

# 一台重离子飞行时间谱仪

王琦 肖钦羨 李发渭

(中国科学院近代物理研究所)

## 摘 要

我们成功地研制了一台重离子飞行时间谱仪。以塑料闪烁薄膜加光电倍增管系统作为谱仪的起始时间探测器。用  $\text{Po}^{210}$  源调试得系统的时间分辨  $\sim 500\text{ps}$ 。在我所 1.5 米回旋加速器提供的  $72.7\text{MeV } ^{12}\text{C}$  束弹散带测得时间分辨  $\sim 600\text{ps}$ ，质量分辨  $\sim 0.3$ 。

## 一、前 言

重离子核反应的产物鉴别，最常见的手段是利用  $\Delta E-E$  望远镜系统确定碎片的电荷数  $Z$ ，并结合飞行时间技术，同时测定粒子的质量数  $A$ 。国内各核物理实验室中， $\Delta E-E$  望远镜技术及其应用已经比较成熟，而成功的重离子飞行时间谱仪尚未见公开报道。



图 1 重离子飞行时间谱仪质量鉴别原理示意图

图 1 是重离子飞行时间谱仪质量鉴别原理示意图<sup>[1]</sup>。束流轰击靶核，在  $\theta$  方向出射的反应产物的路径上，选取适当的飞行距离  $l$ ，在  $l$  的两端分别配置起始时间探测器和终止时间探测器，测得粒子飞行路径  $l$  的起始时刻  $t_1$  和终止时刻  $t_2$ ，从而求得粒子的飞行速度：

$$v = l / (t_2 - t_1), \quad (1)$$

我们知道，在非相对论情况下：

$$E = \frac{1}{2} m v^2, \quad (2)$$

一旦测定了粒子的能量  $E$  及其飞行时间(已知飞行距离  $l$ )  $t = (t_2 - t_1)$ ，也就确定了该反应产物的质量  $m$ 。

由(2)式不难得到,质量分辨

$$\Delta m/m = [(\Delta E/E)^2 + (2\Delta t/t)^2 + (2\Delta l/l)^2]^{1/2}, \quad (3)$$

其中,  $\Delta E/E$ 、 $\Delta t/t$ 、 $\Delta l/l$  分别为能量测量、时间测量和飞行距离测量的相对误差. 在这三项贡献中,  $\Delta l/l$  通常是很小的, 可以忽略; 我们用半导体探测器进行能量测量, 经过挑选, 可以得到误差  $\Delta E/E < 1\%$ , 在我们的条件下, 这一项贡献并不算大, 也就是说, 决定我们飞行谱仪质量分辨的主要因素是时间测量引起的误差  $\Delta t/t$ . 在时间测量中, 终止时间信号是从作为能量探测器的半导体上同时取得的, 所以, 我们调试飞行谱仪的大量工作是起始时间探测器(亦称零信号室)的研制.

为了使讨论的问题简化, 我们忽略飞行距离测量的误差  $\Delta l/l$ , 忽略能量测量的误差  $\Delta E/E$ , 以质量数  $A$  替代质量  $m$ , 则(3)式可推导出:

$$\Delta A/A = \Delta t/l \cdot 2.77 \times 10^{-3} \cdot (E/A)^{1/2}, \quad (4)$$

这里,  $E$ 、 $t$ 、 $l$ 、 $A$  的单位分别是 MeV、ps、cm 和 a. m. u. 以我所 1.5 米经典迴旋加速器目前提供的碳束为例来考虑, 每核子能量  $E/A \sim 6\text{MeV/a. m. u.}$  在  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$  反应中, 主要轻产物的质量数  $A$  不大于 20, 代入(4)式可得:

$$\Delta t/l = 7.3\text{ps/cm}, \quad (5)$$

(5)式表明, 在上述条件下,  $\Delta t/l$  是常量. 为了区分开不同质量数的粒子, 如果时间分辨  $\Delta t$  比较差, 那么就不得不增长飞行距离  $l$ . 换句话说, 提高质量分辨的途径有两条, 一是增加飞行距离  $l$ , 一是提高时间分辨  $\Delta t$ . 而前者是以牺牲立体角为代价的, 后者才更为可取.

根据(5)式, 我们列出了表 1, 供设计指标时参考.

表1  $A \leq 20$  的 6MeV/a.m.u. 的粒子质量鉴别系统设计要求

飞行距离 $l(\text{cm})$	50	100	150	200
时间分辨 $\Delta t(\text{ps})$	365	730	1095	1460

## 二、实验装置

我们的实验装置如图 2 所示. 起始时间探测器采用闪烁薄膜加光电倍增管系统<sup>[2,3]</sup>. 其结构方面的主要特点是:

(1) 闪烁薄膜位于抛物面形反射镜的焦点上, 反射镜用铝材料制成, 内部磨得十分光滑, 反射效率高. 整个反射镜尺寸很小, 系统的光程差不大于 0.08 ns.

(2) 用光电倍增管本身管壁密封真空, 反射镜与光电管之间直接耦合, 不用光导.

谱仪的终止时间信号和能量信号同时从金硅面垒半导体探测器取得.

闪烁膜用国产 ST-401 塑料闪烁体(发光衰减时间 2—3ns)自制而成. 滴膜时必须注意, 当溶液滴入水面后, 一定要适时地放入捞膜框架, 才能保证得到的膜既均匀又无皱纹或网孔.

使用的膜厚适当与否, 对谱仪的性能影响十分明显, 这要视被探测粒子的性质而定. 膜太薄了, 发光效率低, 信噪比不好, 时间分辨差; 太厚了, 多次散射严重, 且不易做得均匀,

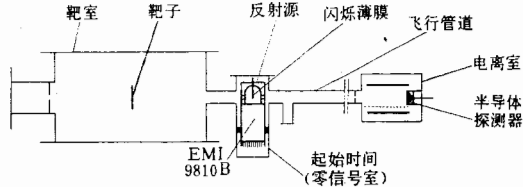


图2 飞行谱仪实验装置图

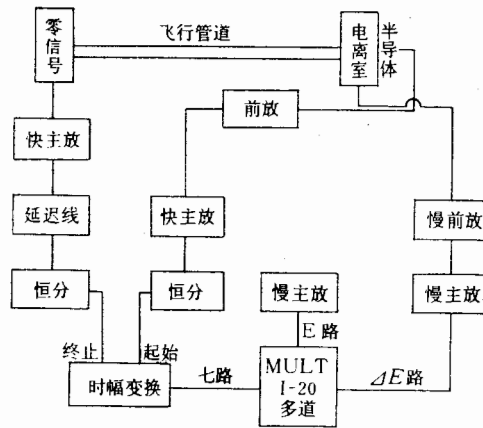


图3 时间特性测量电子学方框图

结果降低探测效率和谱仪的分辨。我们选用了  $660 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  的膜厚，得到了较好的效果。

ST-401 闪烁体的光谱主峰是  $4230\text{\AA}$ ，为匹配用了 EMI9810B 快光电倍增管。由于我们利用管壁密封真空，不得不将光电倍增管的分压供电系统由负高压改为正高压。

图3给出的是测试中所用的电子学框图。为了减小死时间，将零信号室的输出信号经延迟后作为时幅转换器的终止输入信号，而用终止时间信号(来自半导体)作为时幅转换器的起始输入信号。主放、恒分和时幅转换等插件的参数都需仔细调节，才能使其工作在最佳状态，从而得到好的时间特性。

### 三、结 果

用  $\text{Po}^{210}$   $\alpha$  源对谱仪的性能进行了调试。调试中飞行距离  $l = 5\text{cm}$ ，光电管高压  $V = 2160\text{V}$ ，真空度  $\sim 5 \times 10^{-3}$  托，得到系统的时间分辨  $\sim 500\text{ps}$ ，其中，半导体探测器及电子学的时间晃动  $\sim 110\text{ps}$ 。

在我所 1.5 米迴旋加速器上测试时，束流为  $72.7\text{MeV}$  的  $^{12}\text{C}$ ，探测器系统固定在实验室

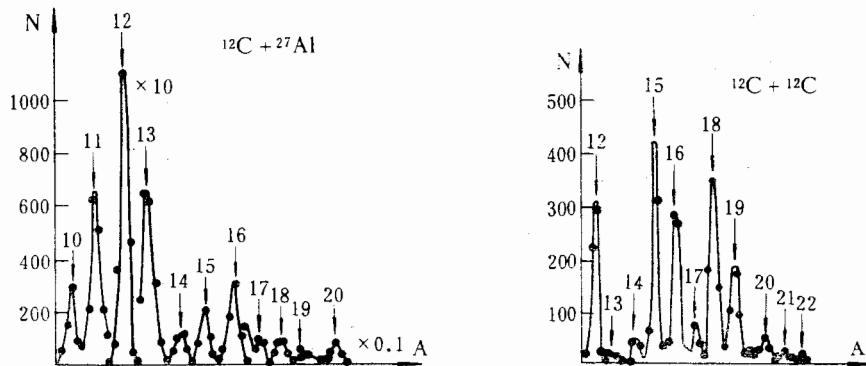


图4  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$ 、 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  质量谱  
( $E_i = 72\text{MeV}$ ,  $\theta_i = 12^\circ$ )

系  $12^\circ$ , 飞行距离  $l = 121.6\text{cm}$ , 在 Plurimat-N 系统上按事件获取  $E-T$  二维谱, 数据离线在 WANG VS2200 计算机上进行处理, 图 4 给出的分别是  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  和  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$  的质量谱. 测试中得到系统的时间分辨  $\sim 600\text{ps}$ , C 弹散带质量分辨  $\Delta m \sim 0.3$ , 即可区分的最大质量数  $A \sim 33$ .

该谱仪于 1981 年研制成功. 结合  $\Delta E-E$  望远镜系统, 已用于我所 1982 年  $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$  和  $^{12}\text{C} + ^{27}\text{Al}$  的  $\Delta E-E-T$  三参数测量之中, 鉴别了类弹反应产物的同位素.

1981 年参加谱仪上器测试工作的, 还有冯恩普, 才景祥, 朵含宏, 靳根明, 陈巨声, 王晓秋等同志.

### 参 考 文 献

- [1] R. R. Betts, *N. I. M.* **162**(1979), 531.
- [2] C. K. Gelbke et al., *N. I. M.* **95**(1971), 397.
- [3] T. M. Cormier et al., *N. I. M.* **119**(1974), 145.

## A TIME-OF-FLIGHT SPECTROMETER FOR HEAVY IONS

WANG QI XIAO QIN-XIAN LI FA-WEI

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

A heavy-ion time-of-flight spectrometer has been constructed and operated successfully in our experiments. The trigger detector consists of a thin plastic scintillator foil located at the focus of a parabolic mirror which is coupled to a fast photomultiplier with high light collection efficiency. The time resolution obtained for the system is around 500ps. The mass resolution for  $A=12$  elastically scattered  $^{12}\text{C}$  line is  $\sim 0.3$ .