

中子与 ^{52}Cr 反应截面的理论分析*

韩银录¹⁾

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 根据中子与天然核 Cr 及其同位素反应的总截面,去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据,获得了入射中子能量从 1MeV—250MeV 的一组普适中子与 Cr 及其同位素反应的光学模型势参数.应用光学模型,扭曲波玻恩近似理论,宽度涨落修正的 Hauser-Feshbach 理论,和预平衡反应的激子模型,计算和分析了中子与 ^{52}Cr 反应的所有截面、角分布、能谱和双微分截面.理论计算与实验数据进行了分析比较.

关键词 光学模型势 扭曲波玻恩近似理论 激子模型

1 引言

加速器驱动的洁净核能系统成为国际核物理界广泛关注的领域,而与此密切相关的中高能核反应理论及其反应数据的研究,起着重要作用.近年来,随着大型实验设备和实验方法的建立,精确测量原子核发射粒子双微分截面和非弹散射角分布的工作在国内外研究中陆续进行,并给出了一些结果.而应用理论模型系统的计算和分析双微分截面实验数据的工作还较缺乏.系统的计算和分析中子与核反应的双微分截面和非弹散射角分布,对原子核结构和反应的研究具有重要的意义.

本工作利用 Cr 和其同位素的中子反应的总截面,去弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据,给出入射中子能量在 250MeV 以下,一组普适的中子与 Cr 及其同位素反应的的光学模型势参数;应用包括光学模型,宽度涨落修正的 Hauser-Feshbach 理论和激子模型的理论模型程序 UNF^[1],以及扭曲波玻恩近似理论,系统的计算和分析中子能量在 20MeV 以下与 ^{52}Cr 反应截面,角分布和双微分截面.

2 理论模型和参数

光学模型势应用 Woods-Saxon^[2] 势形式.利用天然核 Cr 和 ^{52}Cr 的中子反应的总截面,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^[3],在入射中子能量 $E \leq 250\text{MeV}$,获得了一组普适的 ^{52}Cr 中子光学模型势参数.结果为:

光学模型势的实部:

$$V = 50.1518 - 0.3370E + 0.01283E^2 - 24.0(N - Z)/A, \quad (1)$$

虚部势的面吸收部分:

$$W_s = 6.4970 + 0.1544E - 12.0(N - Z)/A, \quad (2)$$

虚部势的体吸收部分:

$$W_v = 0.1676 + 0.0226E - 0.001548E^2, \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} r_r &= 1.2416, \quad r_s = 1.2428, \\ r_v &= 1.8429, \quad r_{so} = 1.2416. \end{aligned} \quad (5)$$

2003-10-09 收稿, 2003-11-11 收修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999022603)资助

1) E-mail: han@iris.ciae.ac.cn

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

$$a_r = 0.5828, a_s = 0.7342, \\ a_v = 0.7020, a_{s0} = 0.5828. \quad (6)$$

其中 Z, N, A 分别表示靶核的电荷数, 中子数和和质量数. E 是入射中子在质心系的能量. 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 ^{52}Cr 的反应总截面, 弹性散射截面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, 得到的普适中子光学模型势参数能够很好的再现实验数据. 图 1, 给出 ^{52}Cr 的中子总截面与实验数据的比较.

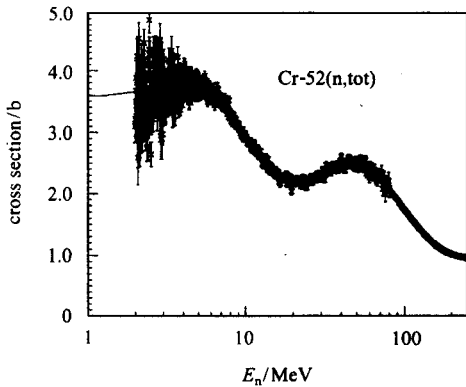


图 1 ^{52}Cr 的中子反应总截面与实验数据的比较

3 计算结果及分析

应用获得的光学模型势参数, 核反应理论模型程序 UNF, 扭曲波玻恩近似理论^[4], 计算了中子与 ^{52}Cr 反应的截面、角分布、能谱和双微分截面.

图 2 是入射中子能量分别为 7.95, 9.0, 9.8, 10.79, 11.44, 12.01, 12.7, 13.65, 14.1, 14.76 MeV 中子与 ^{52}Cr 反应弹性散射角分布理论计算结果与实验数据^[5] 的比较. 从图中可以看出, 角分布理论计算结果与实验数据不论是峰谷的位置, 还是振幅的大小都符合的很好.

^{52}Cr 第一激发态的非弹散射角分布的理论计算与实验结果^[5] 的比较如图 3 所示, 入射中子能量与弹性散射角分布相同, 理论与实验一致. 图 4 是 ^{52}Cr 第一激发态和第十八激发态的非弹散射角分布在入射中子能量为 14.0 和 18.5 MeV 时的理论计算与实验结果^[6,7] 的比较.

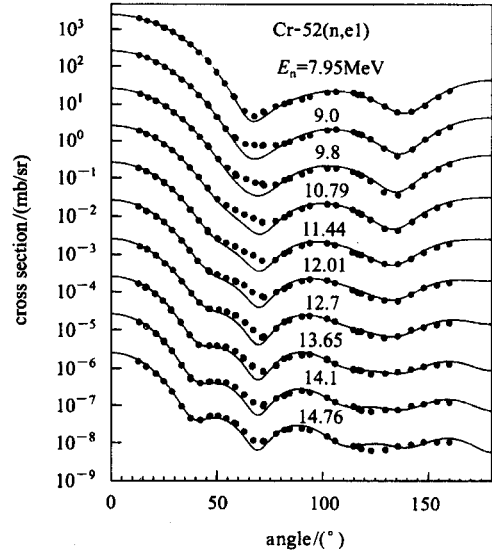


图 2 ^{52}Cr 中子弹性散射角分布与实验数据的比较
从上至下每条理论曲线和实验分别乘以 $10^0, 10^1, 10^2, \dots, 10^{12}$

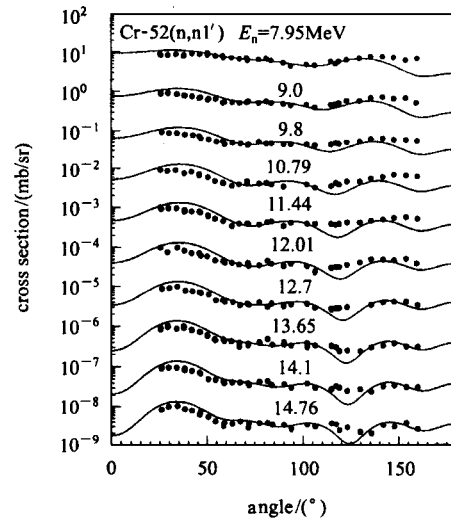


图 3 ^{52}Cr 第一激发态的中子非弹性散射角分布
从上至下每条理论曲线和实验分别乘以 $10^0, 10^1, 10^2, \dots, 10^{11}$

在入射中子与 ^{52}Cr 所有反应道截面理论计算结果与实验很好的符合基础上, 计算了发射中子双微分截面.

图 5 和图 6 给出了入射中子能量在 12.01 和 14.1 MeV 时, 发射中子双微分截面的理论结果与实验^[8,9] 的比较, 理论结果与实验一致. 图中的结构是 ^{52}Cr 分离能级的贡献, 不同峰来自不同分离能级的贡献, 而平滑区主要是非弹性道的连续能级的贡献. 因此, 通过分析发射粒子的双微分截面, 可以得到原子核结构的信息. 同时, 双微分截面来自不同反应道的贡献, 根据双微分截面的结果, 可以验证相应反

应道截面的合理性.

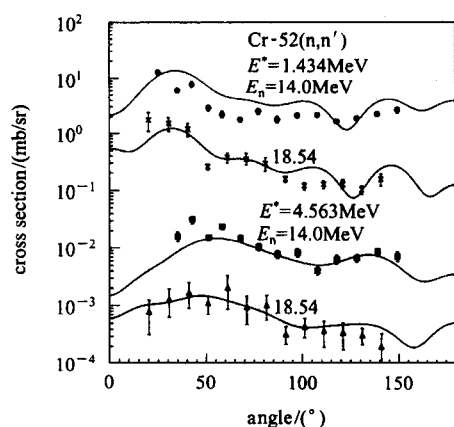


图 4 ^{52}Cr 第一和第十八激发态的中子非弹性散射角分布
从上至下每条理论曲线和实验分别乘以 $10^0, 10^1, 10^2, 10^3$

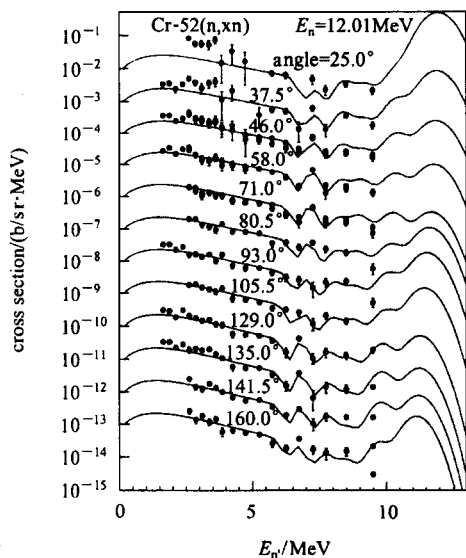


图 5 入射中子能量在 12.01 MeV 时发射中子双微分截面
从上至下每条理论曲线和实验分别乘以 $10^0, 10^1, \dots, 10^{12}$

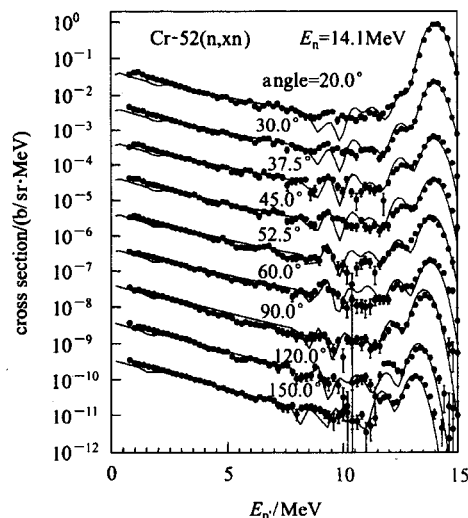


图 6 入射中子能量在 14.1 MeV 时发射中子双微分截面
从上至下每条理论曲线和实验分别乘以 $10^0, 10^1, \dots, 10^8$

4 结语

应用中子与天然核 Cr 和其同位素反应的总截面,去弹性散射截面,弹性散射截面和弹性散射角分布的实验数据,以及核反应光学模型,扭曲波玻恩近似理论,宽度涨落修正的 Hauser-Feshbach 理论,预平衡反应的激子模型在入射中子能量从 1—20 MeV 范围内,对中子与 ^{52}Cr 反应截面、角分布和双微分截面进行了系统的理论计算和分析,理论计算结果和实验数据进行了比较,计算结果与实验数据很好的符合.因此,本文使用的理论模型 (UNF 和 DWUCK 程序) 可以合理的系统分析中子在入射中子能量小于 20 MeV 时,与不同结构的原子核反应^[10-12] 的实验数据.

参考文献 (References)

- 1 ZHANG Jing-Shang. Nucl. Sci. Eng., 2002, **142**:207
- 2 BECCHETTI JR F D, Greenlees G W. Phys. Rev., 1969, **182**:1190
- 3 SHEN Qing-Biao. Nucl. Sci. Eng., 2002, **141**:78
- 4 KUNZ P D. Distorted Wave Code DWUCK4, University of Colorado
- 5 SCHMIDT D, MANNHART W. PTB-N-31, 1998
- 6 CHRISTODOULOU E G et al. Nucl. Sci. Eng., 1999, **132**:273
- 7 YAMANOUTI Y et al. INDC(JPN)-142, 20, 1990
- 8 SCHMIDT D, MANNHART W. INDC (GER)-044, 1998
- 9 MATSUYAMA S et al. JAERI-M-93-046, 345, 1992
- 10 HAN Yin-Lu. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2003, **27**:436
- 11 HAN Yin-Lu. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2004, **28**(1):48 (in Chinese)
(韩银录. 高能物理与核物理, 2004, **28**(1):48.)
- 12 HAN Yin-Lu. High Energy Phys. and Nucl. Phys. 2004, **28**(2):177 (in Chinese)
(韩银录. 高能物理与核物理, 2004, **28**(2):177)

Theoretical Analysis of Cross Sections for $n + ^{52}\text{Cr}$ Reaction *

HAN Yin-Lu¹⁾

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

Abstract Based on experimental data of total, nonelastic, elastic cross section and elastic scattering angular distributions for $n + \text{Cr}$ reactions, a set of neutron optical model potential parameters is obtained in the region of incident neutron energy from 1 to 250 MeV. The cross sections, angular distributions and double differential cross sections are calculated and analyzed by optical model, distorted wave Born approximation theory, the unified Hauser-Feshbach theory, and exciton model. The results indicate that the cross sections can be given for $n + ^{52}\text{Cr}$ reactions which are all in good agreement with experimental data.

Key words optical model potential, the distorted wave Born approximation, exciton model

Received 9 October 2003, Revised 11 November 2003

* Supported by China Ministry of Science and Technology under Contract (G1999022603)

1) E-mail: han@iris.ciae.ac.cn