

$^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应截面的测量和 低能中子的扣除

赵文荣 卢涵林 于伟翔 韩晓刚 黄小龙 容超凡

(中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京, 102413)

施兆民 唐国友 陈金象

(北京大学, 100871)

用活化法相对标准反应测量了 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应截面, 其能区为 5~19 MeV。测量中分析了低能中子的影响, 采用恰当的方法有效地扣除了他们的干扰。特别是在 17~19 MeV 能区, 用空靶扣除了 D-d 低能中子的影响, 得到了合理的截面走向。

关键词 活化法 截面测量 低能中子干扰的扣除

中图分类号 O571.432

金属钼是裂变、聚变堆的结构材料之一。它有多个同位素, 在中子照射下可发生多种核反应, $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 为其中之一。已发表的 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应截面数据彼此之间差异较大, 如在 6~11 MeV 能区, M. M. Rahman^[1]和 S. M. Qaim^[2]的数据不论其截面的绝对值还是走向都有较大差别。在 14 MeV 附近, 只有 Y. Ikeda^[3]和 A. A. Filatenkov^[4]的测量结果较为一致。H. Liskien^[5]在 12.64~19.58 MeV 之间进行了测量, 其结果偏高。此反应的反应阈能低(0.288 MeV), 因此, 在整个测量能区都存在较强的低能中子的干扰。对此修正不当将直接影响测量结果, 也是造成数据分歧大的原因之一。

1 实验测量

1.1 中子的产生和低能中子的扣除

本工作在 5~19 MeV 能区测量了 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应截面。当中子能量低于 12 MeV 时, 用 $\text{D}(d,n)^3\text{He}$ 反应产生所需要的中子。在 5~7 MeV 能区用固体 D 靶, 低能中子的干扰来自靶结构在 d 束的照射下形成的自生 D 靶的 D-d 中子和主中子散射的影响。测量中用空靶实验扣除了 D-d 低能中子的影响, 而散射中子的干扰通过计算扣除。

在 8~12 MeV 能区用气体 D 靶, 它除了伴有上述 2 种低能中子的干扰外, 当入射 d 能量

赵文荣: 女, 60 岁, 核物理专业, 研究员

收稿日期: 1997-12-23 收到修改稿日期: 1998-02-18

大于 4.45 MeV 时,由氘破裂反应产生一批破裂中子,另外,d 束与靶物质相互作用通过带电粒子反应又产生一些低能中子。在这段能区,为扣除各种低能中子的干扰,选择了一组具有不同反应阈能的标准反应与待测反应同时照射,并得到各标准反应的阈能值与中子通量的关系曲线。根据待测反应的阈能值,用此关系曲线内插得到待测反应的中子通量,扣除了各种低能中子的干扰。

当中子能量大于 12 MeV 时,用 $T(d,n)^4\text{He}$ 反应产生所需要的中子。低能中子来源于自生 D 靶的 D-d 中子,以及主中子散射的影响。后者由计算扣除。为扣除 D-d 低能中子的干扰,在 14 MeV 能区的测量,每次选用新的 T 靶,照射时间尽可能的短,把自生 D 靶的影响减小到最低。对 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应,D-d 低能中子的影响小于 1%。在较高能区,用空靶实验扣除了 D-d 低能中子的影响。空靶与 T 靶的照射条件如入射 d 束能量、束斑大小、束流强度、照射时间和照射距离等尽量一致,使其在 2 种照射条件下的低能中子的干扰尽量相同。这样的空靶照射可有效地扣除 D-d 中子的影响。当 $\bar{E}_a=3$ MeV 时,由空靶照射得到的低能中子的影响为 10% 左右。

1.2 样品照射

把 1 mm 厚的金属铝样品加工成 $\phi 20$ mm 的圆片作为待测样品。标准反应样品的直径与 Mo 相同,均为天然金属片。

在 $E_n=5\sim 7$ MeV 能区,相对 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ 标准反应测量,把 Mo 样品夹在两片 Ni 样品之间照射。在 $E_n=8\sim 12$ MeV 能区,选 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ 、 $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ 、 $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 等标准反应与 Mo 样品一起照射。根据待测反应阈能值,用已得到的阈能与中子通量的关系曲线内插给出待测反应的中子通量。在 14~19 MeV 能区,相对 $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ 标准反应测量,Mo 样品夹在两片 Al 样品中间照射。

1.3 放射性测量

各反应产物的放射性强度用 Ge(Li)探测器测量,对它的探测效率已作了绝对刻度。为得到 $^{58}\text{Co}^{m+g}$ 的放射性,样品停照 5 d 后测 Ni 样品的放射性强度,此时的 m 态已衰变到 g 态。所用的衰变数据列于表 1。对 γ 射线在样品中的自吸收和 γ 级联造成的光电峰面积减小已做了修正。

表 1 产物的衰变数据
Table 1 Decay data of products

反应	$T_{1/2}$	E_γ/keV	$I_\gamma/\%$
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	15 h	1368.6	99.99
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	2.5785 h	846.75	98.87
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	70.916 d	810.80	99.5
$^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$	10.15 d	934.50	99

2 测量结果

$^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 的反应截面测量值示于图 1。图中的实线是 UNF 核模型的计算结果,在 5 MeV 和 14 MeV 附近,该计算结果与测量结果符合的很好,而在 6~12 MeV 区间偏离了实

验测量。图1表明：在5~7 MeV能区，本工作与Rahman的测量较为一致；在8~12 MeV能区与Qaim的数据符合较好，而Rahman的数据偏高；13~15 MeV能区的测量与Ikeda、Filatenkov的结果比较一致，Kanda^[6]的数据明显偏低。Liskien在12~19 MeV能区的测量结果偏高，特别是当中子能量大于18 MeV时，测量的截面值随中子能量增加而增大，这样的截面走向不太合理。这是由于 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 反应阈能低，自生D靶的D-d低能中子把截面测量结果抬高了。在这段能区，用空靶实验扣除了D-d低能中子的影响后，得到了合理的截面走向，否则，也将与Liskien的形状类似。

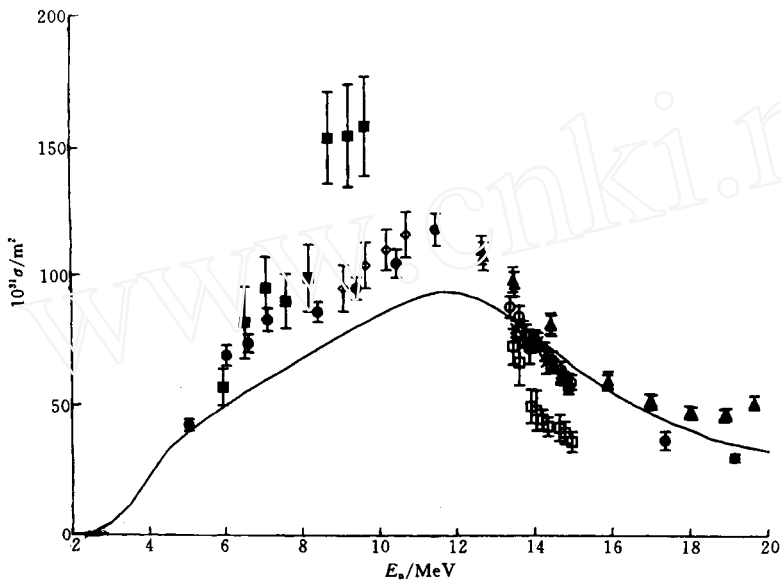


图1 $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ 的反应截面

Fig. 1 Cross section for $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ reaction

□——Y. Kanda(1972); ■——M. M. Rahman(1985); ○——Y. Ikeda(1988); ▲——H. Liskien(1989);
◇——S. M. Qaim(1989); ×——A. A. Filatenkov(1997); ●——本工作; 实线——UNF核模型计算结果

对低阈能反应的截面测量，为了得到可信的结果，在较高能区必须扣除d束在靶装置上形成的自生D靶的D-d低能中子的干扰。否则，不可能得到合理的截面走向。但在活化截面测量中，各实验室对此还没有足够的认识。本工作的空靶实验是扣除高能区的D-d低能中子影响的有效方法之一。

参 考 文 献

- 1 Rahman MM, Qaim SM. Excitation Functions of Some Neutron Threshold Reactions on Isotopes of Molybdenum. Nucl Phys, 1985, A435(1): 43
- 2 Qaim SM, Wolfle R. First- and Second-chance Proton Emission in the Interaction of Fast Neutrons With ^{92}Mo . Phys Rev, 1989, C40(5): 1993
- 3 Ikeda Y, Konno K, Nakamura T, et al. Activation Cross Section Measurement for Fusion Reactor Structural Materials at 13.30–15.0 MeV; JAERI 1312, 1988
- 4 Filatenkov AA, Chuvaev SV, Aksenov VN, et al. Systematic Measurement of Activation Cross Sections at Neutron Energies From 13.4–14.9 MeV; INDC (ccp)-402, 1997
- 5 Liskien H, Wolfle R, Widera R, et al. Excitation Function of (n,p) and (n, α) Reactions on Molybdenum Isotopes. Appl Radiat Isot, 1990, 41(1): 83
- 6 Kanda Y. The Excitation Function and Ratios for Neutron Induced Reactions on Mo-92 and Zr-90. Nucl Phys A, 1972, 185(1): 177

CROSS SECTION MEASUREMENTS OF $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ REACTION AND INFLUENCE DEDUCTION OF LOW ENERGY NEUTRONS

Zhao Wenrong Lu Hanlin Yu Weixiang
Han Xiaogang Huang Xiaolong Rong Chaofan

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-49, Beijing, 102413)

Shi Zhaomin Tang Guoyou Cheng Jinxiang

(Peking University, Beijing, 100871)

ABSTRACT

The cross sections of $^{92}\text{Mo}(n,p)^{92}\text{Nb}^m$ reaction are measured relatively to standard reactions using activation method, in neutron energy range from 5 to 19 MeV. The influence of low energy neutrons is considered very carefully in the whole measurement, and effective methods are used to deduct their interference. Especially in 17~19 MeV range, the empty tritium target is irradiated to subtract the influence of D-d neutrons from self-building D target, and a reasonable cross section tendency is obtained. A comparison is made between the present results and the published data.

Key words Activation method Cross section measurement Deducted low energy neutrons