、中等裂片与重裂片的各种可能的组合.

求解联立的动力学微分方程组, 考虑三个裂片所有可能的相对位置、 $(f_2+f_3)$  集团在裂开前的转动并随时跟踪每一个裂片. 相对角分布  $N(\theta_{ij}, t)$  可以由探测器几何条件和测到的裂片质量谱重新定出. 角关联函数定义为:  $N(\theta_{ij}, t) / N(\theta_{ij}, t = \infty)$ , 它是上述断点构形计算出来的函数. 由图4所示的三组相对角分布可以得出一个平均角分布  $WD(\theta_{ij})$ , 而后就可以得出一组实验角关联数据  $WD(\theta_{ij}) / N(\theta_{ij}, t = \infty)$ , 它由带误差棒的点显示于图5中.  $t$  是独立变量. 图中  $t=0$  时, 有两个峰出现, 窄峰对应于三个球,  $f_1$  与  $(f_2+f_3)$  有两个接触点; 宽峰仅对应于一个触点. 图中也显示出, 对  $25\text{MeV}/u \text{ Ar} + \text{In}$  系统  $t = 50\text{fm}/c$  较好地拟合了实验数据. 在文献[15]中采用上述方法对  $25\text{MeV}/u \text{ }^{40}\text{Ar} + \text{}^{197}\text{Au}$ 、 $\text{}^{199}\text{Tb}$  反应系统拟合得到的  $t$  分别为  $250 - 300\text{fm}/c$  和  $500\text{fm}/c$ .

通过对轻粒子发射和裂变竞争的测量, D. Hilscher 等人发现<sup>[16,17]</sup> 裂变时间尺度不仅被一般的统计规律支配, 而且还带有一定的动力学时间延迟. 在二体裂变的断

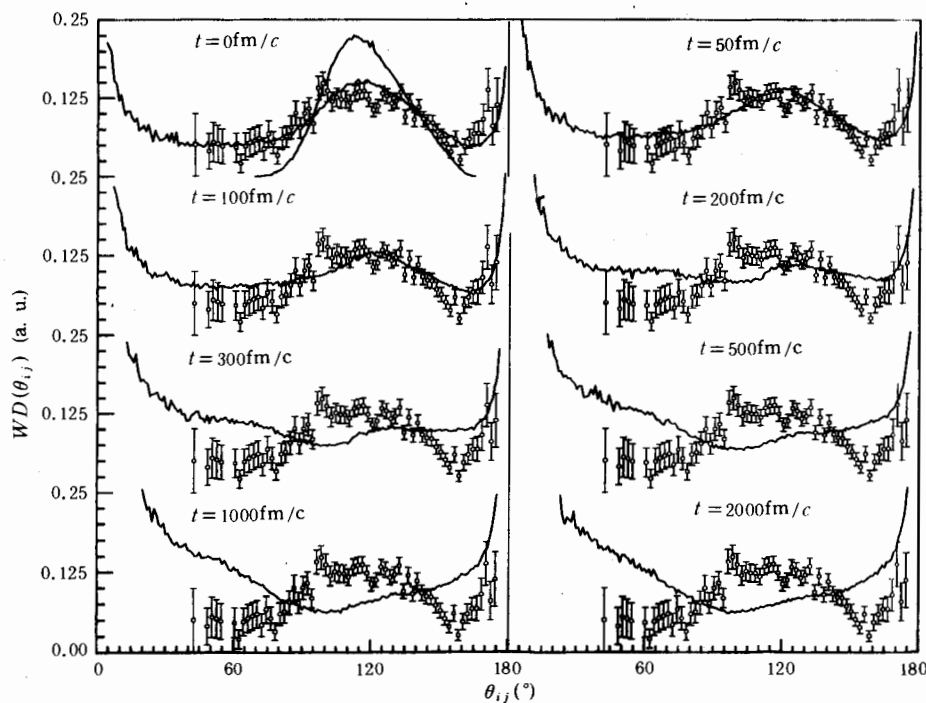


图5  $25\text{MeV}/u \text{ }^{40}\text{Ar} + \text{}^{115}\text{In}$  反应中, 由不同断点时间差  $t$  计算得到的角关联函数与实验数据的比较  
带误差棒的点为实验数据.

点处, 热核已经到了退激发的末期, 即裂片比一般统计模型预言的要冷得多, 只有少量激发能被裂片带走. 这就使人们预感到裂片所剩余的激发能不足以使其进行下一次级联裂变, 即使它的激发能是由一般的统计模型如 GEMINI 所预示的. 另外, 由于初级裂片质量总是小于复合核质量, 因此它再进行级联裂变时会遇到一个较高的裂变位垒. 裂变动力学时间延迟从对称裂变的  $5 \times 10^{-22}$ s 变为非对称裂变的  $5 \times 10^{-21}$ s<sup>[16,17]</sup>. 当复合核形状没有达到完全平衡时, 由实验测出的准裂变时间为  $5 \times 10^{-21}$ s<sup>[13]</sup>. 上面提到的断点时间差对 60MeV/u 入射离子为  $2.0 \times 10^{-22}$ s<sup>[3]</sup>. 对 25MeV/u 入射离子为  $1.0 \times 10^{-21}$ s. 这个时间远小于二裂的动力学延迟时间  $5 \times 10^{-20}$ s, 也小于鞍点到断点的时间  $3 \times 10^{-21}$ s. 因此可以确定出本实验为多重碎裂, 是一个同时的整体形变, 如上文提到的 '7' 形或三角形形变. 由测量的三体碎裂很短的断点时间差可以看出, 在第一次断裂时, 另一个鞍点已经形成. 这种同时的整体形变可能是由于热核内部的结团化形成异形形变. 由此分析可以看出三重与四重碎裂在  $t$  小于  $1000\text{fm}/c$  都可看作一个整体多重碎裂过程: 即整体形变两断点存在时差; 而不可能是级联或跟随裂变: 二裂后其中一裂片再次裂变(此刻  $t$  大于  $5000\text{fm}/c$ ). 对 25MeV/u Ar 离子引起反应的三重碎裂的断点时间差测量值见表 4. 作为总结, 我们给出的结论是:

(1) 通过对角关联数据的分析, 对于 In 靶得出三重碎裂是一个瞬发的快过程, 断点时间差仅为  $50\text{fm}/c$ , 这显示出高的核温度对碎裂起了加速作用.

(2)  $P_{32}$  与复合核电荷数  $A$ 、质量数  $Z$  有很强的依赖关系. 在核温度 5—6MeV 时得出的一个表达式为:  $P_{32} = \exp(-9.934 + 0.2962Z^2/A)$ .

(3) 在高激发态时裂变的裂片平均质量趋于相等, 但对于三重碎裂在高激发态下三块碎片的平均质量并不相同. 这时从三重碎裂的裂片质量分布得出一个经验公式, 称为三分整型规则, 即裂片质量依次为  $(2, 3, 4)/3^2$ .

## 参 考 文 献

- [1] A. Diehl W. Greiner, *Nucl. Phys.*, **A229**(1974)29.
- [2] J. B. Natowitz, *et al.*, proc, in Cancun Meeting of American, Mexican, Canadian Physical Societies on Sept. 1994.
- [3] J. B. Natowitz *et al.*, *Phys. Rev.*, **C48**(1993)2074.
- [4] D. H. E. Gross, *Nucl. Phys.*, **A553**(1993)175c.
- [5] D. Guerreau, AIP Conf. Proc. 250, Towards a Unified Picture of Nucl. Dynamics, 347 (1991) Nikko Japan.
- [6] G. Bizard *et al.*, Preprint, LPCC 91—10.
- [7] M. Louvel *et al.*, Preprint, LPCC 93—05.
- [8] G. X. Dai *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A583**(1995)173.
- [9] 戴光曦、吴和宇等, 高能物理与核物理, **18**(增刊)(1994)20.
- [10] P. Glassel, D. V. Harrach, H. J. Specht *et al.*, *Zeit. Phys.*, **A310**(1983)189.
- [11] 戴光曦、陈克良等, 核技术, **18**(1995)220.
- [12] G. B. Hagamann, R. Broda, B. Herskind *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A245**(1975)166.
- [13] J. Toke, R. Bock, D. X. Dai *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A440**(1985)327.

- [14] H. R. Jaqaman, *Phys. Rev.*, **C40**(1989)1677.  
[15] G. X. Dai *et al.*, Multi fragment emission from hot compound nuelei, submitted to *Phys. Rev.*  
[16] D. Hilscher, H. Rossner, B. Cramer *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **62**(1989)1099.  
[17] D. J. Hinder, D. Hilscher, H. Rossner, Nuclear Dynamics and Nuclear Dissemble, J. B. Natowitz editor, World Scientific (1989).

## The Threefold Fragmentation of Hot Nuclei With Medium Mass Number

Dai Guangxi    Wu Heyu    Duan Limin    Li Zuyu    He Zhiyong  
Luo Qingzheng    Zhang Baoguo

(*Institute of Modern Physics, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Received 15 June 1995

### Abstract

The threefold fragmentation in hot nuclei with medium mass number has been measured in 25MeV/u  $^{40}\text{Ar} + ^{115}\text{In}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{93}\text{Nb}$  reactions. The fragments emitted at angles larger than  $32^\circ$  were detected by ten parallel plate position-sensitive avalanche counters (PPAC) with area of  $25 \times 20\text{cm}^2$  for each. The quantities of total kinetic energy (*TKE*), the yield ratio of threefold over fission  $P_{32}$ , the distributions of fragment mass, velocity and relative angle etc. were obtained. From the mass ratio of the fragment, a simple empirical expression could be deduced. By analyzing their angular correlation function with a simple space-time model, the time difference between the two scission points in threefold process for Ar+In system were derived. A systematics of  $P_{32}$  versus  $Z^2/A$  for hot nuclei was observed.

**Key words** hot nucleus, threefold fragmentation, angular correlation function, clusterization of nuclear matter, time difference between two scissions.