

## 测量迴旋加速器束流能量的一种简易方法

姚則悟 肖根来 程曉伍

加速器能量刻度有许多方法,在刻度靜电加速器和高压倍加器能量时,广泛利用核反应的共振峯、中子阈能、 $\alpha$  粒子衰变能等方法。但这些方法只能应用于较低的能量范围 ( $E_p \leq 4$  兆电子伏)。测量束流能量的另外一些方法,如射程测量和飞行技术,都需要有比较复杂的实验系统。最近有人提出利用反应动力学来确定能量的方法<sup>[1,2]</sup>,例如测量质子能量时可用含碳氢的有机薄膜做靶,确定  $p$ - $p$  散射和激发  $C^{14}$  第一受激态的二群质子的脉冲幅度和散射角的变化关系,再从他们的相交点推算入射束流的能量。

这里我们介绍一种将动力学和射程能量结合起来的方法,在应用中证明是简单和可靠的。

### 一、原 理

在非相对论情况下,质量为  $M$ 、能量为  $E_i$  的入射粒子与质量为  $M_i$  的靶核弹性散射后,在实验室系统散射粒子能量随散射角  $\theta$  的变化关系为

$$E^{1/2}(\theta) = \frac{ME_i \cos^2 \theta \pm \{M^2 E_i \cos^2 \theta + (M_i + M)(M_i - M)E_i\}^{1/2}}{M_i + M}$$

对于质子在氢上的弹性散射,上式可简化成

$$E(\theta) = E_i \cos^2 \theta. \quad (1)$$

此式对于给定的  $\theta$  角可单值地确定  $E(\theta)$ 。

另外,带电粒子进入吸收物质后,由于电离而引起能量损失,速度逐渐降低,最后终于停止。其射程  $R$  可表示成

$$R(E_0) = - \int_{E_0}^0 \frac{dE}{dE/dx},$$

其中:  $\frac{dE}{dx}$  为能量损失率;  $E_0$  为带电粒子进入物质时的能量。

假设能量为  $E_0$  的入射粒子通过厚度为  $T$  [ $T < R(E_0)$ ] 的吸收片后,能量降低为  $E_1$ , 则

$$T + R(E_1) = R(E_0),$$

即

$$R(E_1) = R(E_0) - T.$$

由于能量与射程是单值地一一对应,所以可得如下关系式:

$$E_1 = E_1 \{R(E_0) - T\}. \quad (2)$$

我们先将探测器放在  $\theta_0$  的位置,此时散射粒子的能量为  $E_0$ , 对应的脉冲幅度为  $P_0$ , 然后在探测器前面加已知厚度  $T_1$  的吸收片,此时散射粒子的能量降为  $E_1$ , 对应的脉冲幅度降为  $P_1$ . 移开吸收片,将探头向大角度方向移动,直至粒子的能量和对应的脉冲高度也分别等于  $E_1$  和  $P_1$  为止,这时的角度为  $\theta_1$ . 我们即有下列关系式:

$$E_1 \{R(E_i \cos^2 \theta_0) - T_1 - T_0\} = E_1 \{R(E_i \cos^2 \theta_1) - T_0\},$$

其中  $T_0$  为晶体前面反射层的厚度。由于能量与射程一一对应,所以

$$R(E_i \cos^2 \theta_0) - T_1 - T_0 = R(E_i \cos^2 \theta_1) - T_0,$$

即

$$R(E_i \cos^2 \theta_0) - R(E_i \cos^2 \theta_1) = T_1. \quad (3)$$

因此,实验上确定  $T_1$ ,  $\theta_0$ ,  $\theta_1$  后,即可计算  $E_i$ .

## 二、实验装置及过程

我们利用此方法测量了 1.2 米迴旋加速器质子束能量. 探测仪器是分辨率为 3% 的 CsI(Tl) 单晶闪烁谱仪及百道脉冲分析器. 吸收片为铝片,其厚度  $T_1=32.24$  毫克/厘米<sup>2</sup>, 靶子是聚苯乙烯的,厚度为 7 微米.

实验是在大靶室内进行的. 质子束通过 2 毫米准直孔, 探头和吸收片分别放在可以转动 360° 的转臂上,转臂位置可读至 1'. 靶和探测器距离为 325 毫米, 探测器的孔径为 2 毫米.

首先把探测器放在束流的一侧,取  $\theta_0 = 19^\circ 40'$ , 前面挡上吸收片,记下质子在氢上的散射质子群的脉冲在百道分析器上的位置. 然后移走吸收片,将探测器向大角度方向移动,直至散射质子群的脉冲有相等的幅度,此时  $\theta_1 = 38^\circ 55'$ . 重复此步骤以验证电子学线路的稳定性. 将探测器移到束流的另一侧,作同样的测量,以消除靶室的不对称性所引起的误差. 根据测定的  $\theta_0$  和  $\theta_1$  数值以及吸收片的厚度,算出束流的能量为 6.64 兆电子伏(见图). 经靶厚修正后,得入射粒子能量为 6.68 兆电子伏.

## 三、误差估计和讨论

利用这种方法测量能量的主要误差有下列几方面:

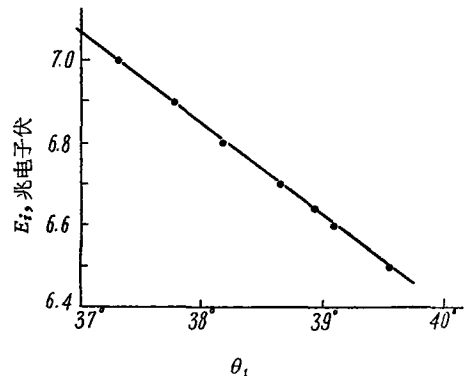
**1. 角度测定的误差** 由于入射束流靶点的有限大小,探测器的有限张角,以及决定质子群的脉冲在百道分析器上的位置的不确定性,引起决定  $\theta_1$  的误差为  $\pm 15'$ , 相应的能量误差为  $\pm 60$  千电子伏.

**2. 吸收片和靶片厚度的误差** 我们用机械压制的铝片作吸收片,用称重法决定其厚度,估计厚度误差为  $\pm 1\%$ . 靶片厚度误差为  $\pm 30\%$ . 相应的能量误差为  $\pm 40$  千电子伏.

**3. 能量射程关系曲线的误差**<sup>[3]</sup> 曲线本身有 0.2% 的误差,相应的能量误差为  $\pm 20$  千电子伏.

考虑到以上三方面的误差,我们测定的能量值为  $6.68 \pm 0.08$  兆电子伏.

这种方法的主要优点是简单可靠,在做精确的核反应实验时,我们希望在整个实验过程中,入射束流的能量是固定不变的. 利用这种方法,可以经常检查束流能量的稳定性. 如果改进探测器的分辨率,例如用半导体探测器代替闪烁探测器,并改进散射几何,则测量的准确度还可提高. 另外,我们也可以采用这种方法来测量氘束和  $\alpha$  束的能量,测量氘束能量时仍可用含氢物质做靶,测量  $\alpha$  束的能量时用碳靶较为适宜.



$E_i$  与  $\theta_1$  的关系

$\theta_0 = 19^\circ 40'$ ,  $T_1 = 32.24$  毫克/厘米<sup>2</sup>,按公式(3)计算而得到的.

## 参 考 文 献

- [1] G. Heymann et al., *Nucl. Instr. & Methods*, **24**, 125 (1963).  
 [2] B. M. Bardin and M. E. Rickey, *Rev. Sci. Instr.*, **35**, 902 (1964).  
 [3] H. Bichsel, *Phys. Rev.*, **112**, 1089 (1958).

(编辑部收稿日期 1965 年 10 月 23 日)