

# 135MeV/u<sup>12</sup>C 和铁相互作用中 靶余核的质量分布\*

秦芝 李文新 赵莉莉 文万信 罗清政 孙彤玉

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

安部静子 大久保嘉高 岩本正子 小林羲男 安部文敏

(日本理化学研究所 埼玉县和光市 351-01)

1994-05-21 收稿

## 摘 要

用核化学技术测定了 135MeV/u<sup>12</sup>C 和铁相互作用中的靶余核的生成截面, 通过高斯电荷分布函数得到了靶余核的质量分布. 与 46MeV/u<sup>12</sup>C + Cu 相比, 发现  $A < 30$  质量区的产额明显增加, 且产物有偏向丰中子一侧的趋势. 实验测定的质量分布与熔合碎裂模型和级联两体模型的计算结果进行了比较, 结果似乎表明在很高入射能情况下多重碎裂衰变是  $A < 30$  靶余核生成的主要反应机制.

**关键词** <sup>12</sup>C + Fe 相互作用, 质量分布, 熔合碎裂统计模型, 级联两体统计模型.

## 1 引 言

重离子反应中靶余核的质量分布是描述反应机制演化的一个重要特征, 对中能区靶余核质量产额分布的研究不仅能够提供反应动力学由单体平均场机制到核子-核子碰撞两体机制的演化信息, 而且有助于了解非完全熔合热复合核的形成及其衰变模式. 对中能重离子碰撞中产生的高激发核(称作热核)的衰变方式的研究, 是当前核物理界的热门课题之一. 根据现有的一些理论预言, 当热核的温度, 或者激发能接近核的总结合能时, 就会出现一种新的所谓“多重碎裂”衰变模式<sup>[1]</sup>. 但是, 在低激发能情况下, 重核会发生裂变, 而且随激发能的增加, 裂变几率增加, 这一点在低能重离子实验中得到了证明. 当入射炮弹的能量进一步增加到几十 MeV/u 时, 发现裂变截面反而减小<sup>[2]</sup>. 人们很自然地会提出热核的解体过程是如何由两体裂变过渡到多重碎裂的? 有人怀疑, 在 100MeV/u 以下的入射能区, 甚至在更低入射能区就会发生多重碎裂, 但确有实验结果表明入射能大于 40MeV/u 时, 重系统产生的热核衰变是以多重碎裂为主<sup>[3]</sup>.

\* 国家自然科学基金资助.

萨本豪等人将熔合-碎裂统计模型 (Statistical fusion fragmentation model) 有效地推广到中能重离子碰撞中形成热核的衰变行为研究, 成功地再现了  $35\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Cu}$  反应靶碎片的质量分布<sup>[4,5]</sup>。近物所核化学组和原子能研究院合作在能量和靶质量数方面将该模型的适用范围进一步拓宽, 成功地再现了  $44\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Cu}$ <sup>[6]</sup>,  $47\text{MeV}/u^{12}\text{C} + {}^93\text{Nb}$ <sup>[7]</sup> 反应的质量分布, 这是对热核解体时发生多重碎裂模式强有力的支持。该模型迄今计算出最高入射能为  $86\text{MeV}/u^{12}\text{C}$  与  $\text{Cu}$  相互作用的质量分布<sup>[9]</sup>。进一步提高炮弹的入射能, 把熔合-碎裂统计模型的适用范围伸展到更高的能区, 是很有意义的。

另一方面, 基于统计理论的相继两体衰变模型 (Sequential binary decay model) 在描述热核衰变时也取得了很大的成功。近物所核化学组用基于该模型和 Monto Carlo 技术的 GEMINI 程序<sup>[8]</sup> 首次成功地再现了  $42\text{MeV}/u^{12}\text{C} + {}^{115}\text{In}$  反应整个靶碎片的质量分布<sup>[9]</sup>, 但理论计算中使用了若干可调参数。之后, 对计算方法作了进一步改进, GEMINI 程序又一次成功地再现了  $20-46\text{MeV}/u$  的  ${}^{12}\text{C}$  与  $\text{Cu}$  相互作用的靶余核质量分布<sup>[10]</sup>, 只是该模型似乎低估了实验测到的中等质量碎片的产额。对于更高能量的碰撞系统, 或许会暴露更多的矛盾, 从而可进一步检验和发展这些描述热核衰变的统计模型。

本文使用核化学方法研究了  $135\text{MeV}/u^{12}\text{C}$  和天然铁相互作用中靶碎片的质量分布, 实验数据同时与熔合碎裂统计模型和相继两体衰变模型的计算结果进行了比较, 以便更好地了解有关中能区高能端的重离子碰撞中热核形成和衰变的一些特征。

## 2 实 验

靶组由三片天然铁箔叠在一起组成, 每片铁箔的厚度为  $15.7\text{mg}/\text{cm}^2$ , 纯度为  $99.9\%$ 。照射是在日本理化学研究所 (RIKEN) 的 Ring Cyclotron 上进行的。 ${}^{12}\text{C}$  离子的能量为  $135\text{MeV}/u$ 。照射分长、短照射, 照射时间分别为  $48.8\text{min}$  和  $6.2\text{min}$ 。束流强度用电流积分器周期性地记录, 总积分束流分别为  $330.4\mu\text{C}$  和  $13.4\mu\text{C}$ 。照射结束后, 靶子由 Falling Ball Irradiation System 传送到实验室, 该系统可将照射过的靶子在大约一分钟之内从辐照位置传送到实验室。取中间一片铁靶作直接  $\gamma$  测量。需要指出的是这种靶组安排可以忽略反应产物的反冲损失。因为虽然中间靶的前、后冲产物反冲后, 分别被最后一块靶和第一片靶收集, 但第一片靶的前冲产物和最后一块靶的后冲产物亦被中间靶收集, 对中间铁靶来说, 两者相互抵消。

靶子的  $\gamma$  活性在理化学研究所用效率已刻度过的 HPGe  $\gamma$  射线能谱仪测量。照射结束  $2\text{min}$  后开始  $\gamma$  活性测量, 测量持续 1 个月。 $\gamma$  能谱是在 RIKEN 的 FACOM M 1800 计算机上使用 BOB 程序分析的<sup>[11]</sup>。衰变曲线的分解是用 SAMTAU 程序在 Tektronix-4011 图示终端上进行的, 放射性核素的鉴定、产额的计算等数据处理工作用以前描述过的方法<sup>[12]</sup> 在近物所 VAX-8350 计算机上完成。计算产额所用的核数据引自文献 [13]。

## 3 结 果

### 3.1 截面

实验中鉴别了  ${}^{22}\text{Na}$  到  ${}^{57}\text{Co}$  共计 37 个放射性核素, 表 1 列出了这些核素的生成截面。

表 1  $^{135}\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Fe}$  反应产物的生成截面

核素	测量截面 (mb)	类型	独立产额 (mb)	质量产额 (mb)	核素	测量截面 (mb)	类型	独立产额 (mb)	质量产额 (mb)
$^{22}\text{Na}$	$5.78 \pm 0.92$	C+	$5.51 \pm 0.87$	$14.0 \pm 2.2$	$^{47}\text{Ca}$	$0.09 \pm 0.07$	C-	$0.09 \pm 0.07$	$0.09 \pm 0.07$
$^{24}\text{Na}$	$7.36 \pm 0.80$	C-	$6.63 \pm 0.72$	$10.8 \pm 1.2$	$^{48}\text{Sc}$	$0.80 \pm 0.09$	I	$0.80 \pm 0.09$	$70.3 \pm 7.5$
$^{24}\text{Ne}$	$0.27 \pm 0.18$	C-	$0.27 \pm 0.18$		$^{48}\text{V}$	$37.6 \pm 2.2$	C+	$34.8 \pm 3.5$	
$^{27}\text{Mg}$	$3.04 \pm 0.28$	C-	$3.04 \pm 0.30$	$10.5 \pm 1.1$	$^{48}\text{Cr}$	$1.48 \pm 0.12$	I	$1.48 \pm 0.15$	
$^{28}\text{Mg}$	$0.65 \pm 0.04$	C-	$0.65 \pm 0.06$	$10.6 \pm 1.1$	$^{49}\text{Cr}$	$11.3 \pm 0.9$	C+	$11.3 \pm 1.1$	$84.3 \pm 8.4$
$^{28}\text{Al}$	$13.7 \pm 1.80$	C-	$13.2 \pm 1.80$		$^{51}\text{Cr}$	$81.2 \pm 9.3$	C+	$66.8 \pm 7.7$	$91.1 \pm 10.4$
$^{29}\text{Al}$	$5.38 \pm 0.75$	C-	$5.38 \pm 0.75$	$15.8 \pm 2.2$	$^{51}\text{Ti}$	$0.29 \pm 0.17$	C-	$0.29 \pm 0.17$	
$^{34}\text{MCl}$	$2.44 \pm 0.19$	C+	$1.76 \pm 0.19$	$13.5 \pm 6.0$	$^{52}\text{Mn}$	$24.1 \pm 1.1$	I	$24.1 \pm 1.1$	$123.6 \pm 13.8$
$^{38}\text{S}$	$0.07 \pm 0.02$	I	$0.07 \pm 0.02$	$14.0 \pm 4.5$	$^{52}\text{Mn}$	$0.10 \pm 0.02$	I	$0.10 \pm 0.02$	
$^{38}\text{Cl}$	$3.76 \pm 0.53$	C-	$2.97 \pm 0.96$		$^{52}\text{Fe}$	$1.24 \pm 0.13$	I	$1.24 \pm 0.13$	
$^{39}\text{Cl}$	$1.04 \pm 0.09$	I	$1.04 \pm 0.10$	$27.7 \pm 2.8$	$^{53}\text{Fe}$	$9.97 \pm 1.41$	C+	$9.88 \pm 1.40$	$124.2 \pm 18.0$
$^{41}\text{Ar}$	$1.24 \pm 0.14$	C-	$1.23 \pm 0.14$	$29.2 \pm 3.4$	$^{53}\text{Mn}$	$0.66 \pm 0.31$	C+	$0.65 \pm 0.31$	
$^{42}\text{K}$	$7.20 \pm 0.87$	I	$7.20 \pm 0.87$	$25.6 \pm 3.1$	$^{54}\text{Mn}$	$72.5 \pm 8.3$	I	$72.5 \pm 8.3$	$116.6 \pm 13.0$
$^{43}\text{K}$	$2.50 \pm 0.16$	C-	$2.47 \pm 0.25$	$39.6 \pm 4.0$	$^{55}\text{Co}$	$1.34 \pm 0.10$	C+	$1.34 \pm 0.13$	
$^{43}\text{Sc}$	$9.41 \pm 1.55$	C+	$9.41 \pm 1.55$		$^{56}\text{Co}$	$2.67 \pm 0.18$	C+	$2.59 \pm 0.26$	$64.7 \pm 6.5$
$^{44}\text{Sc}$	$30.1 \pm 2.20$	I	$30.1 \pm 3.10$	$49.0 \pm 4.9$	$^{56}\text{Mn}$	$3.68 \pm 0.29$	C-	$3.65 \pm 0.37$	
$^{44}\text{S}$	$18.1 \pm 1.10$	I	$18.1 \pm 1.10$		$^{56}\text{Ni}$	$0.21 \pm 0.04$	I	$0.21 \pm 0.04$	
$^{46}\text{Sc}$	$16.0 \pm 1.40$	I	$16.0 \pm 1.40$	$45.6 \pm 4.6$	$^{57}\text{Co}$	$0.91 \pm 0.16$	C+	$0.82 \pm 0.14$	$1.31 \pm 0.20$
$^{47}\text{Sc}$	$5.59 \pm 0.63$	C-	$5.47 \pm 0.60$	$64.0 \pm 7.2$					

C+:  $\beta^+$  衰变链的累积产额; I: 独立产额; C-:  $\beta^-$  衰变链的累积产额.

表中列出的误差为标准偏差,它包括 $\gamma$ 谱的分析误差、最小二乘法分解衰变曲线的误差以及5%的 $\gamma$ 探测效率误差,不包括靶厚、束流的测量误差。在实验中使用了 Falling Ball Irradiation System,所以可探测到半衰期为分钟量级的短寿命放射性核素,如 $^{24}\text{Ne}$ (3.38min)、 $^{28}\text{Al}$ (2.24min)和 $^{53}\text{Fe}$ (2.58min)等。而常规的离线核化学实验中鉴定出的核反应产物的半寿命最短为25min,所以使用自动卸靶装置能够鉴定出半衰期短达分钟量级的核反应产物,为重离子反应机制研究提供更多的实验数据。

20—46MeV/u $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ 反应中发现,对于给定质量数 $A$ 的最可几电荷数 $Z_p(A)$ 值在所研究的能区内保持为常数,与入射能无关<sup>[4]</sup>。与上述反应相比,在135MeV/u $^{12}\text{C} + \text{Fe}$

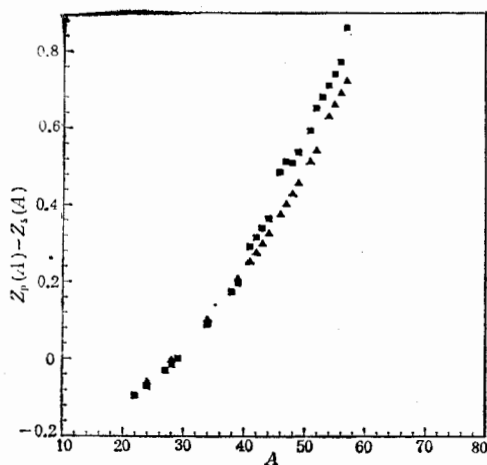


图1 最可几电荷数 $Z_p$ 随质量数 $A$ 的变化趋势

▲ 46MeV/u $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ , ■ 135MeV/u $^{12}\text{C} + \text{Fe}$ .

情况,其中 $Z_s(A)$ 用格林公式计算<sup>[5]</sup>。

的反应中 $A > 40$ 质量区的 $Z_p(A)$ 值要高一些,这表明当重离子炮弹的入射能增加时,重离子碰撞中产生的类熔合复合核的激发能也增加,热复合核发射的核子数(大部分是中子)增多,导致靶余核越向缺中子方向移动。而在 $A < 40$ 质量区的最可几电荷数 $Z_p(A)$ 则略低,本实验中测到了一些低质量数的丰中子产物(如 $^{24}\text{Ne}$ 、 $^{24}\text{Na}$ 、 $^{27}\text{Mg}$ 、 $^{28}\text{Al}$ 、 $^{29}\text{Al}$ 、 $^{38}\text{Cl}$ 等),表明丰中子产物的截面明显增加,这可能与135MeV/u $^{12}\text{C} + \text{Fe}$ 反应中存在靶余核的多重碎裂衰变模式有关。图1给出了上述两个反应各质量数的最可几电荷数 $Z_p(A)$ 与最稳定电荷数 $Z_s(A)$ 之差随质量数 $A$ 变化的

### 3.2 电荷分布和质量分布

尽管实验中测定了大量放射性产物的生成截面,但是它们只是反应总截面的一部分。为了获得反应产物的质量分布,必须引入电荷分布函数来估计未测到核素的生成截面。计算方法已在文献[6]中详细描述了。已有的实验表明,最可几电荷数 $Z_p$ 随入射能量变化并不是太灵敏,而电荷分布宽度参数 $\sigma_z$ 随着入射能的增加有略微增大的趋势<sup>[4]</sup>。电荷分布宽度参数 $\sigma_z$ 取 $A = 48$ 质量链的数值,即 $\sigma_z = 0.538$ 。 $Z_p$ 为某质量链的最可几电荷,并用下式:

$$Z_p = K_0 + K_1 A + K_2 A^2 \quad (1)$$

计算,其中 $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ 为可调常数, $A$ 为质量数。于是取公式(1)中的 $K_1$ 和 $K_2$ 分别为0.479和-0.000215,固定 $\sigma_z = 0.538$ ,在划分的若干质量区间内分别调节 $K_0$ 值,使得实验测定的截面对母体的 $\beta$ 衰变馈送修正后得到的分独立产额 $\sigma(Z, A)/\sigma(A)$ 能最好地拟合高斯电荷分布函数。图2画出了宽度参数 $\sigma_z = 0.538$ 的高斯电荷分布曲线。可以看出,实验中测定核素的截面经过 $\beta$ 衰变馈送修正后得到的分独立产额能满意地与高斯曲线相符,通过积分电荷分布曲线,计算得到各质量链的产额,质量产额分布如图3所示,

图中给出的误差仅代表实验方法的系统误差, 不包括电荷分布拟合过程引进的误差。Morrissey 等人建议对每个核素的产额由电荷分布的拟合而带来的误差约为 25%<sup>[16]</sup>。

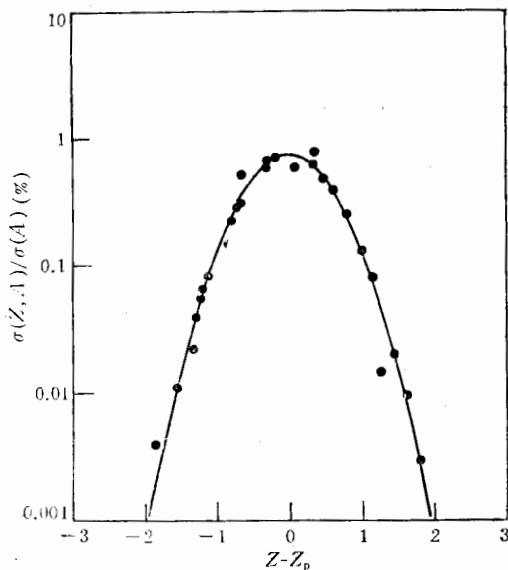


图 2 高斯电荷分布曲线

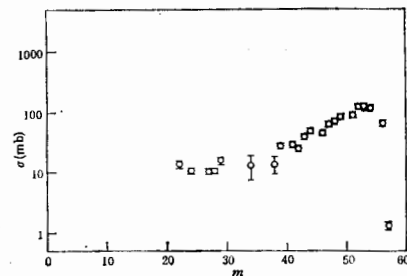


图 3 靶余核的质量分布

## 4 讨 论

### 4.1 质量分布

从图 3 的质量分布曲线可以发现, 质量分布在略低于靶质量附近呈一较宽的峰, 峰位在  $A = 52$  处。随着质量数的下降, 产额逐渐下降, 在  $A = 30$  附近产额降到最小, 之后随质量数的进一步减小, 产额反而略会增加。这是符合中能重离子与非裂变靶核相互作用的一般规律的<sup>[6,7,10]</sup>。同时注意到, 与  $46\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Cu}$  反应相比,  $A \leq 30$  的产额显著增加, 我们深信这部分产物是由中能重离子碰撞形成热核的多重碎裂过程中产生的, 只不过在入射能较高的情况下, 多重碎裂衰变模式的贡献更大一些而已。在后边利用考虑到多重碎裂衰变模式的熔合-碎裂统计模型能够反映出这种质量产额的回升现象, 说明在中能区的高端多重碎裂衰变模式是主要的反应机制之一。

### 4.2 熔合-碎裂统计模型的计算结果

我们再次使用熔合-碎裂统计模型和 Monto Carlo 方法计算了  $135\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Fe}$  反应中靶余核的质量分布, 以便于观察很高入射能量下理论与实验的符合情况。计算中使用的膨胀半径参数  $R_{T0} = 2.0\text{fm}$ , 有效激发能的比例因子  $C_f = 0.38$ , 碰撞参数  $b$  按照平方律抽样的原则得到。各种碰撞参数  $b$  下所对应形成的热核、弹核向靶核转移的核子数  $N_p$ 、质心系热核的动能  $E_k$ 、反应  $Q$  值以及形成热核系统的激发能  $E^*$  见表 2 所示。

表2 熔合碎裂统计模型计算所用的参数

$b(\text{fm})$	6.18	5.59	4.93	4.17	3.23
形成的热核 $N_p$	$^{57}\text{Fe}$ 1	$^{58}\text{Co}$ 2	$^{60}\text{Ni}$ 4	$^{62}\text{Cu}$ 6	$^{63}\text{Zn}$ 9
	(1,0) <sup>a</sup>	(1,1)	(2,2)	(3,3)	(5,4)
$E_k(\text{MeV})$	132.63	260.69	504.00	731.61	1046.77
$Q(\text{MeV})$	7.65	12.38	6.30	16.28	16.66
$E^*(\text{MeV})^b$	53.31	103.77	193.90	284.20	404.10

a: 括号内的数字分别为中子数和质子数; b: 取  $C_f = 0.38$ .

计算结果和实验数据的比较如图4所示,其中带有误差棒的点为实验数据,锯齿线为理论计算值。由图可见,理论计算结果能较好地符合靶碎片质量分布的实验数据,尤其峰的位置和  $A < 30$  以后的质量产额的回升趋势在理论计算中都得到了再现,但是在质量数  $A = 40$  附近理论结果低于实验值。

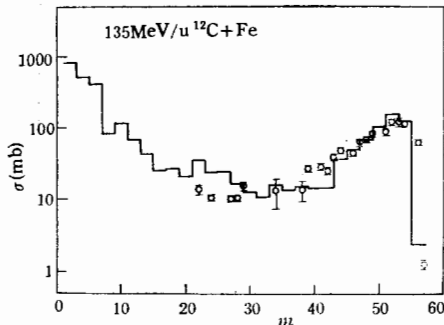


图4 熔合碎裂统计模型计算结果与实验数据的比较

#### 4.3 相继两体衰变统计模型 (GEMINI 程序) 的计算结果

计算中同样利用火球模型计算出某一给定碰撞参数  $b$  下靶核与弹核的交叉体积,根据这个体积确定复合体系中弹核向靶核转移的核子数  $N_p$ ,再根据运动学知识得到这个碰撞参数下复合体系的角动量<sup>[10]</sup>:

$$L = b \times m_p v_p$$

式中  $L$  为角动量,  $b$  为碰撞参数,  $m_p$  为弹核向靶核转移的核子的质量数,  $v_p$  为转移的核子速度。在计算复合体系的激发能时,假设所形成的复合体系的核温度为  $6\text{MeV}$ 。GEMINI 程序假设复合核的衰变是通过一系列的两体衰变,在每一步的衰变中,都考虑了从蒸发轻粒子、复杂碎片发射到对称裂变的所有可能的两体衰变。每次衰变,重的次级碎片 ( $Z > 2$ ) 只要有足够的激发能,两体衰变继续进行。碎片发射之后剩余的激发能按照两碎片具有相同温度的假设重新分配,程序中使用的参数和公式在文献 [8] 中详细地描述了。模拟各个复合体系的衰变,得到各种衰变产物的生成截面,截面按质量数相加得到理论计算的质量分布曲线。

理论计算结果与实验数据的比较如图5所示,其中带有误差棒的点为实验数据,锯齿线为理论计算值。由图可见,理论计算结果也能较好地符合靶碎片质量分布的实验数据,特别是  $A > 40$  质量区蒸发余核的产额,但是  $A < 30$  以后的中等质量碎片计算的产额略低于实验值,一个可能的解释主要是因为 GEMINI 程序中没有考虑多重碎裂衰变模式。合并考虑熔合碎裂模型计算结果,可以肯定  $A < 30$  中等质量碎片的生成和多重碎裂有最紧密的联系。

综上所述,从这两种理论模型的计算结果看都能满意地与实验结果相符合,表明  $^{135}\text{MeV}/u^{12}\text{C} + \text{Fe}$  反应中的靶余核起源于重离子初始碰撞中形成的平衡类熔复合核的衰变,因而可用统计模型来描述其退激过程,这也是两种理论模型的基础。但是基于单举的放射化学测量结果和不少物理实验一样,还难以明确判别热复合核的衰变究竟是级联衰变还是同时发生的瞬间多重碎裂过程。不过,本工作在计算过程中表明,计算结果和平衡复合核系统的激发能  $E^*$  有强烈的依赖关系。在熔复合核模型中考虑了压缩和膨胀过程,因此有效激发能的比例因子  $C_f$  有比较明确的物理意义,而在级联两体模型中假定复合体系的核温度为  $6\text{MeV}$ ,似乎物理图象不大明确。中等质量碎片的起因归结于热核的多重碎裂,正如图 4 和图 5 所示。两种模型的计算结果最大的差别在于对低质量区 ( $A < 30$ ) 产额的预言,非常有趣的是考虑多重碎裂衰变模式的熔复合核统计模型计算结果大于实验值,而不考虑多重碎裂的相继两体衰变统计模型计算结果略低于实验测量结果,这种偏离可能支持这样一个结论,即  $A < 30$  的中等质量碎片起源于平衡热核解体时多级联两体向重碎裂过渡的过程,这个问题值得进一步研究。

在我们以前的工作中,  $A < 30$  质量区只测定了  $^{22}\text{Na}$ 、 $^{24}\text{Na}$  和  $^{28}\text{Mg}$  三个核素的产额,使该质量区的电荷分布拟合有一定的困难。本工作中使用了落球自动卸靶系统,鉴别出了以往没有探测到的质量数  $A < 30$  的一些短寿命核素,计算了它们的生成截面,得到了一些很有趣的结果。但是看来这种努力还是不够,如能使用  $\beta$  粒子探测器测定出一些短寿命、无  $\gamma$  跃迁的放射性产物(如  $^{18}\text{F}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{11}\text{C}$  等),把质量产额曲线向低质量区进一步延伸,可望做出对检验和发展理论模型更有价值的实验结果。

感谢萨本豪先生在理论计算过程中给予的指导。

### 参 考 文 献

- [1] D. H. E. Gross et al., *Phys. Lett.*, **B200**(1988)397.
- [2] K. Aleklett et al., Proceedings of International Symposium on Heavy Ion Physics and Its Application, Lanzhou, China, Oct. (1990) 140.
- [3] G Bizard, LPCC91-06.
- [4] Sa Benhao, Zheng Yuming, Zhang Xiao ze, *Phys. Rev.*, **C40**(1989) 2680.
- [5] 萨本豪、郑玉明、张孝泽,高能物理与核物理,**13**(1990)669.
- [6] 李文新、孙彤玉、戚大海,高能物理与核物理,**14**(1990)745.
- [7] Li Wenxin, Sun Tongyu, Qi Dahai et al., *Phys. Rev.*, **C48**(1993)628.
- [8] R. J. Charity et al. *Nucl. Phys.*, **A340**(1988) 371.
- [9] Li Wenxin Yin Xinmin et al., *Phys. Rev.*, **C46** (1992) 1538.
- [10] 孙彤玉、李文新等,核化学与放射化学,**16**(1994)109.

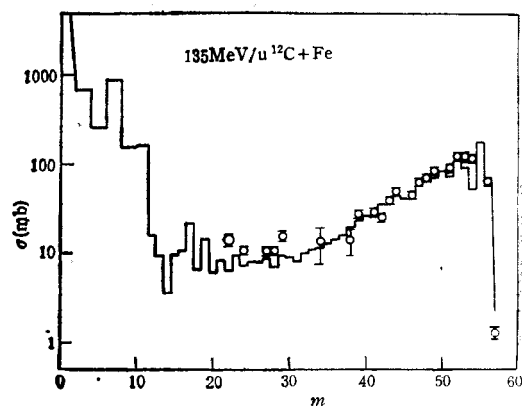


图 5 相继两体衰变统计模型计算结果与实验数据的比较

- [11] H. Baba, T. Sekine, S. Baba, H. Okashita, Japan Atomic Energy Research Institute report JAERI 1227 (1972).
- [12] 孙儒林,核技术,16(1993)15.
- [13] U. Reus, W. Wesmeier, *Gamama-ray Catalog. At Data Nucl Data Tables*, 29(1983) 195.
- [14] 孙彤玉、李文新等,核化学与放射化学,15(1993)65.
- [15] 卢希庭,原子核物理,原子能出版社,(1982)47.
- [16] D. J. Morrissey, W. Loveland, M. de. Saint-Simon, *Phys. Rev.*, C21(1980) 1783.

## Mass Yield Distribution of Target Residues from the Interaction of Iron with 135MeV/u $^{12}\text{C}$ Ions

Qin Zhi    Li Wenxin    Zhao Lili    Wen Wanxin

Luo Qingzheng    Sun Tongyu

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

S. Ambe    Y. Ohkubo    Y. Kobayashi    M. Iwamoto    F. Ambe

(*Institute of Physics and chemical Research Wako, Saitama 351-01, Japan*)

Received 21 May 1994

### Abstract

The formation cross sections of target residues have been measured from the interaction of iron with 135MeV/u  $^{12}\text{C}$  ions. With the help of assumption of Gaussian charge distribution, the mass yield distribution was obtained. We found that the yield in mass region of  $A < 30$  were notably increased and the products got away to neutron-excessive. The experimental results were compared with calculations based on the statistical fusion fragmentation model and on the sequential binary decay model, respectively. It seems to indicate that the multifragmentation decay mode was the dominant reaction mechanism responsible for production of the fragments with mass number  $A < 30$  in the produce process of target residues under the condition of the higher incident projectile energy.

**Key words**  $^{12}\text{C} + \text{Fe}$  interaction, mass yield distribution, statistical fusion fragmentation model, sequential binary decay model.