

入射离子特征X射线分析研究*

何明·姜山·武绍勇·蒋崧生

摘要·为了开展重核同量异位素鉴别方法研究,建立了入射离子特征X射线测量方法,开展了利用入射离子X射线法的应用工作。

关键词·入射离子X射线,分析,同量异位素

Study of analyzing the characteristic projectile X-rays

HE Ming · JIANG Shan · WU Shaoyong · JIANG Songsheng ·
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413) ·

Abstract · In order to discriminate isobar of heavy nuclei, a projectile X-ray detection (PXD) method has been developed. Some of the application works using the PXD method have been carried out. ·

Key words · Projectile X-ray, Analysis, Isobar ·

· · 在加速器质谱(AMS)测量中,对被测核素产生干扰的主要是它的同位素和同量异位素,其中排除同量异位素的干扰是AMS测量中的关键环节。目前常用的方法是利用同量异位素在介质中不同的能量损失来进行鉴别。但这种方法需要离子的能量达到1-5MeV/核子,且这种方法对于核电荷数 $Z < 20$ 的核素比较有效,对于 $Z > 30$ 的核素则需要更高的能量(10MeV/核子),因此对于重核的AMS测定就需研究新的同量异位素鉴别方法。目前国际上开展了利用入射离子打在靶上,测量入射离子产生的特征X射线来达到排除同量异位素的干扰^[1-4],这种方法和AMS法有机地结合在一起可有效地提高测量重核的灵敏度。

1·入射离子X射线测量装置

· · 为了开展重核(如 ^{79}Se , ^{126}Sn)的测量工作,我们对入射离子产生的特征X射线进行了测量。在中国原子能科学研究院的AMS系统专用管道的末端建立了产生X射线的靶室,在靶室里有一测量离子数目的金硅面垒半导体探测器,在靶的后面用一25 μm 的Capton膜封真空和吸收低能X射线,将Si(Li)探测器放在Capton膜后测量X射线,Si(Li)探测器与入射离子方向的夹角为 15° ^[4]。

2·入射离子X射线的产额

· · 根据Meyerhof^[5]的讨论,入射离子X射线的产额和靶有很大的关系,为研究 ^{79}Se 测量中Se的X射线产额及其干扰核素 ^{79}Br 的X射线产额,分别用Se和Br作为入射离子,用厚度为2.4mg/cm²左右的Ni、Zn、Y、Zr为靶,测定入射离子和靶核的 K_α 射线的产额·实验结果得出入射离子X射线的产额与入射离子和靶离子的关联非常大,在一定入射离子下靶核的X射线产额随靶(Z_2)急剧变化,而

入射离子的X射线产额随靶有一峰值,此峰值是在入射离子K壳层电子结合能和靶离子K壳层电子结合能比较接近的区域,此时入射离子产生K壳层的电离截面大,产生K X射线的几率就高。
· · 入射离子产生X射线是离子在通过靶核的慢化过程中放出的,这些X射线会产生Doppler位移,Doppler位移的大小由下式给出

$$E=E_0[1+(v/c)\cos \theta]$$

式中, E_0 为静止时发射X射线的能量, v 为离子的速度, c 为光速, θ 为离子运动方向与探测器的夹角。由于离子在靶的慢化过程中发射特征X射线,因此X射线谱会产生多普勒展宽,它对于X射线分析很不利。在 θ 为 90° 时Doppler展宽为0,但 θ 为 90° 时将减小测量的立体角,另外对于实验装置的安排也存在困难。减小Doppler效应的另一个办法是用薄靶使离子在靶中通过时损失能量小,就能有效地降低Doppler展宽,但用薄靶的缺点会降低X射线的产额。为了研究靶厚与Doppler移动及与X射线产额的关系,分别用80MeV的 ^{78}Se 和 ^{79}Br 打在不同厚度的Zr靶上,表1是在不同厚度的Zr靶上厚度与X射线的产额 Y 、能量分辨(FWHM)、压低因子 $R_{\pm \sigma}$ 及 $R_{\pm 2 \sigma}$ 的关系,压低因子定义为Br峰的总计数与Br峰在Se峰的 $\pm 1 \sigma$ ($\pm 2 \sigma$)范围内拖尾的计数之比。

表1 · 靶厚与Se的X射线产额 Y 、能量分辨及压低因子的关系
Table 1 The relationship of the target thickness with the X-ray yield, FWHM · and the suppression factors

Zr靶厚 Target thickness	$Y/\text{ka}\cdot\text{ion}^{-1}$	FWHM/eV	$R_{\pm \sigma}$	$R_{\pm 2 \sigma}$
$2.4\text{mg}/\text{cm}^2$	1.2×10^{-2}	291	89	45
$1.77\text{mg}/\text{cm}^2$	1.45×10^{-2}	279	127	60
$1.25\text{mg}/\text{cm}^2$	1.05×10^{-2}	266	180	84

3 · 入射离子X射线测量的应用

· · 入射离子X射线测量装置建立后,首先开展了 ^{79}Se 的测量方法研究,利用入射离子发出的特征X射线的能量不同,将 ^{79}Se 测量中的同量异位素 ^{79}Br 排除,在选取合适的靶和厚度的情况下可将 ^{79}Br 的干扰本底压低两个数量级,而在此能量下用能量损失的办法是无法做到的 · 其次利用AMS系统和入射离子X射线法对将用于放射性束(^{64}Cu)实验的离子束的成分进行了测量,分析出在用铜靶模拟 ^{64}Cu 束流时离子通过分析磁铁后同位素及同量异位素的含量(表2)。

表2 · 铜靶离子束成分的AMS分析结果
· Table 2 The results of the ion-beam components of copper target

成分 Composition	离子数 $\text{Ion}\cdot\text{s}^{-1}$	含量 Content/%
^{64}Ni	8.5	10
^{65}Cu	9.0×10^4	36.2
^{63}Cu	6.8×10^4	27.3

^{64}Zn	4.0×10^4	1.4
------------------	-------------------	-----

· · 总之,利用入射离子特征X射线能有效地排除重离子测量中同量异位素的干扰,提高测量的灵敏度。它在排除同量异位素和测量装置简单化等方面的优势足以弥补其效率低的缺点。

* 国家自然科学基金(19675075)资助项目
作者单位：中国原子能科学研究院 · 北京 · 102413

参考文献

1 Michael J M Wagner, Hans-Arno Synal, Martin Suter. Nucl Instr Meth, 1995, B99:519-523 ·
2 Michael J M Wagner, Hans-Arno Synal, Martin Suter. Nucl Instr Meth, 1994, B89:266-269 ·
3 McAninch J E, Bench G S, Freeman S P H T. Nucl Instr Meth, 1995, B99:541-545 ·
4 蒋崧生,何明. 物理,1998, 27(12):744 ·
5 Meyerhof W E, Robert Anholt, Saylor T K, et al. Phys Rev, 1976, A5:1653-1661

· · · · 收稿日期:1998-06-17,修回日期:1998-09-23