

一个在 SPEG 磁谱仪上鉴别中能重离子反应中中重产物的分析方法

冯军 沈文庆 马余刚

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

詹文龙 诸永泰 郭忠言

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘要

利用磁谱仪联合一套焦平面探测器系统发展了一种鉴别中能重离子反应中中重产物的分析方法. 用这种方法分析得到了 $44\text{MeV/u}^{129}\text{Xe}$ 与 ^{90}Zr 及 ^{197}Au 靶反应产物的核电荷数 Z 谱、电荷态 Q 谱及质量数 A 谱. 这是第一次用磁谱仪在中能区对这样重体系的反应产物进行鉴别.

一、引言

磁谱仪能够精确地测量核反应中出射带电粒子的动量, 配以合适的焦平面探测器和飞行时间测量后, 还可以给出很高的质量分辨和核电荷数分辨, 因而已被广泛地应用于重离子物理的研究中. 近年来, 用以磁谱仪为基础发展起来的放射性奇异核次级束流来进行核反应机制、原子核的特性、新核素的合成及其衰变模式等的研究是目前国际上重离子物理领域的一个前沿^[1]. 迄今为止, 已发表的用磁谱仪进行的中能最重的反应是 $44\text{MeV/u}^{86}\text{Kr} + ^{197}\text{Au}$ 系统^[2]. 如果要进一步研究中能重弹核引起的周边反应机制及发展重的奇异核束流, 人们必须进行比 ^{86}Kr 更重的中能重离子反应的实验研究. 本文给出了一个在 SPEG 磁谱仪上鉴别 $44\text{MeV/u}^{129}\text{Xe}$ 束轰击 ^{90}Zr 、 ^{197}Au 靶反应产物的分析方法, 并给出了实验得到的反应产物的鉴别谱.

数据分析中数据格式转换程序取自法国的 EAGER 程序, 使用的线性化程序及数据处理程序是 PAX 程序.

二、实验概述及数据分析的简单结构

实验利用 GANIL 加速器提供的 $44\text{MeV/u}^{129}\text{Xe}$ 束流轰击 1.13mg/cm^2 的 ^{90}Zr 与 $900\mu\text{g/cm}^2$ 的 ^{197}Au 靶, 用 SPEG 磁谱仪^[3] 分析出射产物. 谱仪中心角设置在 3° , 水平方向

* 国家自然科学基金资助

本文 1992 年 6 月 27 日收到.

张角 $\pm 2^\circ$, 谱仪色散为 $8\text{cm}/\%$, 谱仪动量接收度 $\Delta P/P$ 为 $\pm 3\%$. 焦平面探测器的安排为: 在谱仪焦平面位置前、后各放置一个漂移室测量粒子水平和垂直位置, 并结合束流光学计算给出的参数, 用代数矩阵的方法精确地定出粒子在焦平面的位置, 以此给出准确的磁刚度; 焦平面上放置一个 PPAC 探测器, 给出起始时间信号, 停止时间信号由加速器的射频信号给出, 粒子的飞行距离为 14.2m ; 粒子的能量、射程由布喇格探测器给出, 该布喇格探测器前放置两个横向电离室给出能损信号 ΔE , 排除高能轻粒子产物的停阻探测器采用塑料闪烁探测器.

实验数据分析的第一阶段是逐个事件分析, 包括数据格式化转换及对逐个事件进行粒子鉴别; 第二个阶段是在鉴别粒子的基础上, 加窗得到每个粒子的能谱及角分布, 并完成 PAX 到一般数据格式的转变, 这样做有利于图形输出, 得到归一化后的能谱及同位素分布. 在数据分析中, 用入射角 θ 和水平位置 x 对飞行路程进行了修正, 由于焦平面的长度是有限的, 有些电荷态及电荷态的能谱受到损失, 所以根据经验的电荷态分布对这些进行了修正, 对同位素分布进行了磁谱仪接收效率修正.

三、Z、Q 和 A 的分辨

1. 焦平面位置 x_f 的确定

反应产物的最后一个四极透镜的位置用矩阵 $X_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ \theta_0 \end{bmatrix}$ 表示, 两个漂移室测得的位置用矩阵 $X_i = \begin{bmatrix} x_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$ 表示, 焦平面上的位置用矩阵 $X_f = \begin{bmatrix} x_f \\ \theta_f \end{bmatrix}$ 表示, 则由束流光学理论可得:

$$X_i = A_1 X_0, \quad (1a)$$

$$X_f = A_2 X_0. \quad (1b)$$

式中, A_1, A_2 分别为粒子在不同漂移空间的传输矩阵.

由于 X_i 是实验测得的量, 谱仪设计使得漂移空间中 $\theta_0 = \theta_i = \theta_f$, 漂移空间的传输矩阵已知, 由式(1a)可求出逆矩阵 X_0 , 再根据式(1b)即可得到 X_f .

2. 核电荷数 Z 的鉴别

对于轻粒子, 由于其 AZ^2 彼此差别较大, 较常用的方法是根据 $E \cdot \Delta E \propto AZ^2$ 进行 Z 鉴别. 而比较重的粒子的 AZ^2 彼此差别较小, 这就对 ΔE 探测器有很高要求. 由于本次实验中出射反应产物较重, 因此采用能量-射程方法, 即粒子在布喇格探测器中的射程 R 和粒子的总能量 E_T 满足:

$$R = a \frac{A}{Z^2} \left(\frac{E_T}{A} \right)^\eta. \quad (2)$$

式中 a, η 为常数^[4].

实验中布喇格探测器采用时间方式读出得到射程 R , 从而可把 R 测得很准, 故此大大改善了 Z 分辨. 由于探测器中气体纯度等因素造成的 E 对垂直位置 Y 有依赖关系, 要加入 E 对 Y 的修正:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{CORR}} &= E_{\text{测}} [1 + (y_{\text{测}} - 3500)k_1] \\ E_T &= E_{\text{CORR}} + k_2 \Delta E \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

作出 E_T 和 R 的关联图,如果图中出现条形结构,则每一条对应于一个电荷数 Z . 经过线性化后的投影谱如图 1 所示. 从图中可见,对于元素 Xe 以下直到 Kr 的电荷数都能较好地分辨出来,电荷数分辨 $Z/\Delta Z$ 可达 55 以上,并且观测到了比入射弹核重的产物,这可能是由于靶核中的核子转移到弹核中引起的结果.

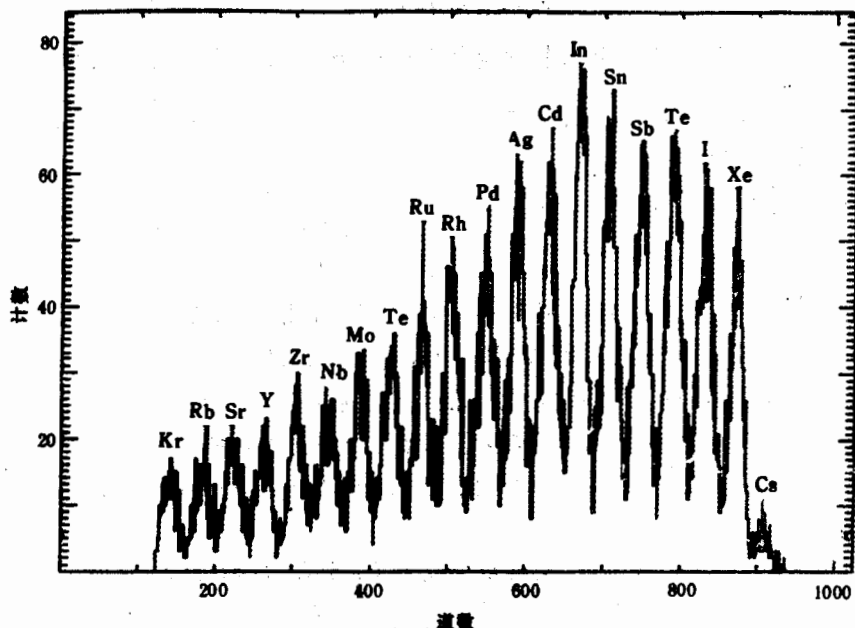


图 1 44MeV/u $^{129}\text{Xe} + ^{197}\text{Au}$ 电荷分布 Z 谱

3. 色散修正及飞行时间修正

由磁谱仪的色散带来的磁刚度的变化可通过下式得到:

$$B\rho = (B\rho)_0 \left(1 + \frac{x_F}{D}\right) \tag{4}$$

式中, $(B\rho)_0$ 为实验设置的中心磁刚度, D 为色散.

当粒子以不同的入射角进入磁谱仪时,飞行路径是不同的,理论的磁场计算给出入射角变化时飞行路径的变化用下述公式来修正:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{CORR}} &= T_{\text{M}}(\theta) (1 - k_3 \theta_F) \\ k_3 &= \frac{(l/\theta_F)}{l} \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

其中, (l/θ_F) 为由于单位角度变化而带来的飞行距离的变化, l 为飞行距离.

对相同入射角 θ , 动量不同的粒子,飞行距离也不同. 理论计算给出对 1% 动量变化相应的路程变化 ΔS , 用下述公式修正这一效应:

$$T = T_{\text{M}}(x) (1 + K_T x_F) \tag{6}$$

其中 $K_T = \frac{\Delta S(\text{cm}/\%) }{S(\text{cm}) D_1 (\text{ch}/\%)}$, S 为对应焦平面上的飞行长度, D_1 为以 CH(道数) 为单位的色散.

4. 飞行时间零点确定

由公式 $B\rho \propto Av/Q$ 可得:

$$\frac{v/c}{(1 - (v/c)^2)} = 0.327837 \frac{B\rho Q}{A} \equiv f. \quad (7)$$

式中, C 为光速(cm/ns), 如果用 CH_0 表示飞行时间的零点道, 则绝对时间可表示为:

$$T_v = \frac{l}{v} = \frac{l}{\sqrt{cf(1-f^2)}} = (CH - CH_0)k_T, \quad (8)$$

从中得到, $CH_0 = -\frac{T_v}{k_T} + CH$. 用弹散测量其飞行时间 T . 就可得到飞行时间零点道, 式中 k_T 是 TDC 刻度系数(每道代表多少 ns)

5. 电荷态 Q 、质量数 A 鉴别

由磁谱仪的基本公式, 可得:

$$(B\rho)_0(1 + \frac{x_F}{D}) \propto \frac{E_T T}{Q}, \quad (9)$$

由于每一轮实验设置的磁刚度 $(B\rho)_0$ 是一常数, 如果把 $E_T T$ 作为一个参量, 并做出 $E_T T$ 和焦平面位置 x_F 的两维关联图, 从(9)式可知, 在关联图上所出现的结构将代表不同的电荷态 Q 值. $E_T T$ 与 x_F 关联后, 与 Z 的双维关联图如图 2 所示. 从图上可见, 在一个 Z 下, 出现了 4—5 个多电荷态. 在不同 Z 下加窗, 得到的投影谱将会给出电荷态的信息. 由于磁谱仪的分辨及飞行时间的测量有较高的分辨, 所以电荷态的分辨主要由能量分辨决定, $Q/\Delta Q$ 好于 50.

仍从磁谱仪的基本公式出发, 把动量用能量 E_T 来表示, 则可得:

$$\frac{E_T}{(B\rho)_0^2(1 + x_F/D)^2} \propto \frac{Q^2}{A}. \quad (10)$$

从上式可看出, 如果做出 E_T 与 x_F 的双维图, 则图上给出的结构表示 Q^2/A , 它与 Z 的关联图如图 3 所示.

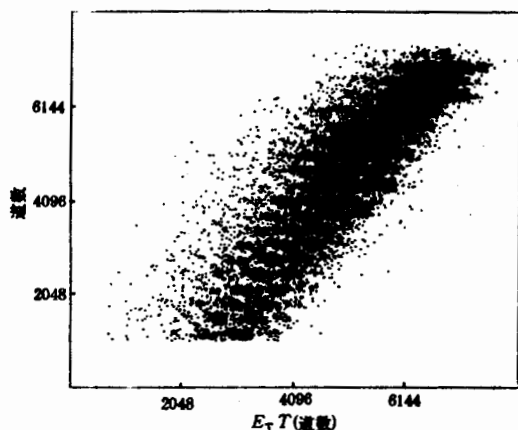


图 2 44MeV/u $^{129}\text{Xe} + ^{90}\text{Zr}$ 反应
 $E_T T$ 与 Z 的双维关联图

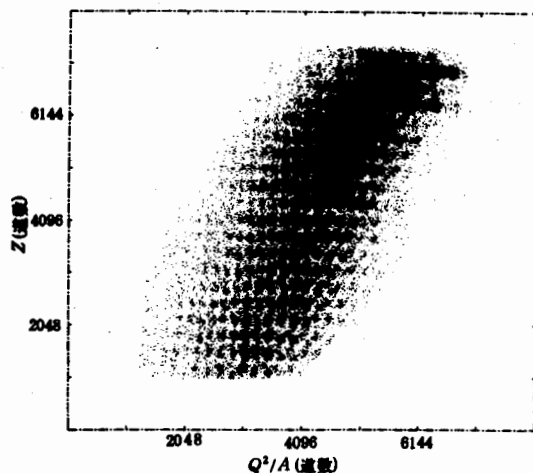


图 3 44MeV/u $^{129}\text{Xe} + ^{90}\text{Zr}$ 反应
 Q^2/A 与 Z 的关联图

结合(9)、(10)两式, 在 Z 、 Q 确定的情形下, 即可得到质量数 A 的鉴别, 分辨 $A/\Delta A$ 好于 55. A 、 Q 的投影谱如图 4 所示.

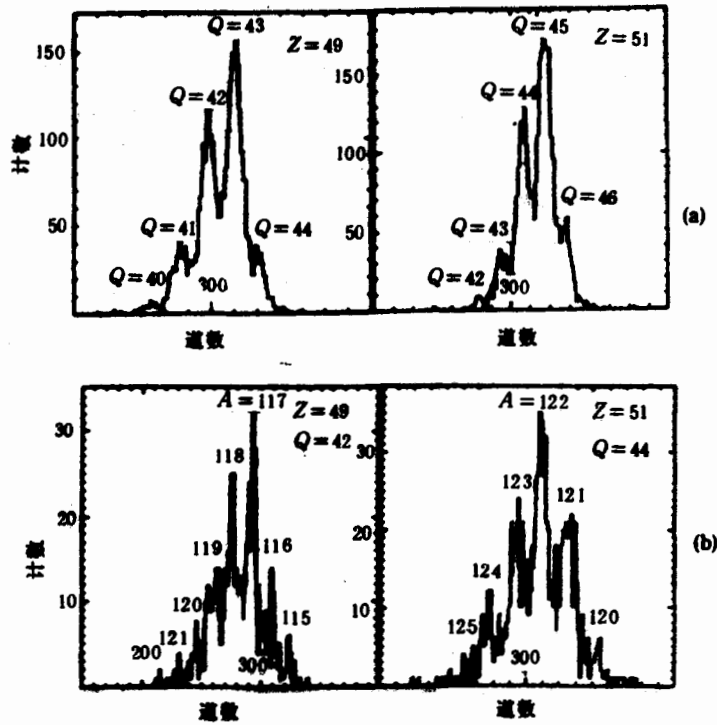


图4 44MeV/u $^{129}\text{Xe} + ^{90}\text{Zr}$ 反应电荷态分布 Q 谱、质量分布 A 谱

综上所述,本文利用能量-射程方法得到了中能重离子反应中重产物的 Z 谱,利用焦平面位置,结合能量和飞行时间做出各种双维谱,同时,对磁谱仪及探测器测得的物理量进行一定的软件修正,从而改善了分辨,较好地鉴别出反应产物的电荷态及质量数.实验测得的物理结果将发表在文献[5]中.

作者感谢法国 GANIL 的 Dr. W. Mittig 实验小组的友好合作.

参 考 文 献

- [1] I. Tanihata, *Treatise on Heavy Ion Science*, Vol. 8, 1989, P443, New York.
- [2] D. Bazin, *THESE*, GANIL, France, 1987.
- [3] L. Bianchi et al., *Nucl. Instr. Meth.*, A276(1989), 509.
- [4] N. Hasebe et al., *Jap. J. Appl. Phys.*, 26(1987), 2086.
- [5] Feng Jun Shen Wenqing et al., The measurement of isotopic distribution produced by 44 MeV/u ^{129}Xe on ^{90}Zr and ^{197}Au at SPEG, *Phys. Rev. C*, to be published.

A Method For Identifying Medium-Heavy Products Of Heavy Ion Reaction At SPEG Spectrometer

FENG JUN SHEN WENQING MA YUGANG

(*Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, 201800*)

ZHAN WENLONG ZHU YONGTAI GUO ZHONGYAN

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

ABSTRACT

A method for identifying medium-heavy products of heavy ion reaction on magnetic spectrometer is discussed. The determination of the charge state, atomic number, atomic mass of fragments of $44\text{MeV/u } ^{129}\text{Xe}$ on ^{90}Zr and ^{197}Au target are described. This is the first time to identify such heavy reaction products on the magnetic spectrometer at intermediate energy.