

文章编号: 1007-4627(2004)04-0404-03

利用加速器质谱方法测量 $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$ 反应截面*

何 明¹, 杨耀云¹, 姜 山¹, Y. Nagashima², T. Takahashi²,

刘克新³, 董克君¹, 任小唐³, 武绍勇¹

(1 中国原子能科学研究院, 北京 102413;

2 Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-857, Japan;

3 北京大学重离子物理研究所, 北京 100871)

摘 要: ^{26}Al 是核天体物理非常重要的一个核素, $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$ 的反应截面可能是天体 ^{26}Al 的一个来源. 介绍了利用 AMS 方法测量 $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$ 反应截面的过程, 包括靶的照射、化学分离、 ^{26}Al 原子数的 AMS 方法测量及最后的核反应截面值.

关键词: 加速器质谱; 反应截面; $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$

中图分类号: TL817.4; O571.4 **文献标识码:** A

1 引言

20 世纪 80 年代利用空间探测器测量到天体中有较强的 1.809 MeV γ 射线^[1], 此 γ 射线被认为是基态的 ^{26}Al 衰变所放出的. 由于 ^{26}Al 的半衰期 (7.2×10^5 a) 相对于天体演化 (10^9 a) 来讲是非常小的, 这说明在天体中一直不断地合成 ^{26}Al , 自从此 γ 射线被探测到以后, 关于 ^{26}Al 来源的问题一直是天体物理的一个非常有意义的研究课题^[2]. 其中有观点认为在超新星爆炸过程中通过氧氮融合反应也是产生星际 ^{26}Al 的一个来源^[3], 要得到此反应在天体中对于 ^{26}Al 合成的贡献就必须知道此反应在天体温度下的反应截面, 但要真正实现天体温度下核反应截面的测量基本上是无法实现的, 大部分都是采用相关数据进行外推得到的. 本工作就是利用加速器质谱 (AMS) 测量 ^{26}Al 灵敏度高的特点开展近垒及垒下能区此反应截面的测量.

利用 AMS 实现核反应截面的测量一般要经过以下 3 个过程: (1) 样品照射, 以通过核反应产生要测量的核素; (2) 化学提取所要测量的核素; (3) 利用 AMS 对通过反应产生的所要测量核素的原子数进行测量. 由轰击靶的总入射离子数 Q , 靶的原子数 N , 及最后利用 AMS 方法测量得到的特定放射性核素的原子数 N_r , 由公式 $\sigma = N_r / (QN_r)$ 即可得

到核反应截面. 这种方法要求被测核素是放射性核素, 而且半衰期要相对的长, 一般是几年以上.

2 靶室的制备和照射

对于照射实验, 靶的制备是关键的一环. 对于此反应的照射实验要求靶要相对的薄, 而且要导电, 实验最终选定 TiN 作为靶材料, 它的熔点高, 是电的良好导体, 而且通过溅射方法可以将 TiN 镀在铜片 (厚度 20 μm) 上, 因此可以制备成不同厚度的 TiN 靶. TiN 靶的制备是在中国原子能科学研究院的制靶实验室完成的, 靶的厚度一般在 280 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 左右, 直径为 18 mm.

靶室的设计要求在照射时束流能准确地轰击在靶上, 同时能准确测量束流, 而且也要有冷却装置, 以降低照射时靶温度的升高. 根据这些要求, 我们设计了一套能够很快换靶的靶室装置, 其中的照射部分如图 1 所示, 镀有 TiN 的铜片则与后面测量束流的杯子紧紧相贴, 冷却装置采用滴水的方式.

靶的照射是在北京大学重离子物理研究所的加速器上进行的, 利用加速器将选定能量的氧离子聚在靶上, 为了确保束流准确全部地打在靶上, 在束流轰击 TiN 靶之前, 首先利用石英靶观看束斑的位

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10105017)

作者简介: 何 明 (1969-), 男 (汉族), 河南西峡人, 博士, 副研究员, 从事加速器质谱研究; E-mail: minghe@iris.ciae.ac.cn

置、大小,在实际照射时要保证束斑位于靶的中心,束斑直径为 10 mm. 在束斑满足要求之后换上 TiN 靶,滴加冷却水并接通束流测量装置,进行靶的照射,束流的大小一般控制在小于 1 pA,照射时间要根据不同入射能量做不同的选择,我们此次的实验目的就是测量在近垒和垒下的反应截面,因此我们分别选取了质心系能量为 9.5, 7.9, 7.5, 6.6 和 5.6 MeV 等 5 个能量点进行照射,照射时间从 2 h 到 50 h 不等,在照射过程中每过一段时间检测束斑的位置和形状.

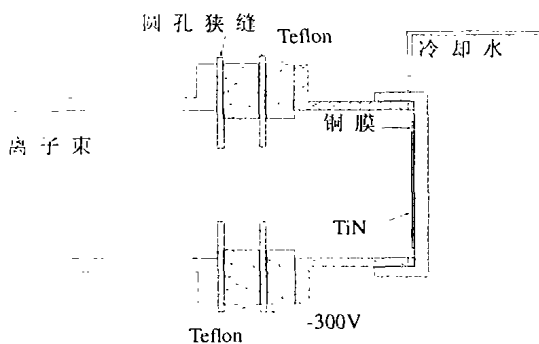


图1 照射装置

3 样品的化学制备

照射产生的 ^{26}Al 原子最终停留在吸收片里(TiN 和 Cu 片),通过核反应产生的 ^{26}Al 的原子数大约在 10^7 左右,因此要将核反应产生的 ^{26}Al 通过化学方法提取出来就必须添加它的稳定同位素作为载体.由测定的 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 的比值和所加的 ^{27}Al 载体的量就可得到通过核反应产生的 ^{26}Al 的原子数.此化学流程不仅要将 ^{26}Al 通过载体把它提取出来,而且为了提高样品的纯度,需要将作为吸收片的铜给排除掉,为此设计了一套化学制备过程.简要的化学制备流程如下:(1)准确称取一定质量的 ^{27}Al 单质(~ 2 mg),与吸收片一起放入容器中;(2)滴加一定量的“王水”溶解 TiN, Cu 及 Al,然后加入去离子水;(3)在溶液中滴加氨水,使 $\text{pH} \approx 8$,此时 Al 以 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的形式形成沉淀, Cu 则在溶液中,离心分离,将 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 分离出来;(4)将 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 加热到 1000°C ,并持续 1 h,制备成适宜 AMS 测量的 Al_2O_3 样品.

4 ^{26}Al 原子数的 AMS 方法测定

^{26}Al 的 AMS 测定是在日本筑波大学的 AMS

系统^[4]上完成的.对于 ^{26}Al 的 AMS 测量国际上一般是采用从离子源引出原子离子的方法,采用此方法的优势就是可以有效排除测量 ^{26}Al 时同量异位素 ^{26}Mg 的干扰,但是这种方法的缺点是铝的电离效率低,引出的束流也很小,从而影响测量的灵敏度,特别是在样品量比较小的情况下采用这种方法就有更大的局限性.引出分子离子 AlO^- 时其电离效率就极大地增加, AlO^- 的束流大约是 Al^- 束流的 20 倍,但是引出分子离子就会引入同量异位素 ^{26}Mg 的干扰.日本筑波大学的 AMS 系统则是采用引出分子离子的方法,然后采用全剥离(二次剥离)的技术排除 ^{26}Mg 的干扰,实现 ^{26}Al 的高灵敏测量.其测量过程简述如下.

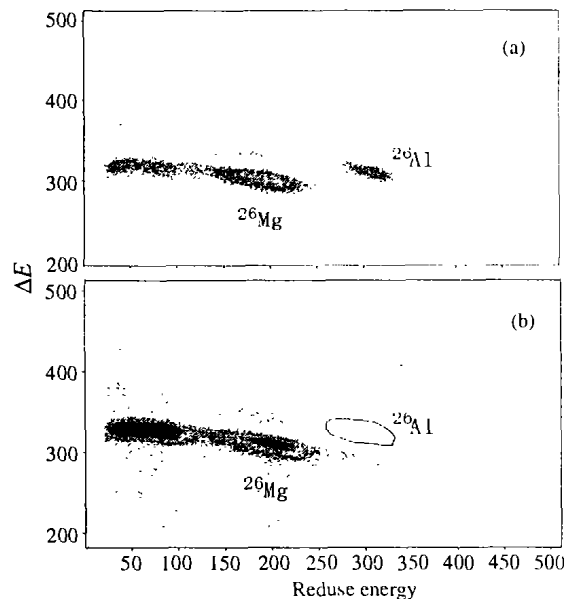


图2 探测器测量所得的双维谱

(a) 标准样品($^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al} = 7.4 \times 10^{-11}$); (b) 空白样品,结果显示,测量灵敏度($^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$)好于 2×10^{-15} .

将化学形式为 Al_2O_3 的样品放入离子源靶锥,从离子源引出 $^{26}\text{AlO}^-$ 离子,经注入磁铁后其同位素基本被排除,只有其同量异位素 $^{26}\text{MgO}^-$ 的飞行路径和 $^{26}\text{AlO}^-$ 飞行路径一样,分子离子经端电压设置在 10.2 MV 的加速器加速后,利用 90° 的分析磁铁选择电荷态为 7+, 对应能量为 78 MeV 的 ^{26}Al ,此时 ^{26}Mg 仍然和 ^{26}Al 飞行路径相同.为排除 ^{26}Mg 的干扰,在离子经过开关磁铁后利用厚度为 $40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳膜对离子进行二次剥离,其中 ^{26}Al 被全剥离的几率大约为 10%,再利用后面的静电分析器和磁分析器对电荷态为 13+ 的离子进行选择.对于

^{26}Mg 而言,其最高电荷态为 12+,因此经过静电分析器和磁分析器选择后可以极大地排除 ^{26}Mg 的干扰.图 2(a)(标准样品)和图 2(b)(空白样品)是最后离子进入探测器后测得的双维谱.从谱图可以看出,利用此方法可以很好地排除干扰,对空白样品的测量灵敏度好于 2×10^{-15} .在此基础上,对经过上述化学流程处理的样品进行了测量.实验对质心系能量为 9.5, 7.9 和 6.6 MeV 的样品进行了测定.

5 结果与讨论

利用 AMS 测量 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比值的结果,以及最后的反应截面的结果列于表 1,其中前人通过测量瞬发 γ 射线的结果^[5]也列于表 1(此结果是从已

发表文章的激发曲线上得到的,因此只能是一个大概的值).从两者结果的比较可以看出,在质心系能量为 9.5 和 7.9 MeV 时,两者的结果很好地符合,而在能量为 6.6 MeV 时,两个结果相差较大,为检验此结果,另两个能量在 6.6 MeV 左右的样品将被测量,这些结果将会为关于 ^{26}Al 的星际起源提供非常重要的数据.

表 1 $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 比值及截面的测量结果

E_{cm}/MeV	$^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ [10^{-13}]	σ/b	前人的结果 σ/b
9.5	5.20 ± 0.56	$(2.20 \pm 0.28) \times 10^{-3}$	2.1×10^{-3}
7.9	4.45 ± 0.58	$(2.70 \pm 0.39) \times 10^{-4}$	2.5×10^{-4}
6.6	10.10 ± 1.50	$(2.25 \pm 0.39) \times 10^{-5}$	1×10^{-5}

参 考 文 献:

- [1] Mahonney W A, Ling J C, Jacobson A S, *et al.* *Astrophysical Journal*, 1982, **262**: 742.
- [2] Christel Vuissoz, Georges Meynet, Jurgen Knödseder, *et al.* *New Astronomy Review*, 2004, **48**: 7.
- [3] 彭秋和. *物理学进展*, 1995, **15**: 79.
- [4] Nagashima Y, Seki R, Takahashi T, *et al.* *Nucl Instr and Meth*, 2000, **B172**: 129.
- [5] Switkowski Z E, Stokstadr G, Wieland M. *Nucl Phys*, 1977, **A279**: 502.

Measurement of $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$ Cross Section by AMS Method*

HE Ming¹, YANG Yao-yun¹, JIANG Shan¹, Y. Nagashima², T. Takahashi²,

LIU Ke-xin³, DONG Ke-jun¹, REN Xiao-tang³, WU Shao-yong¹,

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;*

2 *Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-857, Japan;*

3 *Institute of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871, China)*

Abstract: The ^{26}Al is one of the important nuclide in the astrophysics. The reaction, namely $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$, may be one of the origin of the source of ^{26}Al in the cosmic. The procedures of the cross section measurement with accelerator mass spectrometry (AMS) method are discussed, In this paper, the irradiation experiment, chemical separation and ^{26}Al measurement are described. The results of cross-section around sub-barrier energies are also represented.

Key words: accelerator mass spectrometry; cross section; $^{14}\text{N}(^{16}\text{O}, \alpha)^{26}\text{Al}$

* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10105017)