

中能中子与⁵⁸Ni反应的理论计算*

黄小龙

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 在中子与⁵⁸Ni反应的总截面、去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据基础上,获得了入射中子能量从0.825—150MeV的一组普适的中子与⁵⁸Ni反应的光学模型势参数.利用光学模型、宽度涨落修正的Hauser-Feshbach理论、预平衡反应的激子模型和核内级联模型的中能核反应计算程序MEND,计算了中子与⁵⁸Ni反应的所有截面、角分布和能谱,并将理论计算结果与实验数据和评价数据进行了分析比较.

关键词 光学模型 中能核反应 MEND ⁵⁸Ni

1 引言

近年来,中高能核反应理论及其反应数据的研究已成为国际核物理界广泛关注的领域,并得到重视.随着反应堆物理和ADS等应用核技术的发展,越来越要求更多高精度评价核数据.

⁵⁸Ni是重要的核材料之一,其中子核反应数据对核能开发和核工程应用具有重要意义.目前,实验测量数据尚不能满足实际需要,特别是中高能区数据,除(n,2n)和(n,p)等反应在20MeV以下能区有实验数据外,其余能区及其他反应道截面、角分布、能谱的测量数据甚少或者没有,因此,需要进行理论计算来补充和完善.

本工作利用中子与⁵⁸Ni反应的总截面、去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据和光学模型自动调参程序APMN^[1],给出入射中子能量从0.825—150MeV的一组普适中子与⁵⁸Ni反应的光学模型势参数.利用光学模型、宽度涨落修正的Hauser-Feshbach理论、预平衡反应的激子模型和核内级联模型的中能核反应计算程序MEND,系统计算中子与⁵⁸Ni反应的所有截面、角分布和能谱数据,最后将理论计算结果与实验数据和评价数据进行分析比较.

2 理论模型和参数的选择与调整

光学模型描述核反应的势散射阶段,给出中子与原子核反应的总截面,去弹性散射截面,形状弹性散射截面,弹性散射角分布,复合核和预平衡发射过程的逆截面及穿透因子.

从EXFOR实验库中可检索得到中子与⁵⁸Ni反应的总截面、去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据,在小于24MeV能区有弹性散射角分布实验数据,关于总截面,在0.6—6MeV能区,由于仍有结构存在,直接取A.Brusegan^[2]和C.M.Perey^[3]以保留其结构,在6—65MeV能区,取A.Brusegan^[2]和C.M.Perey^[3]两家样条拟合值,在65—150MeV能区,则参考S.Pearlstein^[4]的系统学和ENDF/B-6的评价值,关于去弹性散射截面,由于没有⁵⁸Ni的实验数据,但有天然Ni的去弹性散射截面实验数据,大于4MeV,在误差范围内两者的差别很小,因此,直接取天然Ni的去弹性散射截面实验数据^[5-7]作为⁵⁸Ni的去弹性散射截面实验数据.

本工作采用Woods-Saxon位势,利用中子与⁵⁸Ni反应的总截面、去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据和光学模型程序APMN^[1],在入射中子能量

2005-07-05 收稿

*国家自然科学基金(10305021)资助

$E \leq 150\text{MeV}$, 获得了一组普适的 ^{58}Ni 中子光学模型势参数. 结果为:

光学模型势的实部:

$$V = 53.78696 - 0.30603E + 0.00012E^2 - 24.0(N-Z)/A, \quad (1)$$

虚部势的面吸收部分:

$$W_s = 13.31327 - 0.21804969E - 12.0(N-Z)/A, \quad (2)$$

虚部势的体吸收部分:

$$W_v = -1.68750 + 0.17379E - 0.000427E^2, \quad (3)$$

自旋-轨道耦合势:

$$U_{so} = 6.2, \quad (4)$$

光学模型势的实部、虚部势的面吸收、虚部势的体吸收、自旋-轨道耦合势的半径分别为

$$\begin{aligned} r_r &= 1.19640, & r_s &= 1.31869, \\ r_v &= 1.17635, & r_{so} &= 1.2, \end{aligned} \quad (5)$$

光学模型势的实部、虚部势的面吸收、虚部势的体吸收、自旋-轨道耦合势的弥散宽度为

$$\begin{aligned} a_r &= 0.62771, & a_s &= 0.47756, \\ a_v &= 0.82878, & a_{so} &= 0.75. \end{aligned} \quad (6)$$

其中 Z, N, A 分别表示靶核的电荷数, 中子数和质量数. E 是入射中子的能量. V, W_s, W_v, U_{so}, E 以 MeV 为单位, $r_r, r_s, r_v, r_{so}, a_r, a_s, a_v, a_{so}$ 以 fm 为单位.

应用这一组光学模型势参数, 对中子与 ^{58}Ni 反应总截面, 弹性散射截面, 弹性散射角分布和去弹性散射截面进行了理论计算并与其相应的实验数据进行了比较. 结果表明, 我们得到的普适中子光学模型势参数能够很好地再现实验数据. 图1—3给出了 ^{58}Ni 反应总截面和中子弹弹性散射角分布以及去弹性散射截面与实验数据的比较.

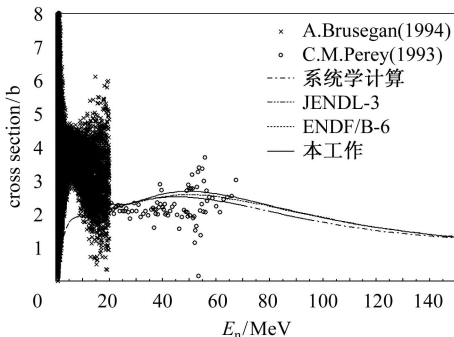


图 1 ^{58}Ni 中子总截面与实验数据和评价数据的比较

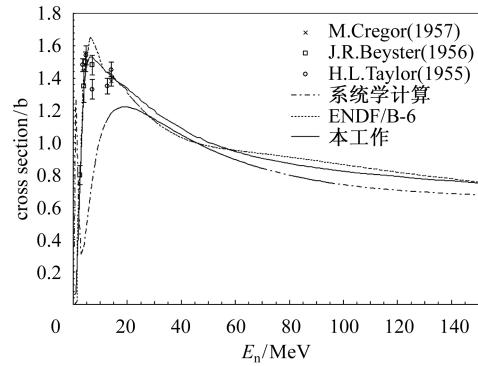


图 2 ^{58}Ni 中子去弹性散射截面与实验数据和评价数据的比较

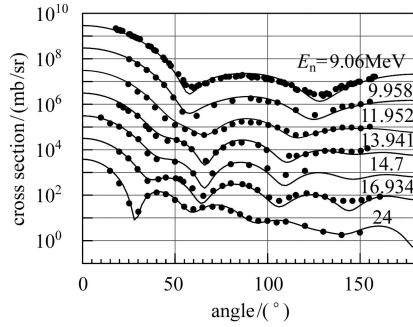


图 3 ^{58}Ni 中子弹弹性散射角分布与实验数据的比较

为了计算和分析 $E \leq 150\text{MeV}$ 能区中子与 ^{58}Ni 反应的所有截面、角分布和能谱, 引入了中能核反应理论计算程序 MEND, MEND 能给出所有的反应截面及能谱. 它采用 Hauser-Feshbach 理论, 激子模型和核内级联模型分别描述核反应的平衡和预平衡反应过程, 而核反应的直接过程由输入文件读取 (由另外程序单独计算).

为使计算结果与实验数据符合较好, 程序运行中可调整能级密度参数、对修正、巨偶极共振参数或出射粒子的光学势参数等.

3 计算结果及分析

应用获得的光学模型势参数和中能核反应理论计算程序 MEND, 计算了 $E \leq 150\text{MeV}$ 能区中子与 ^{58}Ni 反应的截面、角分布和能谱等数据.

图1给出了 ^{58}Ni 全截面与实验测量数据的比较, 理论计算结果与实验数据符合较好; 去弹性散射截面由于没有直接测量数据而采用天然镍的实验数据, 图2给出了理论计算结果与实验测量数据的比较, 计算结果与实验测量数据在误差范围内一致; 对于 ^{58}Ni 的弹性散射角分布, 从图3看出理论计算和实验数据符合较好. 这说明已调整好的光学势参数是可靠的, 从而保证了理论计算的可靠性.

^{58}Ni 总中子非弹性散射截面的实验测量只有一家^[8], 这家实验数据非常重要, 它用于有关参数的调整标准, 以保证理论计算的合理性, 图 4 给出了理论计算结果与实验数据的比较。

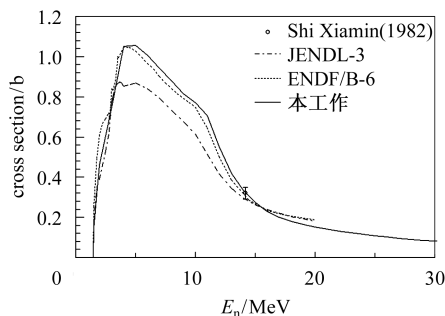


图 4 ^{58}Ni 中子总非弹性散射截面与实验数据和评价数据的比较

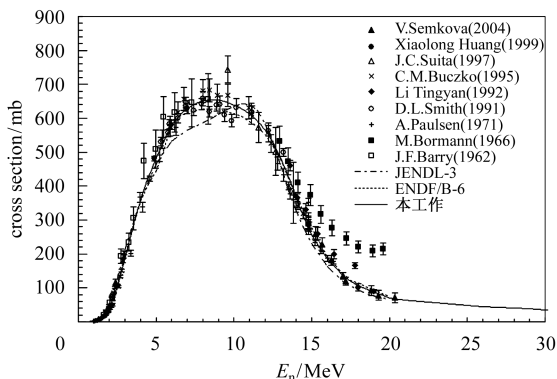


图 5 $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ 反应截面与实验数据和评价数据的比较

图 5^[9-17]和图 6^[9,16,18-25] 分别给出了非常重要的反应道 (n,p) 与 $(n,2n)$ 在入射中子能量小于 30MeV 能区理论计算结果与实验测量数据的比较, 理论计算结果很好地与实验符合. 对于没有实验测量数据的其他反应道, 理论模型能合理地预言其反应截面。

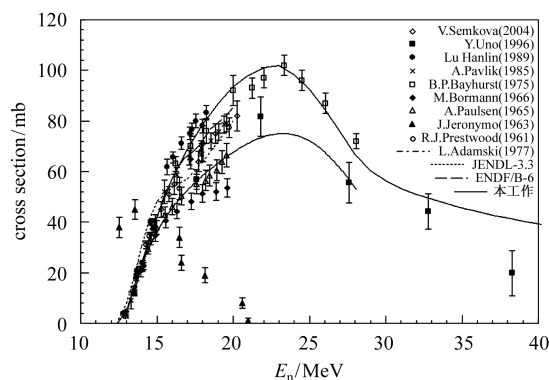


图 6 $^{58}\text{Ni}(n,2n)^{57}\text{Ni}$ 反应截面与实验数据和评价数据的比较

4 结语

应用中子与 ^{58}Ni 反应的总截面、去弹性散射截面、弹性散射角分布的实验数据, 以及中能核反应理论计算程序 MEND, 在入射中子能量 0.812—150MeV 能区内, 对中子与 ^{58}Ni 反应的截面和能谱进行了理论计算和分析, 理论计算结果和实验数据进行了比较, 理论计算结果与实验数据在误差范围内一致。

参考文献(References)

- SHEN Qing-Biao. Nucl. Sci. Eng., 2002, **141**: 78
- Brusegan A et al. 94GATLIN, 1994
- Perey C M et al. Phys. Rev., 1993, **C47**: 1143
- Pearlstein S. Astrophys. J., 1989, **346**: 1049
- Gregor M H M et al. Phys.Rev., 1957, **108**: 726
- Beyster J R et al. Phys.Rev., 1956, **104**: 1319
- Taylor H L et al. Phys. Rev., 1955, **100**: 174
- SHI X M et al. Chinese J. Nucl. Phys., 1982, **4**: 120
- Semkova V et al. Nucl.Phys., 2004, **A730**: 255
- HUANG Xiao-Long et al. Nucl. Sci. Eng., 1999, **131**: 267
- Suita J C et al. Nucl. Sci. Eng., 1997, **126**: 101
- Buczko C M et al. Phys. Rev., 1995, **C52**: 1940
- LI Ting-Yan et al. High Enregy Phys. and Nucl. Phys., 1992, **16**: 151(in Chinese)
(李庭晏等. 高能物理与核物理, 1992, **16**: 151)
- Smith D L et al. 91JUELIC, 1991
- Paulsen A et al. 71CANT, 1971
- Bormann M et al. EANDC(E)-66, 1966
- Barry J F. J. Nucl. Energy, 1962, **A16**: 467
- Uno Y et al. Nucl. Sci. Eng., 1996, **122**: 247
- LU H L et al. INDC(CPR)-16, 1989
- Pavlik A et al. Nucl. Sci. Eng., 1985, **90**: 186
- Bayhurst B P et al. Phys. Rev., 1975, **C12**: 451
- Paulsen A et al. NUK 7, 1965
- Jeronymo J M F et al. Nucl. Phys., 1963, **47**: 157
- Prestwood R J et al. Phys. Rev., 1961, **121**: 1438
- Adamski L et al. INR-1709/I/PL/A, 1977

Calculation and Analysis of Neutron-Induced Reactions on ^{58}Ni below 150MeV*

HUANG Xiao-Long

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract Based on the experimental data of the total, the nonelastic and the elastic cross sections and the elastic scattering angular distributions for $n+^{58}\text{Ni}$ reactions, a set of parameters for a neutron optical model potential is obtained in the incident neutron energy region from 0.8—150MeV. Then reaction cross sections, angular distributions, energy spectra, gamma-ray production cross sections and gamma-ray production energy spectra are calculated in terms of the optical model, the distorted wave Born approximation theory, the Hauser-Feshbach theory, the exciton model and the cascade mechanism inside nuclear. The results are analyzed and compared with the existing experimental data and other evaluated data from ENBF/B-6. They are in agreement with each other within error bars.

Key words optical model, intermediate energy nuclear reaction, MEND, ^{58}Ni