

¹¹B 快中子非弹性散射的理论计算

解文方

阮文英

(中山大学物理系 广州 510275)

(华南理工大学物理系 广州 510640)

摘要 本文采用直接作用模型和扭曲波玻恩近似(DWBA)理论,计算了¹¹B的2.14MeV激发态在入射中子能量为7.54~20.0MeV的非弹性散射的积分截面和角分布,计算结果与评价的实验值进行了比较,符合较好.对实验上所缺乏的数据作出了理论预期值.

关键词 非弹性散射, 直接作用模型, 积分截面, 角分布.

1 引言

硼的热中子吸收截面很大,是良好的屏蔽及反应堆控制棒材料.此外,硼也被广泛用在中子的探测技术中,所以它的中子核反应数据有重要的应用价值.由于实验上的困难,所以它的核反应实验数据很少.以前仅有入射中子能量小于8.0MeV和等于14.0MeV的非弹性散射实验数据^[1~3].1982年,S. G. Glendinning等人完成了8.0~14.0MeV共七个能量的实验数据^[4].但其余的实验数据仍是十分缺乏的,因此有必要进行理论计算,为核工程设计提供必需的中子核反应数据.同时,与现有的实验值进行比较,进一步验证理论模型的适用性和可靠性,促进核反应基础理论研究的发展.本文采用扭曲波玻恩近似(DWBA)在体系的相互作用势中引入球光学势,即考虑弹性散射的影响,在直接作用模型中相互作用位采用包含各种交换成分的中心力^[5~8],在此基础上对已有的实验数据进行理论分析,适当选取一组参数初值进行调试,由此获得一组参数,利用这组参数,对7.54~

20.0MeV能区的¹¹B快中子非弹性散射积分截面和角分布进行了计算,获得了与评价实验数据趋向一致的结果.

2 光学模型参数和定态波函数

光学模型参数取自文献^[9],定态波函数取自吴成礼在北京讨论会(1966年暑期物理讨论会)的报告:轻核残余相互作用研究.表1和表2分别列出了¹¹B的光学模型参数和定态波函数.

表2中 E_x 为¹¹B的激发能,单位为MeV, P^3 表示自旋为3/2的壳层, P 表示自旋为1/2的壳层.相应的径向波函数选谐振子波函数.

表1 ¹¹B的光学模型参数

U		W		U _s	h
45.66-0.004E _c		0.003+1.256E _c		5.5	0.1
r ₁	a ₁	r ₂	a ₂	r ₃	a ₃
1.337	0.548	1.438	0.182	1.15	0.5

其中位势单位用MeV,半径单位为10⁻¹⁵m,E_c单位为MeV.

表2 ¹¹B的定态波函数

T	J ^π	E _x	P ⁵	PP ⁴ (12)	PP ⁴ (11)
1/2	3/2 ⁻	0	-0.0786	-0.004	-0.0342
1/2	1/2 ⁻	2.14	0.0041		0.0393

$PP'_{v=4}(02)$	$PP'_{v=2}(02)$	$PP'(00)$	$P^2(10)P^3(\frac{3}{2} \frac{3}{2})$	$P^2(01)P^3(\frac{1}{2} \frac{5}{2})$
-0.0939	-0.1283	-0.4043	0.4694	0.0819
$P^2(01)P^3(\frac{1}{2} \frac{1}{2})$	$P^2(01)P^3(\frac{1}{2} \frac{3}{2})$		$P^2(10)P^3(\frac{1}{2} \frac{1}{2})$	
0.0414	-0.1287			
-0.2644	0.0570		-0.2774	
$P^3(\frac{1}{2} \frac{1}{2})P^2(12)$	$P^3P^2(01)$	$P^3P^2(10)$	P^4P'	
0.2130	-0.2136		0.7735	
	-0.2914	0.7746		

$$U_{11} = N_1 \exp(-\alpha r^2/2) r^2$$

其中 $N_1 = 8\alpha^{5/2}/(3\pi^{1/2})$, $\alpha = m\omega/\hbar$, ω 是刻划位势强度的参量^[10].

3 参数分析

在计算中出现的参数是势阱深度 V_0 , 高斯位参数 γ , 玛约那纳力参数 M , 巴特力参数 B , 海森堡力参数 H 及谐振子波函数参数 α ^[5].

首先考虑位参数 V_0 , γ , M , B , 和 H , 文献 [11] 在计算低能核子散射时所取相互作用位与本文相同, 参数的取值为 $V_0 = 72.98 \text{ MeV}$, $M = 0.410$, $B = 0.091$, $H = 0.094$ 时与实验数据符合较好. 对于直接反应, 能量较高, 我们考虑随着入射中子能量的增大, 入射中子可能更接近靶核, 也就是入射中子和靶核相互作用的短程部分在入射中子能量增大时起的作用会大一些, 而相应的相互作用强度也应当大一些, 考虑光学位中某些参数为入射中子能量的线性函数, 取 V_0 为入射中子能量的线性函数. 对于具有力程意义的高斯位参数 γ , 它应随入射中子能量的增大而增大, 我们也取为入射中子能量的线性函数.

对于谐振子波函数的参数 α , 若认为核物质是均匀分布的, 则可以直接计算出靶核中核子的径向坐标 r 的平方平均值, 也可以通过计算谐振子波函数 r^2 平均值完成上述计算.

两者比较, 可以近似地确定 α 的取值.

$$\alpha = m\omega/\hbar \approx 0.432/r_0^2$$

$$\text{取 } r_0 = 1.3 \times 10^{-15} \text{ m}, \quad \alpha = 0.256 \times 10^{30} / \text{m}^2$$

$$r_0 = 1.1 \times 10^{-15} \text{ m}, \quad \alpha = 0.357 \times 10^{30} / \text{m}^2$$

4 结果与讨论

按照以上讨论, 我们针对 $^{11}\text{B}(n, n')^{11}\text{B}^*$ (2.14 MeV 激发态) 进行了计算, 得到的结果列在表 3 和表 4. 图 1 和图 2 与评价的实验数据进行了比较. 实验数据取自文献 [4].

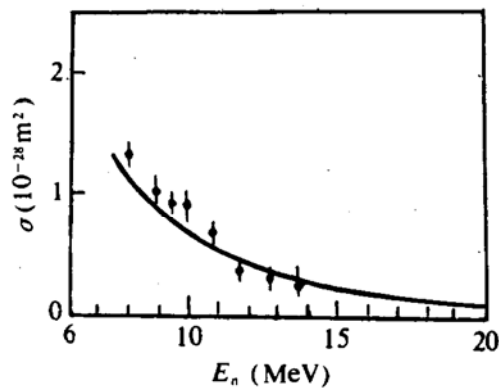


图 1 $^{11}\text{B}(n, n')^{11}\text{B}^*$ 2.14 MeV 激发态的积分截面

表 3 直接作用模型参数

V_0 (MeV)	γ (10^{-15} m)	M	B	H	α (10^{30} m^{-2})
$107.34 + 3.79E_n$	$0.143 + 0.031E_n$	0.392	0.127	0.109	0.93

其中 E_n 是入射中子的能量.

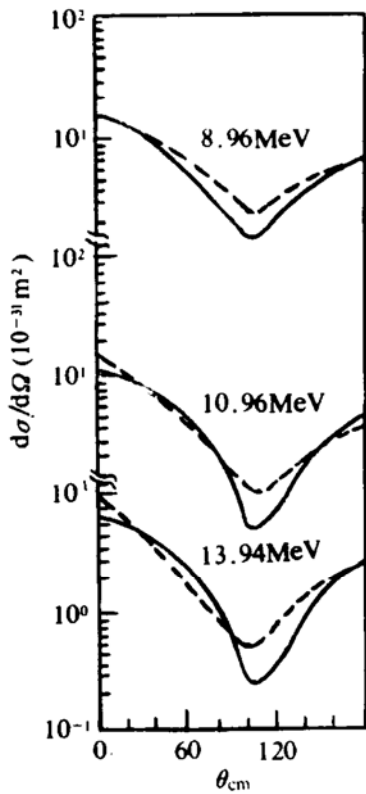


图2 ¹¹B(n, n')¹¹B* 2.14MeV 激发态的角分布

图1中“+”表示实验值^[4], 曲线表示计算值, 在图2中我们用虚线和实线分别表示评价的实验值^[4]和计算值. 从图1中可以看出, 对于¹¹B(n, n')¹¹B* 2.14MeV 激发态的积分截面计算与实验值符合得相当好, 对于角分布, 除在90°附近比评价的实验值要小一些外, 在

其它任何角度都走向一致. 还可以看出, 随着入射中子能量的增大, 向前散射越来越占较大的比重, 这从物理上分析也是合理的.

表4 ¹¹B(n, n')¹¹B* 2.14MeV 激发态积分截面

$E_n(\text{MeV})$	$\sigma(10^{-31}\text{m}^2)$	$E_n(\text{MeV})$	$\sigma(10^{-31}\text{m}^2)$
7.54	137.75	12.95	37.24
7.97	120.4	13.94	31.79
8.50	102.57	15.00	25.94
8.96	91.33	16.00	21.88
9.92	70.28	17.00	18.52
10.50	61.34	18.00	15.72
10.96	56.30	19.00	13.39
11.96	45.10	20.00	11.44

参 考 文 献

- 1 John C Hopkins, et al. Nucl. Sci. Eng., 1969, 36 : 275
- 2 Vaucher B, et al. Helv Phys Acta., 1970, 237 : 43
- 3 Alder J C, et al. Nucl. Phys., 1970, A147 : 647
- 4 Glendining S G, et al. Nucl. Sci. Eng., 1982, 80 : 256
- 5 解文方. 核物理动态, 1993, 10(2) : 46
- 6 解文方. 吉林大学研究生论文集刊, 1988, 4 : 44
- 7 Zhu Yaoyin, et al. Communication of Nuclear Data Progress, 1990, 4 : 7
- 8 朱耀银等. hsj-78217(11js), 97
- 9 Dave, et al. Phys ReV., 1982, 28 : 2212
- 10 曾谨言编. 量子力学上册, 北京: 科学出版社, 1981, 23
- 11 原子能研究所理论组. 原子核物理(1974年会议资料选编), 北京: 原子能出版社, 1975, 340

Theoretical Calculation of Inelastic Fast Neutron Scattering on ¹¹B

Xie Wenfang

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Ruan Wenying

(Department of Applied Physics, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

Abstract By using the direct reaction mode and the DWBA theory, We calculate the integrated sections and angular distributions of inelastic neutron scattering of ¹¹B(n, n')¹¹B* 2.14MeV excited state in energy range from 7.54MeV to 20.0MeV. (下转 30 页)

子储存环上的应用取得了令人鼓舞的结果，人们自然想到将这种技术用于其它稀薄离子的储存，比如重离子、次级束流与极化离子等。近十年内，全世界共有九台轻、重离子电子冷却储存环已经建成投入运行。到 1992 年，TARN-II^[7]对轻重离子(N⁵⁺)和 ESR^[9]对重离子(Z ≥ 10)进行冷却的实验结果表明，当储存的离子数达到 10⁷时，冷却后束流发射

度小于 1πmm. mrad，动量散度达到 10⁻⁵量级，见表 1 和表 2。这表明电子冷却技术对于重离子束的相空间压缩同样是非常有效的。

电子冷却具有重要意义。首先，它提供的冷离子束比起平常的束流具有许多实验上的优点；其次，电子冷却可以抵偿束流加热效应；第三，作为自由电子靶可应用于原子物理研究。

表 2 ESR 冷却重离子的实验结果

离 子	能 量 (MeV/u)	储存粒子数	平衡值	
			$\delta p/p$	$\epsilon(\pi\text{mm. mrad})$
Ne ¹⁰⁺	150	5.0 × 10 ⁸	2.5 × 10 ⁻⁵	
Ar ¹⁸⁺	250	1.0 × 10 ⁸	1.0 × 10 ⁻⁵	
Xe ⁵⁴⁺	250	1.0 × 10 ⁸	1.0 × 10 ⁻⁴	<0.5

参 考 文 献

1 Budker G I. *Atomn. ya Energiya*, 1967, 22 : 346
 2 Derbenev Y S, Skrinsky A N. *Part. Acc.*, 1977, 8 : 1
 3 Herr H. *AIP Conf. Proc.*, 1985, 128
 4 Debernev Y S, Skrinsky A N. *Part. Acc.* 1978, 8 : 235
 5 Beyer H F, et al. GSI-ESR-88-01
 6 Pierce J R. *Theory and Design of Electron Beams*, 1954
 7 Tanabe T, et al. *Proc. 5th Japan-China Joint Symposium*, 18~20 Oct., 1993
 8 Franzke B, et al. HEACC92, 60

Electron Cooling

Rao Yinong Xia Jiawen Yuan Youjin Wei Baowen

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract This paper briefly describes the principle of electron cooling and the current status.

Key Words beam temperature, electron cooling, cooling time.

(上接 33 页)

The calculated results are compared with the experimental values, and a good agreement has been obtained. The theory values are given for absent experimental data.

Key Words inelastic scattering, direct reaction model, integrated section, angular distribution.