基于新旋转子模型下的钨同位素核 子散射分析

报告人: 赵岫鸟⁽¹⁾ 导师: 应阳君 孙伟力⁽²⁾ 单位: (1)中物院研究生院 (2)北京应用物理与计算数学研究所









引言



模型介绍



成果展示



总结

1.简述工作意义 2.总结相关研究存 在的不足 介绍所采用的旋转子模型
 介绍所采用的色散光学模型势

结合工作目的, 简要且针对地展 示目前所取得的 一些工作成果

对所做工作和取 得的成果做总结 说明

引言

特

占

应

用

前

景

理

论

价

值

工作意义

1. 高熔点(3380℃)。 2. 对高能粒子的高溅射电阻。 3. 钨同位素是一种结构核,由于其处于稀土区边缘,被认为 与裂变产物和锕系元素核相似。 钨的核数据不仅在核工程应用中发挥着重要的作用,而且在 地球物理和天体物理中也有着重要的应用。 磁约束聚变反应器中等离子体表面组件材料的一种候选材料 中国自主加速器驱动系统(CIADS)项目散裂目标候选人 有助于确定地球、月球和球粒的年龄和起源 钨同位素位于质量A=190-200过渡区域的转动边缘,在该区 域,偶A和奇A核的形状随着A的增加而逐步变化,由低A时的 扁长变化到高A时的扁平。*所以对钨同位素的研究要求对核

结构(包括核物质密度、核表面形状等)进行更精准的描述。

钨核数据现状





S. Zhang Fusion Engineering and Design 92 (2015) 41



弹性散射和非弹性散射计算仍存在问题?

数据

■ 对W核同位素的核子散射数据进行新的分析

物理

综上所述,我们旨在改进在核子入射能量为100 keV到200 MeV时,对W同位素散射数据的描述。



- ▶ 球光学模型视原子核为球形其考虑的观测量仅限于弹性散射, 常用用扭曲波波恩近似方法(DWBA)来对非弹性散射近似计 算。
- 肃合道光学模型适用于形变核的理论模型,可以用来同时计算形状弹性散射和集体态直接非弹性散射,即自洽的引入了各个反应道之间的耦合。
 - 硬旋转子模型
- 振动-转动转子模型
- D.W.Chan et al, PRC26 (1982) 841; PRC26 (1982) 861.
- E.Sheldon. L.E.Beghian, D.W.Chan et al, *J.Phys.G:Nucl. Phys.* 12, 443 (1986).
- T. Kawano, N. Fujikawa and Y. Kanda, INDC(JPN)-169 (1993) 软旋转子模型
- Yu.V.Porodzinkij and E. Soukhovitskii, Phys. At. Nuclei 59 (1996) 228-237

研究现状

钨同位素被认为是变形的转子,可以用旋转子模型进行描述。 旋转子模型包括硬旋转子模型和软旋转子模型。

• 硬旋转子模型

假设原子核是轴对称的,而且 只考虑一个转动带,由于要求 原子核保持轴对称,未考虑原 子核非轴对称的伸缩性变化 (振动),因而称为硬旋转子核 模型

$$R(\theta',\varphi') = R_0 \left\{ 1 + \sum_{\lambda=2,4} \beta_{\lambda} Y_{\lambda 0}(\theta') \right\}_{R(\theta',\varphi)}$$

• 软旋转子模型

原子核在转动过程中有伸缩的可能 性,即允许有多种非轴对称振动存在. 偶偶核的运动假设为转动、振动等 模式的组合,形变的影响一般延伸至 八极乃至十六极。







核结构模型

旋转子模型的改进:

$$R_{i}(\theta',\varphi') = R_{0i} \left(1$$

球形 + $\beta_{2} \left\{ \cos \gamma Y_{20}(\theta') + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \gamma [Y_{22}(\theta',\varphi') + Y_{2-2}(\theta',\varphi')] \right\}$
+ $\beta_{3} \left\{ \cos \eta Y_{30}(\theta') + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \eta [Y_{32}(\theta',\varphi') + Y_{3-2}(\theta',\varphi')] \right\}$, 八级形变

$$\beta_{2} = \beta_{20} + \delta\beta_{2}$$

轴向形变

$$R_{i}(\theta',\varphi') = \left[R_{0i} \left\{ 1 + \sum_{\lambda=2,4,6,8} \beta_{\lambda 0} Y_{\lambda 0}(\theta',\varphi') \right\} \right] + \left[R_{0i}\beta_{20} \left[\frac{\delta\beta_{2}}{\beta_{20}} \cos \gamma + \cos \gamma - 1 \right] Y_{20}(\theta',\varphi') + R_{0i}\beta_{3} \cos \eta Y_{30}(\theta',\varphi') + R_{0i}\beta_{3} \sin \eta} \left[Y_{32}(\theta',\varphi') + Y_{3-2}(\theta',\varphi') \right] - R_{0i}(2\beta_{20}\delta\beta_{2} + \delta\beta_{2}^{2} + \beta_{3}^{2})Y_{00}.$$



- ➢ 假设偶-偶核心外,单粒子不会对偶-偶核心的结构特性造成 较大影响
- ▶ 把偶-偶核心的态(能级)分配给奇核集体态(能级)。

	Volume	Surface
Real depth (MeV)	$V_0 = 52.2848 + 0.0292A$	Dispersive
	$\lambda_{_{ m HF}}=0.008$	
	$C_{ m viso}=20.00$	
	+ dispersive	
Imaginary (MeV)	$A_v = 12.36$	$W_0 = 12.03$
	$B_v = 77.4$	$B_s = 12.64$
	$E_{a} = 52$	$C_s = 0.01355$
		$C_{\rm wiso} = 14.00$
Geometry (fm)	$r_{\rm HF} = 1.2873 - 0.0016A$	$r_s = 1.0277 + 0.0039A$
	$a_{\rm HF} = 0.504 + 0.00225A$	$a_s = 0.503$
	$r_v = 1.0551$	
	$a_v = 0.92676 - 0.00021A$	
	Spin-orbit	Coulomb
Real depth (MeV)	$V_{so} = 6.98$	$C_{\text{Coul}} = 1.0$
	$\lambda_{so} = 0.005$	2.1.4
	+ dispersive	
Imaginary (MeV)	$A_{so} = -3.1$	
	$B_{so} = 160.00$	
Geometry (fm)	$r_{so} = 1.0388$	$r_{c} = 1.188$
	$a_{\rm so} = 0.59$	$a_c = 0.32$

特别地,考虑到核物质的不可压缩性,形变过程需保 持体积守恒,即需要添加相关的修正项。由于本工作 在该修正项中添加静态修正部分,使得对于临近核的 区域势分析不需要在几何半径上考虑质量数A的相关 性,从而减少了区域光学势的参数。

■常见的光学模型势:

模

型

势

的

发

展

 \succ Koning and Delaroche potential,

I, 广泛应用,但仍有不足

- 光 · 对于大能区,势的表达形式通常使用多项式或者分段函
 学 数的形式,缺乏物理性。
 - 很多研究工作中为了拟合实验而在几何参数中引入能量的不合理物理假设。
 - 实部和虚部相互独立,自由参数多且缺乏物理约束。
 - 中、质子两套参数,参数多,且缺乏物理性。对于由于 缺少中子源而导致中子实验数据较少的情况,无法得到 可靠性高的光学势。
 - 不能满足Lane方程的要求,核数据计算流程相对繁复。

■色散光学模型势:

> global spherical one by Morillon and Romain

global coupled-channel ones by Soukhovitskii and Capote et al for actinides

色散关系的引入将虚部和实部联系起来,物理性更强, 同时减少了参数的个数 色散光学势(DOMP)

$$V(r, R(\theta, \varphi), E) = -V_{HF}(E^*) \times f_{ws}(r, R_{HF}(\theta, \varphi))$$

$$-[\Delta V_v(E^*) + iW_v(E^*)] \times f_{ws}(r, R_v(\theta, \varphi))$$

$$-[\Delta V_s(E^*) + iW_s(E^*)] \times g_{ws}(r, R_s(\theta, \varphi))$$

$$+(\frac{\hbar}{m_{\pi}c})^2 [V_{so}(E^*) + \Delta V_{so}(E^*) + iW_{so}(E^*)]$$

$$+(\frac{\hbar}{m_{\pi}c})^2 [V_{so}(E^*) + \Delta V_{so}(E^*) + iW_{so}(E^*)]$$

$$+V_{Coul}(r, R_so) \times (\vec{\sigma} \cdot \vec{L})$$

$$+V_{Coul}(r, R_c(\theta, \varphi)),$$

$$\mathbf{F}^{km}$$

$$E^* = E - C_{Coul} \frac{ZZ'}{A^{1/3}}$$

$$= V(E) - \frac{ZZ'}{A^{1/3}} \frac{d}{dE}(V(E)) + \dots$$

$$\mathbf{R}^{km}$$

$$\mathbf{R}^{km}$$

光学势在形式上与Lane方程自洽。实现了用一套参数同时描述中、质子入射散射数据。

 $V_{pp} =$ **Lane** 方程 $V_{nn} =$ $V_{pn} =$

同位旋矢量部分:

$$V_{0} + \frac{N-Z}{4A}V_{1}$$

$$V_{0} - \frac{N-Z}{4A}V_{1}$$

$$\frac{\sqrt{N-Z}}{2A}V_{1}$$

$$\frac{\sqrt{N-Z}}{2A}V_{1}$$

$$A_{HF} = V_{0} \left[1 + (-1)^{Z'+1}\frac{C_{viso}}{V_{0}}\frac{N-Z}{A}\right]$$
同位旋
A_{S} = W_{0} \left[1 + (-1)^{Z'+1}\frac{C_{viso}}{W_{0}}\frac{N-Z}{A}\right]

*根据Lane方程的物理含义,采用相同的参数必须能够同时计算中子,质子入射

 $\frac{\left[\Delta V_v(E^*) + iW_v(E^*)\right]}{\left[\Delta V_s(E^*) + iW_s(E^*)\right]}$ 色散关系 $\Delta V(E) = \frac{\mathcal{P}}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{W(E')}{E' - E} dE'.$

通过色散关系,将实部和虚部相互联系,既能更符合物理事实,又能大幅减少参数的个数。

■ 光学势在形式上电荷独立

为我们实现势形式Lane自洽即用同一套光学势和势参数同时描述中、质子入射提供保障

■ 与Lane方程自洽

得到高质量的同位旋矢量项(为其质量的检测提供标准)

| 同一光学势(同一套参数)同时描述中子和质子

为计算缺少中子实验数据的情况,提供重要的帮助

■ 光学势参数较少

色散关系的引入将实部和虚部相结合,增强物理性的同时,减少了光学势参数的个数 实现了与Lane方程的自治,得到了高质量同位旋矢量项,即实现了中、质子一套参数,大大减少了参数个数





钨同位素及其临近核



钨同位素的总截面

12

10

8

6

4

2 L 10⁻¹

Total cross section (b)





钨同位素的总截面差





 $(\sigma_{\rm i} - \sigma_{\rm j}) / [(\sigma_{\rm i} + \sigma_{\rm j}) / 2]$

钨同位素的中、质子入射弹散以及非弹散角分布



<mark>以¹⁸⁴₩为例</mark>,可以看出我们的计算结果,对中、质子入射弹散以及非弹 散角分布实验数据有较好的拟合。



可以看出我们的计算结果,对中、质子入射弹散以及非弹散分析本领实 验数据有较好的拟合。









ENDF/B-VII JEFF-3.2 JENDL-4 CENDL-3.1



ENDF/B-VII JENDL-4







工作意义与现状

1.简述工作意义 2.总结相关研究存 在的不足



模型介绍

1.介绍所采用的旋

转子模型

2.介绍所采用的色

散光学模型势



成果展示

结合工作目的, 简要且针对地展 示目前所取得的 一些工作成果



总结

对所做工作和取 得的成果做总结 说明





改进并采用了新的旋转子模型

实现钨同位素及其临近核的能级结构分析

得到了一套先进的、统一形式的色散耦合道光学势,实现对 钨同位素核子散射数据更好地描述

我们得到了lane自洽色散耦合道光学势,其能够描述更大的核子入射能区(100KeV到200MeV)、且适用于钨的同位素以及主要临近核、利用我们的模型和光学势分析,不仅能够更好的计算核子入射的总截面、散射角分布、分析本领等,还能够很好的计算中子总截面差

