

文章编号: 1007-4627(2006)02-0127-03

13.5—14.6 MeV 能区中子引起的 $^{89}\text{Y}_{39}(n, 2n)^{88}\text{Y}_{39}$ 反应截面的测量

易艳玲, 周丰群, 拓 飞, 孔祥忠[#]
(兰州大学现代物理系, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 用 $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ 和 $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89\text{m}+8}\text{Zr}$ 截面比法测定中子能量, 以 $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ 反应截面作中子注量标准, 用活化法测量了 13.5—14.6 MeV 中子引起的 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 的反应截面值。由 (13.5 ± 0.3) , (14.1 ± 0.2) , (14.6 ± 0.3) MeV 中子引起的 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 反应截面值分别为 (759 ± 42) , (835 ± 42) 和 (958 ± 53) mb。

关键词: 钇; 快中子; 反应截面; 活化法; 放射性活度

中图分类号: O571 **文献标识码:** A

1 引言

核反应截面是核物理学中的重要研究课题之一, 它能揭示入射粒子与靶核相互作用机制, 可加深对核力、核结构的认识, 是检验核理论的基本依据; 同时也是核技术和核能利用的基础数据, 特别是在核反应理论模型的建立和完善、聚变反应堆的设计、军用核数据库的建设以及天体基础物质形成理论方面的研究都有重要意义。快中子活化核反应截面是核技术应用和核物理研究中非常重要的核数据, 可用于验证、改善和发展核反应模型理论, 在核测试、核裂变与聚变反应堆技术以及核废物处理等方面有广泛的应用价值。在反应堆的物理设计中需要大量的核数据, 特别是中子截面数据, 利用中子截面及有关数据作为基本参数输入数学方程式来计算有效倍增系数、临界质量、燃料浓度、反应堆临界体积、中子通量、安全系数、动力学核动态特性。稀土金属元素钇作为热核反应堆材料之一, 测量它受聚变中子的辐照截面也就显得特别重要。在 14 MeV 能区, 已有许多人对钇的反应截面进行过测量, 但在已有测量的数据中, 存在很大的分歧, 因此, 进一步测量钇的反应截面是十分必要的。本工作用活化法完成了 13.5—14.6 MeV 中子

引起的 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 的反应截面测量。

2 实验过程

样品照射实验是在兰州大学 ZF-300-II 型强流中子发生器上进行的, 以 $\text{T}(d, n)^4\text{He}$ 反应作为中子源, 平均入射氘束能量 $E_d = 135$ keV, 束流强度 $I_d = 500$ μA , 氘-钛靶厚为 1.35 mg/cm^2 , 中子产额为 3×10^{10} — 4×10^{10} n/s, 照射时间为 131 min。辐照过程中, 中子产额变化用伴随粒子法来监督, 以便对中子注量波动进行修正。3 组样品分别放在与入射氘束方向成 0° , 90° 和 135° 的角度上。通过用 $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$ 和 $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89\text{m}+8}\text{Zr}$ 截面比法测定, 在这 3 处中子能量分别为 14.6 ± 0.3 , 14.1 ± 0.2 和 13.5 ± 0.3 MeV。每组样品均由两监督片铌片夹钇样品组成, 监督片及样品均做成直径为 20 mm 的圆片形状。所用钇样品为三氧化二钇的化合物, 其纯度为 99.999%。

在本次实验中, 产物核的 γ 放射性活度采用国产 CH8403 同轴高纯锗 γ 谱仪测量, 相对效率为 20%, 能量分辨在 1.33 MeV 时为 3 keV。对探测器的探测效率进行了精确刻度, 在距高纯锗 (HPGe) 探测器 2 cm 处效率误差小于 1.5%。

收稿日期: 2005-11-20; 修改日期: 2006-01-09

作者简介: 易艳玲(1979-), 女(汉族), 江西宜春人, 硕士研究生, 从事原子核物理实验研究; E-mail: yiy103@st.lzu.edu.cn

[#] 联系人: 孔祥忠, E-mail: kongxz@lzu.edu.cn

实验中剩余核的半衰期、 γ 射线能量、强度以及靶核丰度列于表 1 中, 这些数据取自文献[1]。在计算 γ 放射性活度时, 对 neutron 注量波动、 γ 射线在样品中的自吸收、 γ 射线的级联符合效应及测量几何进行了修正。

表 1 靶核丰度和产物核衰变数据

靶核丰度 (%)	反应	半衰期/d	E_γ /keV	I_γ (%)
100	$^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$	106.065	898.042	93.68
100	$^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$	10.15	934.44	99.074

3 实验结果及讨论

反应截面的计算公式为^[2]

$$\sigma_x = \frac{[\varepsilon \cdot I_\gamma \cdot \eta \cdot K \cdot S \cdot M \cdot D]_0}{[\varepsilon \cdot I_\gamma \cdot \eta \cdot K \cdot S \cdot M \cdot D]_x} \cdot \frac{[\lambda \cdot A \cdot F \cdot C]_x}{[\lambda \cdot A \cdot F \cdot C]_0} \sigma_0$$

式中, 下标“x”和“0”分别表示钇样品和铌监督片的值, ε 为所测的特征 γ 射线全能峰效率; I_γ 为特征 γ 射线的强度; η 为所测的同位素丰度; $S = 1 - e^{-\lambda t}$ 表示剩余核的生长因子; λ 为衰变常数; T 是总的中子照射时间; M 为样品质量; $D = e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}$ 为测量收集因子, t_1 为从照射结束到测量开始的时间间隔, t_2 为照射结束到测量结束的时间间隔; A 为样品元素的原子量; C 为实测的全能峰面积; F 为总的 γ 活度校正因子, 其中主要包括射线在样品中的自吸收校正和几何校正。 K 为 neutron 注量波动校正因子, 其表达式为

$$K = \frac{\sum_{i=1}^l \Phi_i \cdot (1 - e^{-\lambda \Delta t_i}) \cdot e^{-\lambda T_i}}{\Phi S}$$

参考文献:

[1] Brone E, Firestone R B. Table of Radioactive Isotopes. USA, 1996.
 [2] 王永昌, 袁俊谦, 任忠良等. 高能物理与核物理, 1991, 15: 73.
 [3] Filatenkov A A, Chuvaev A V, Aksenov V N, et al. RI-252, 1999.

式中, l 为将照射时间分成的段数, Δt_i 为每段的时间间隔, Φ_i 为在时间 Δt_i 内入射到样品上的平均中子通量, Φ 为在 T 时间内入射到样品上的平均中子通量。

$^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$ 的反应截面取自文献[3], 截面测量的主要误差来源于探测效率、计数统计、自吸收校正、测量几何校正、标准截面、样品称重及确定平均中子能量的误差等。

为了进一步分析讨论, 图 1 给出了本次实验 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 反应截面测量值以及参考文献值。

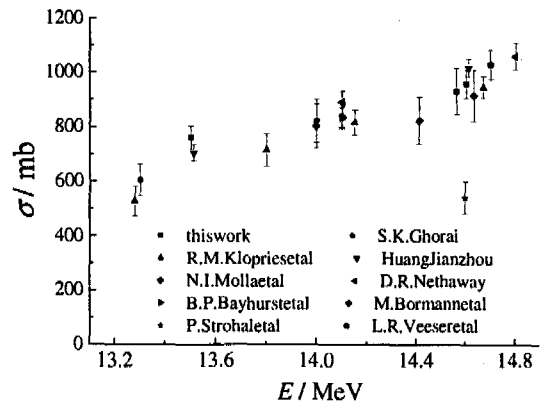


图 1 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 反应截面

由图 1 可见, 在误差允许范围内在 13.5 MeV 能量点处与黄建周^[6]的数据符合得较好, 在 14.1 MeV 能量点附近与 Nethaway^[8]及 Bayhurst 等^[9]的数据符合得很好, 在 14.61 MeV 能量点附近与黄建周^[6]、Molla 等^[7]及 Veesser 等^[12]的测量值符合得比较好。同时在图 1 中可见, 在 13—18 MeV 能区间 $^{89}\text{Y}(n, 2n)^{88}\text{Y}$ 的反应截面随着中子能量增大而增加的趋势。

[4] Klopries R M, Dóczy R, Sudar S, et al. Radi Acta, 1997, 76: 3.
 [5] Ghorai S K. Nucl Phys, 1976, A266: 53.
 [6] 黄建周, 卢翰林, 李际周等. 原子核物理, 1980, 2(3): 213.
 [7] Molla N I, Basunia S, Miah M R, et al. Radi Acta, 1998, 80: 189.
 [8] Nethaway D R. Nucl Phys, 1972, A190: 635.

- [9] Bayhurst B P, Gilmore J S, Prestwood R J, *et al.* Physical Review, 1975, **C12**: 451.
- [10] Bormann M, Feddersen H K, Hölischer H H, *et al.* Z Physik, 1976, **A277**: 203.
- [11] Strohal P, Cindro N, Eman B. Nucl Phys, 1962, **30**: 49.
- [12] Veeseer L R, Arthur E D, Young P G. Phys Rev, 1977, **C16**: 1792.

Cross Section Measurement for (n, 2n) Reaction on Yttrium at the Energies of 13.5, 14.1 and 14.6 MeV

YI Yan-ling, ZHOU Feng-qun, TUO Fei, KONG Xiang-zhong

(Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Cross section for (n, 2n) reaction on Yttrium have been measured at energy of 14 MeV neutrons from H(d, n)He by using activation technique. The $^{93}\text{Nb}(\text{n}, 2\text{n})^{92\text{m}}\text{Nb}$ reaction was used to monitor the neutron fluence, HPGe detector was used to detect the γ -rays. The cross section of $^{89}\text{Y}(\text{n}, 2\text{n})^{88}\text{Y}$ reaction are 759 ± 42 , 835 ± 42 , 958 ± 53 mb for neutron energy 13.5 ± 0.3 , 14.1 ± 0.2 , 14.6 ± 0.3 MeV, respectively.

Key words: yttrium; fast neutron; cross section; activation; gamma ray activity