

文章编号: 1007-4627(2009)03-0203-07

RIBLL 传输效率研究*

章学恒^{1,2}, 孙志宇^{1, #}, 王 猛¹, 陈志强¹, 胡正国¹, 王建松¹, 毛瑞士¹,
张雪茨¹, 赵铁成¹, 李 琛¹, 徐珊珊¹, 肖国青¹, 袁小华¹, 徐志国¹,
陈若富¹, 郭忠言¹, 王 玥¹, 黄天衡¹, 张宏斌¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 利用实验测量和 Monte Carlo 模拟的方法, 研究了 RIBLL 的传输效率。分析了影响传输效率的主要因素, 发现碎片的动量分布形式对传输效率的模拟结果有重要的影响。另外通过比较, 发现大部分碎片传输效率的模拟结果稍大于实验测量结果, 两者最大相差约几十倍, 这可以帮助估算次级束流强度, 指导实验设计。

关键词: RIBLL; 传输效率; MOCADI; LISE++

中图分类号: O571.5 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 利用放射性束对极端同位旋自由度下核素结构和性质等的研究已成为核物理研究的热点之一。在放射性束的产生和分离技术中, 利用磁谱仪对弹核碎裂或裂变产物进行在线分离的弹核碎裂方法已经被普遍采用。同其他的产生和分离技术相比, 该方法具有分离速度快, 碎裂产物集中在很小的前冲锥角内, 不需后加速, 可直接用于物理实验等优点, 这些优点使得世界上一些主要的核物理实验室先后建立起各具特色的弹核碎裂型次级束流线装置。例如 LISE^[1], A1200^[2], RIPS^[3], FRS^[4] 和 RIBLL^[5, 6] 等。

利用弹核碎裂型次级束流装置可以产生滴线区的短寿命核素, 但这种方法产生的次级束流强度要远低于稳定束, 而在次级束物理实验中, 可进行研究的内容很大程度上受限于次级束流强度, 因此能否准确估算次级束流强度, 对于实验设计至关重要。弹核碎裂型次级束流装置产生的次级束流强度主要取决于同位素的产生截面及次级束流装置的传输效率。同位素的产生截面主要与碎片的核反应机制相关, 而传输效率取决于次级束流线的离子光学

特性、机械尺寸的几何约束及碎裂产物的动量分布等反应动力学性质。

本文通过实验测量与 Monte Carlo 模拟相结合, 对 RIBLL 的传输效率进行了研究。对现有模拟程序能否对传输效率进行准确估算进行了检验, 并分析了影响传输效率的一些主要因素。这些工作对充分认识 RIBLL 特性, 以及估算次级束流强度、指导实验设计都具有非常重要的意义。

2 RIBLL 传输效率实验测量

2.1 实验简介

RIBLL 是一条典型的弹核碎裂型次级束流线, 具有双消色差的反对称结构, 自 1997 年投入运行以来, 已开展了大量的实验工作, 取得了许多重要的实验结果, 如 ²⁵P 的首次鉴别^[7] 等。图 1 给出了 RIBLL 线结构简图。

在实验中, RIBLL 工作在零角度磁谱仪模式, 用 57 MeV/u 的 ⁴⁰Ar 轰击 94.1 mg/cm² 的 ⁹Be 靶, 经发生弹核碎裂反应产生各种类弹碎片。实验探测器布局如图 1, 初级束流在 T0 打靶, 其强度由 T0 处穿透式法拉第筒测量, 并在反应靶后上、后左和

* 收稿日期: 2009-01-06; 修改日期: 2009-03-13

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10775159)

作者简介: 章学恒(1982-), 男(汉族), 辽宁朝阳人, 博士研究生, 从事实验核物理研究; E-mail: zhxb@impcas.ac.cn

通讯联系人: 孙志宇, E-mail: sunzhy@impcas.ac.cn

后右等处放置 PIN 探测器, 根据散射离子的计数关系, 实时监测束流斑点的变化。碎片在飞行中, 由 D1 前狭缝 slit1 限制其角接收度, C1 狭缝 slit2 限制其动量接收度, 在 T1—T2 段通过 $B\rho$ -TOF- ΔE -E 方法实现粒子鉴别。飞行时间探测器为 0.05 mm

的 BC-418 塑料闪烁体, 分别放置于 T1 和 T2 靶室。能损探测器为 0.3 mm 的 Si 探测器, 总能量探测器为 80 mm×80 mm×100 mm 的 CsI 晶体, 均放于 T2 靶室。另外, 为了得到碎片的位置信息, 在 C2 和 T2 安装了位置灵敏探测器 PPAC。

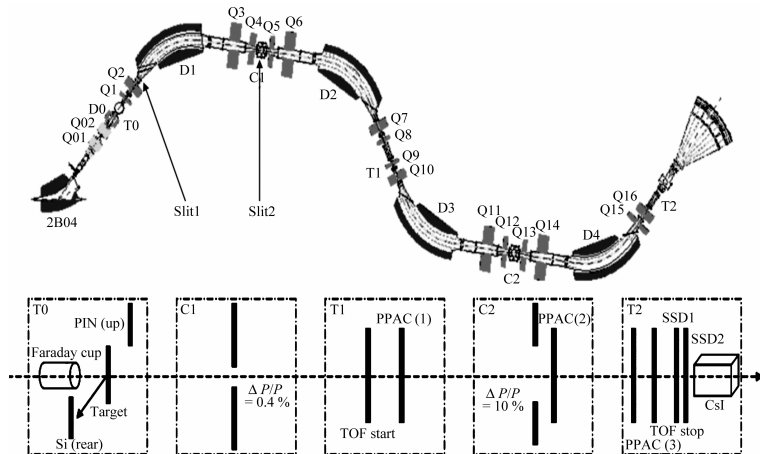


图 1 RIBLL 简图和实验探测器布局

在实验过程中, 将 D1 的磁钢度设置为 2.5 Tm, 然后调整 D2, D3 和 D4 的磁钢度, 使碎片沿束线中心轨道飞行, 狭缝 slit2 设置为 ±4 mm, 动量接收度对应为 0.4%, 改变狭缝 slit1 的大小, 观察 RIBLL 传输效率随狭缝宽度的变化关系。

2.2 实验测量的传输效率

实验中测量了狭缝 slit1 宽度分别为 ±1, ±2, ±3 和 ±10 cm 时各种碎片的传输效率, 图 2(a) 给出了碎片 ^{35}P 的传输效率随狭缝宽度的变化关系。我们将传输效率定义为碎片传输到 T2 处的计数与碎片在反应靶后的计数之比, 其中碎片在 T2 处的计数由粒子鉴别探测器测得, 而碎片在反应靶后的计数通过初级束流入射离子数并结合碎片产生截面得到, 碎片的产生截面通过 EPAX2^[8] 经验公式估算。图 2(a) 中的实线为对实验数据点的拟合结果, 拟合公式为

$$f(x) = p_0 - p_1 e^{-p_2 x + p_3}, \quad (1)$$

式(1)中 p_0 , p_1 , p_2 和 p_3 为拟合参数。从图 2(a) 中可以看出, 碎片的传输效率随着狭缝的增大而增加, 当狭缝宽度达到某值时, 碎片的传输效率达到饱和, 此饱和值对应于式(1)的拟合参数 p_0 , 此值表示在不限制立体角接收度时此碎片的传输效率。图 2(b) 给出了在此磁钢度设置下所有碎片在不限制

制立体角接收度时的传输效率随碎片质量的变化关系。从图中可见, 不同碎片的传输效率值相差很大, 最大值与最小值之间相差约 10^4 倍, 这是由于束流线的有限动量接收度所造成的。

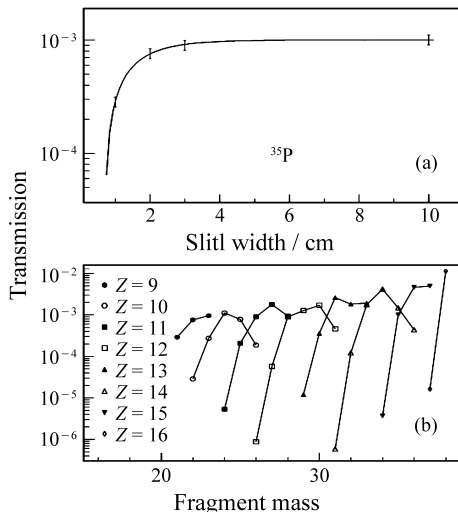


图 2 实验测量的碎片的传输效率

(a) 为碎片传输效率随狭缝 slit1 宽度的变化关系, (b) 各种碎片的传输效率。

3 RIBLL传输效率 Monte Carlo 的模拟

3.1 模拟方法简介

为了研究 RIBLL 传输效率, 利用 MOCADI^[9]

对其进行了模拟计算。MOCADI 是一种基于 Monte Carlo 方法的模拟软件, 由 Schwab 等人于 1980 年提出, 利用它可以计算初级束、弹核碎裂或裂变反应产物在束流线中的传输损失。由于在计算过程中, 不仅考虑了束线的几何尺寸的限制, 还考虑了束线中的各个磁元件的高阶束流光学效应及边缘场的影响, 使得 MOCADI 能够很好地描述碎片在束流线中的传输。

碎片在束流线中的传输可由它的横向位置 (x , y)、横向角分布 (x' , y')、纵向位置和纵向动量分散 (z , $\Delta P/P$) 六维坐标来描述, 通过计算传输碎片初始坐标与各个磁元件传输矩阵的乘积, 可以得到碎片在传输过程中的轨迹。为判断一个碎片是否通过束流线, 需要计算碎片飞行过程中每一小步的六维坐标, 并与束流线的几何尺寸做比较, 如果计算的坐标小于束线的几何尺寸, 那么碎片就会继续向前传输, 直到束线终点; 若计算的坐标大于束线的几何尺寸, 那么碎片就会打在束线管壁上而损失。

初级束流发射度的不确定性, 影响着碎片传输效率的模拟结果。在模拟过程中, 假设初级束流束斑分布为高斯分布形式, 其分布宽度为 $\sigma_x = \sigma_y = 1$ mm, 这可根据实验中置于 T0 荧光靶的光斑大小粗略得到。初级束流的角分布不能通过实验观察得到, 只能根据传输矩阵估算, 假设为高斯分布形式, 分布宽度为 $\sigma_{x'} = \sigma_{y'} = 4$ mrad。初级束流的纵向位置 z 设置为 0, 动量分散可由实验中测量初级束流能量时 D1 二极磁铁的磁钢度得到, 其值为 $\Delta P/P = 0.4\%$ 。通过模拟比较发现, 因初级束流发射度不确定性对传输效率造成的影响约在 5% 以内, 这相对其他因素引起的不确定性可以忽略。

对于特定磁钢度, 且有动量接收度限制的情况下, 弹核碎裂反应产生碎片的动量分布, 是影响碎片模拟传输效率的主要因素。碎片的动量分布包括纵向动量分布和横向动量分布, 纵向动量是碎片动量在束流线 z 方向的投影, 横向动量是碎片动量在 x - y 平面上的投影。在使用 MOCADI 模拟过程中, 碎片的纵向、横向设有相同的动量分布形式, 即高斯分布, 其宽度可利用 Goldhaber 公式^[10]描述, 即

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \sigma_0 \sqrt{\frac{A_F(A_P - A_F)}{A_P - 1}}, \quad (2)$$

式中 A_P 和 A_F 分别表示炮弹和碎片的质量数, σ_0 是与核内核子费米动量相关的常数, 值为 90 MeV/ c 。

横向动量分布的峰值位置为 0, 纵向动量分布的峰值位置由 Kaufmann^[11] 公式决定:

$$\langle P_z \rangle = \frac{\Delta E}{\beta}, \quad (3)$$

式中 $\langle P_z \rangle$ 表示碎片动量相对炮弹动量的减小值, ΔE 表示炮弹能量的减小, 正比于擦去的核子数, 他认为炮弹每擦去一个核子, 就会减小 13 MeV 的能量, β 为炮弹的相对论速度。

3.2 模拟程序可靠性检验

通过假定初级束流发射度和碎片动量分布形式, 并结合束流光学传输矩阵, 就可以利用 MOCADI 对碎片传输效率进行模拟。而模拟结果的可靠性, 则由模拟结果与实验测量相关数据的比较来检验。

通过比较实验测量与模拟的碎片在 C2 处的位置谱, 可以对模拟程序的可靠性进行检验。C2 处碎片的位置分布与动量分布相关, 如果模拟与实验测量的碎片位置谱能够符合, 则说明模拟重现了实验情况, 可以证明模拟的可靠性。图 3(a) 和 (b) 分别

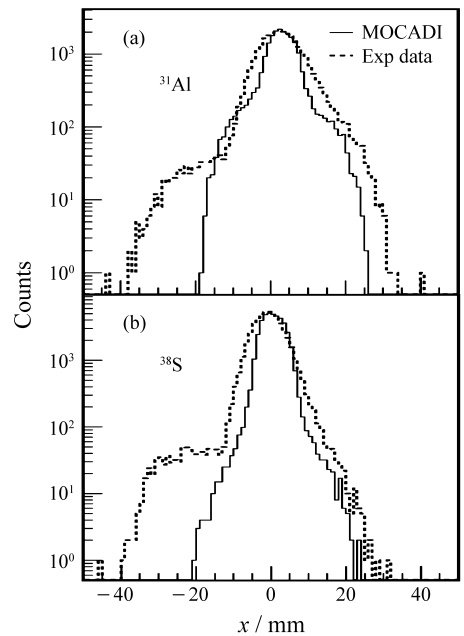


图 3 碎片在 C2 处模拟与实验测量的位置谱比较

给出了 ^{31}Al 和 ^{38}S 碎片的模拟和测量位置谱的比较。可见, 模拟与实验测量的碎片位置分布峰值位置符合得很好, 但模拟的宽度比实际宽度略窄, 即模拟粗略地重现了实验情况, 证明了模拟的可靠性。

此外，通过比较实验测量和 MOCADI 模拟的 RIBLL 立体角接收度，也可以检验模拟程序的可靠性。根据几何关系，只要知道束流线传输效率达到饱和时对应的 slit1 宽度，以及反应靶与 slit1 的距离，即可得到束流线的最大立体角接收度。图 4(a) 和 (b) 分别给出了实验测量和 MOCADI 模拟的不同碎片传输效率达到饱和时对应的 slit1 宽度随碎片质量的变化关系。可以看出，随着碎片质量的增加，碎片传输效率达到饱和时对应的 slit1 宽度由一常数逐渐减小，这是由于碎片的角分布随碎片质量的增加而逐渐减小所引起的。当碎片角分布大

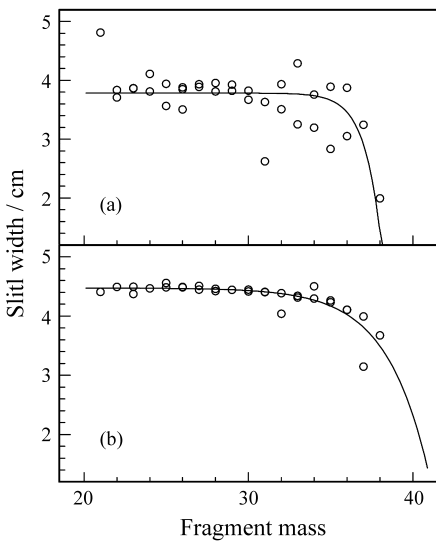


图 4 传输效率达到饱和时对应的 slit1 宽度随碎片质量的变化关系

(a) 为实验测量结果，(b) 为 MOCADI 模拟结果。

于束线角接收度时，slit1 宽度是一个常数，不随碎片质量变化，这个宽度对应着束流线的最大立体角接收度；当碎片角分布小于束线立体角接收度时，就会出现 slit1 宽度随碎片质量增大而变小的现象。我们用式(1)来拟合图 4 中的数据点，得到束流线达到最大立体角接收度时实验测量和 MOCADI 模拟的 slit1 宽度分别为 3.7 和 4.47 cm，进而得到在 RIBLL 的这种设置情况下的最大立体角接收度，实验测量值约为 2 mSr，模拟结果约为 2.8 mSr，两者粗略相当，证明了模拟的可靠性。

3.3 传输效率模拟与实验结果的比较

利用 MOCADI 模拟程序，我们模拟了碎片在 RIBLL 中的传输效率，在模拟过程中，将狭缝 slit1

设置为 ± 10 cm，保证束线有最大立体角接受度，将狭缝 slit2 设置为 ± 4 mm，保证模拟与实验测量条件相一致。图 5 给出了实验测量的传输效率与模拟的传输效率的比值随碎片质量数的变化关系。可以看出，对于部分碎片，实验测量与模拟的传输效率能够符合，但对大多数碎片，模拟的传输效率要大于实验测量的传输效率，相差约几十倍，我们下面将对造成模拟与实验测量传输效率有较大差别的原因进行分析。

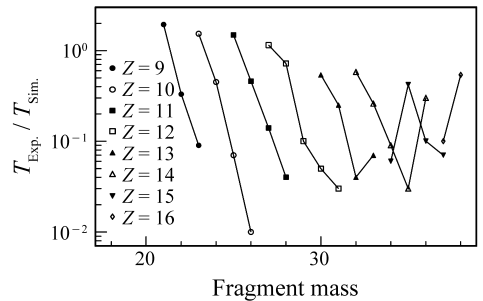


图 5 实验测量与 MOCADI 模拟传输效率的比值随碎片质量的变化关系

4 影响传输效率的主要因素

由 MOCADI 的模拟结果知道，对于大多数碎片，模拟的传输效率要大于实验测量的传输效率。造成这种现象的原因，主要来源于较低束流能量下，MOCADI 对碎片产生机制的描述同实际情况的差异。

对碎片产生截面估算的准确性影响着实验测量得到的传输效率。EPAX2 是通过总结高能区重离子直接碎裂和散裂实验数据而提出的经验公式，由于大部分实验数据点都在稳定线附近，EPAX2 对稳定线附近核素产生截面的估计准确性较高，而对远离稳定线核素则可能存在比较大的误差。这一点已被众多实验研究所证实。例如，Notani 等^[12]利用日本 RIKEN 实验室的 RIPS 次级束流线，研究了 90 和 94 MeV/u 的 ^{40}Ar 与 ^9Be 和 ^{181}Ta 靶作用产生的碎片截面，并与 EPAX2 的估算结果进行了比较，发现在中能区 EPAX2 过高地估算了丰中子区的碎片截面。图 6 给出了根据 Notani 等的实验测量截面计算得到的 T_{Exp} / T_{Sim} 值随碎片质量的变化关系。从图中可以看出，采用实验数据后，实验测量同模拟结果更为接近。

对碎片传输效率模拟结果的影响更主要来源于动量分布形式的不确定。由于 MOCADI 处理碎片动量分布形式的方法比较单一, 因此我们采用 LISE++^[13] 程序来分析动量分布形式对碎片传输效率的影响。LISE++ 计算碎片传输效率的方法与 MOCADI 相似, 在碎片产生机制方面包括更多的选择, 而在碎片传输过程中, 只考虑了一些基本要素, 忽略了一些细节和高阶效应等的影响, 因此计算结果在绝对值上可能误差较大。

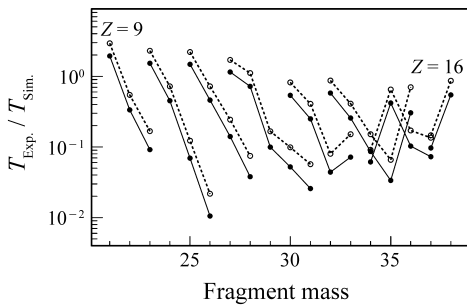


图 6 碎片截面不同估算方法对实验测量传输效率的影响
○ 表示利用文献[12]中实验测量截面的计算结果, • 为利用 EPAX2 估算截面的计算结果。

图 7(a) 给出了 LISE++ 计算的各种碎片的传输效率。在计算过程中, 碎片的初级束流发射度, 以及碎片的动量分布宽度均与上面 MOCADI 模拟情况相一致, 唯一不同的是在计算碎片纵向动量分布峰值位置时 LISE++ 采用 Borrel 公式^[14]:

$$\frac{v_F}{v_P} = \sqrt{1 - \frac{8(A_P - A_F)}{A_F E_P}}, \quad (4)$$

式中 A_P , A_F 表示炮弹和碎片的质量, v_P , v_F 表示炮弹和碎片的速度, E_P 为炮弹单核子能量。他认为炮弹在与靶核作用过程中, 每擦去一个核子, 炮弹会减少 8 MeV 的能量, 转化为碎片的激发能, 根据动量、能量守恒, 可以推导出上式。从图 7(a) 可以看出, 实验测量传输效率与模拟传输效率的比值在 10 倍左右, 这比 MOCADI 的模拟结果要稍好, 说明碎片纵向动量分布的峰值位置是影响模拟结果的一个主要因素。

在相对论能区, 碎片的纵向和横向有相同的动量分布形式^[15], 但在中能区, 由于弹核与靶核相互作用时间足够长, 靶核库仑场对弹核的排斥作用不能忽略, 从而造成碎片横向动量分布的展宽。Bibber 等^[16] 在分析了 92.5 MeV/u 的 $^{16}\text{O} + \text{Al}$, $^{16}\text{O} +$

Au 产生碎片的横向动量分布宽度后, 提出中能区碎片的横向动量分布宽度可由下式计算:

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_0^2 \frac{A_F(A_P - A_F)}{A_P - 1} + \sigma_D^2 \frac{A_F(A_F - 1)}{A_P(A_P - 1)}, \quad (5)$$

式中 A_F , A_P 分别表示碎片与炮弹的质量, 第 1 项为核内核子的费米运动造成的动量展宽, $\sigma_0 = 90$ MeV/c, 第 2 项为库仑斥力造成的展宽, σ_D 为拟合参数。图 7(b) 给出了在考虑库仑斥力对碎片横向动量分布展宽的影响时, 在 $\sigma_D = 200$ MeV/c 情况下碎片实验传输效率与模拟传输效率比值随碎片质量的变化关系。与图 7(a) 比较可以看出, 在考虑了库仑力对碎片横向动量分布展宽的影响后, 实验与模拟传输效率的比值稍有变大, 说明模拟的传输效率更接近了实验测量的传输效率, 即碎片的横向动量分布宽度也是影响碎片传输效率的一个因素。

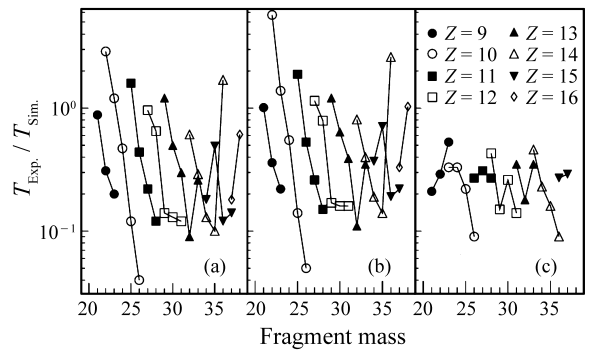


图 7 碎片动量分布形式对传输效率的影响

在相对论能区, 弹核碎裂反应产生碎片的纵向动量为高斯分布形式, 在中能区, 弹核碎裂反应产生碎片的动量分布形式不再具有高斯分布形式, 而是在它的低动量端存在一指数分布的尾巴^[17], 这种动量分布形式的改变, 会影响我们的模拟结果。Tarasov^[18] 认为在中能区弹核与靶核相互作用过程中, 由于存在核子交换等内部自由度的转移, 造成了碎片纵向动量分布指数尾巴的产生, 由此他提出了一个新的参数化公式, 用来预测碎片的纵向动量分布, 结合该公式的 LISE++ 计算结果见图 7(c)。与图 7(a) 和 (b) 的比较可以看出, 利用 Tarasov 参数化公式后, 模拟计算同实验测量结果的离散大为减小, 表明碎片的纵向动量分布宽度同样是影响模拟结果的一个主要因素。

图 8 给出了 57 MeV/u 的 ^{40}Ar 与 ^9Be 靶作用产

生碎片²⁸Mg 的纵向动量分布,并与不同的模型计算进行了比较。图中实心点为实验测量结果,虚线为 Borrel 和 Goldhaber 公式计算结果,点划线为 Tarasov 公式计算结果,实线为磁刚度等于 2.5 Tm 时碎片²⁸Mg 的动量位置。从图中可以看出,实验测量与模型计算得到的碎片动量分布之间存在明显差异,这种差异影响着我们的模拟结果。在模拟过程中,只有那些落在 RIBLL 动量接收度内的碎片才有机会传输到束线终端,通过积分动量谱,可以得到落在 RIBLL 动量接收度以内的碎片占整个碎片动量分布的百分比: Borrel 和 Goldhaber 公式计算情况下其比值约为 0.7%; Tarasov 公式计算情况下其比值约为 1.7%; 实验测量情况下其比值约为 0.3%,即由理论模型计算得到的这个比值均大于实验测量的比值,这造成了碎片²⁸Mg 传输效率的模拟结果要稍大于实验测量结果。

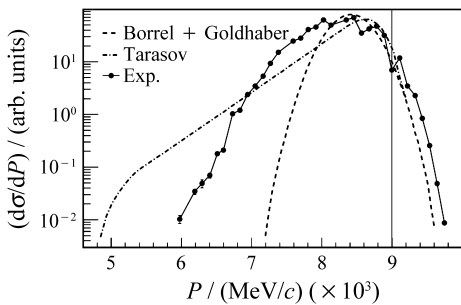


图 8 不同的模型计算和实验测量得到的²⁸Mg 碎片纵向动量分布谱

通过上面的分析,我们知道碎片的动量分布形式,包括横向、纵向动量分布宽度和纵向动量分布的峰值位置,都是影响模拟结果的主要因素。但由于中能区的碎片产生机制比较复杂,目前还不能找到一套很好的理论模型或经验公式来对碎片动量分布等动力学特性进行准确估算,这影响了碎片传输效率模拟的准确性。因此充分理解中能区弹核碎裂反应机制,准确预测碎片的动量分布形式,可以帮助我们准确估算碎片传输效率。

5 结论

本文从实验测量和 Monte Carlo 模拟两方面研究了 RIBLL 的传输效率。通过模拟与实验结果比较,发现部分碎片的实验测量传输效率能够同模拟的传输效率相符合,但大部分碎片的模拟结果要

大于实验测量结果,造成这种现象的原因主要是由于碎片在反应靶后的动量分布不确定性所引起的,所以充分理解中能区的碎片产生机制,可以帮助我们准确估算碎片传输效率。另外,根据 MOCADI 或 LISE++ 程序计算的束流线传输效率,可对碎片产额在量级上进行估算,这对将来实验设计,加大实验成功几率具有非常重要的意义。

参考文献 (References):

- [1] Anne R, Bazin D, Mueller A C, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1987, A257: 215.
- [2] Sherrill B M, Morrissey D J, Nolen J A, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1991, B56/57: 1106.
- [3] Kubo K, Ishihara M, Inabe N, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1992, B70: 309.
- [4] Geissel H, Armbruster P, Behr K H, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1992, B70: 286.
- [5] Zhan Wenlong, Guo Zhongyan. Nuclear Physics Review, 1999, 16(4): 218 (in Chinese).
(詹文龙, 郭忠言. 原子核物理评论, 1999, 16(4): 218.)
- [6] Sun Z, Zhan Wenlong, Liu Guanhua, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2003, A503: 496.
- [7] Xiao Guoqing, Jin Genming, Zhan Wenlong, *et al.* Nuclear Physics Review, 2000, 17(4): 259 (in Chinese).
(肖国青, 靳根明, 詹文龙等. 原子核物理评论, 2000, 17(4): 259.)
- [8] Summerer K, Blank B. Phys Rev, 2000, C61: 034607.
- [9] Iwasa N, Geissel H, Munzenberg G, *et al.* Nucl Instr and Meth, 1997, B126: 284.
- [10] Goldhaber A S. Phys Lett, 1974, B53: 306.
- [11] Kaufman S B, Steinberg E P, Wilkins B D, *et al.* Phys Rev, 1980, C22: 1897.
- [12] Notani M, Sakurai, Aoi H N, *et al.* Phys. Rev, 2007, C76: 044605.
- [13] Bazin D, Tarasov O, Lewitowicz M, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2002, A482: 307.
- [14] Borrel V, Guerreau D, Galin J, *et al.* Z Phys, 1983, A314: 191.
- [15] Greiner D E, Lindstrom P J, Heckman H H, *et al.* Phys Rev Lett, 1975, 35: 152.
- [16] Bibber K V, Hendrie D L, Scott D K, *et al.* Phys Rev Lett, 1979, 43: 840.
- [17] Mermaz M C, Borrel V, Guerreau D, *et al.* Z Phys, 1986, A324: 217.
- [18] Tarasov O. Nucl Phys, 2004, A734: 536.

Study on Transmission of RIBLL^{*}

ZHANG Xue-heng^{1,2}, SUN Zhi-yu^{1, #}, WANG Meng¹, CHEN Zhi-qiang¹, HU Zheng-guo¹, WANG Jian-song¹,
MAO Rui-shi¹, ZHANG Xue-ying¹, ZHAO Tie-cheng¹, LI Chen¹, XU Hu-san¹, XIAO Guo-qing¹,
YUAN Xiao-hua¹, XU Zhi-guo¹, CHEN Ruo-fu¹, GUO Zhong-yan¹,
WANG Yue¹, HUANG Tian-heng¹, ZHANG Hong-bin¹

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: The transmission of RIBLL has been studied by experimental measurement and Monte Carlo simulation methods. The analysis of influence factors of the simulated transmission has been accomplished, and it was found that the momentum distribution of fragments is one of the most important factors influencing the simulation results. Furthermore, through comparing the measured and simulated results, it is found that the simulated result is larger than the measured transmission for most fragments and the maximal difference between them is about several tens of times. This simulation is a good theory tools for estimating the intensity of the secondary beam and designing the experiment in the future.

Key words: RIBLL; transmission; MOCADI; LISE++

* **Received date:** 6 Jan. 2009; **Revised date:** 1 Mar. 2009

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10775159)

Corresponding author: Sun Zhi-yu, E-mail: sunzhy@impcas.ac.cn