

色散光学模型参数的评价与应用

陈操¹ 彭钦增¹ 孙业英² ✓

1 (清华大学物理系 北京 100084)

2 (清华大学材料科学系 北京 100084)

C571.41

摘要 仔细评价并介绍了几个可在核数据工作中直接应用的中重核色散光学模型参数。

关键词 色散光学模型 原子核反应 核数据评价

分类号 O571.41

1 引言

色散光学模型分析(DOMA)是研究核平均场的有力工具. 它的显著特点是将负能区的光学模型位与正能区的光学模型位通过色散关系联系在一起, 从而更准确地确定核平均场的特性. 它可以用于研究束缚态的特性, 也可以用来计算核反应截面. 特别是在低能部分, 显著地改进了采用普通光学模型参数的计算结果. 随着核数据研究向更精密化发展, 采用色散光学模型研究成果将会起到重要的作用.

色散光学模型分析方法有两大类. 一类是迭代矩方法(IMA), 它主要是通过调整光学位参数的径向矩, 获取光学模型参数; 另一类是普通分析法, 它是通过拟合和多次迭代分析实验上的可观察量, 获取系统的光学模型参数. 大部分色散光学模型的分析是采用第一种方法, 但是该方法获得的参数, 不便于在核数据计算中直接应用, 因此我们着重分析采用第二种研究方法的工作, 从中选取了部分可直接应用于核数据工作的研究成果, 它们都是建立在分析更精确、更丰富的实验数据基础上, 比如, 中子全截面、散射积分截面、反应积分截面、散射微分截面、散射极化度以及束缚态能级数据, 所得参数更精确和更可靠. 因此, 从核数据评价角度看, 可以得到实验基础更广泛更可靠的反应截面计算结果.

已分析和评价的有⁴⁰Ca、⁹⁰Zr、²⁰⁸Pb和

²⁰⁹Bi的中子 DOMA 参数以及⁴⁰Ca和⁹⁰Zr的质子 DOMA 计算公式参数. 下面给出的通用计算公式和两个代表性核素的完整的 DOMA 参数可以在编制程序时直接引用.

2 色散光学模型的计算公式

在色散光学模型分析中, 位参数表示为

$$U(\tau, E) = V(\tau, E) + iW(\tau, E) + 2\left(\frac{\hbar}{m_{\pi}c}\right)^2 [V_{\pi\pi}(E) + iW_{\pi\pi}(E)] \cdot \frac{d}{d\tau} f(\tau, R_{\pi\pi}, a_{\pi\pi}) l \cdot s + V_c(\tau), \quad (1)$$

这里

$$W(\tau, E) = W_v(\tau, E) + W_D(\tau, E) = -W_v(E) f(\tau, R_w, a_w) + 4a_D W_D(E) \frac{d}{d\tau} f(\tau, R_D, a_D), \quad (2)$$

其中形状因子

$$f(\tau, R_i, a_i) = [1 + \exp(\tau - R_i)/a_i]^{-1} \quad (3)$$

是 Woods-Saxon(WS) 形式, 其中 $R_i = r_i A^{1/3}$ (fm), $V_c(\tau)$ 为库仑位, E 为质心系能量. 在 DOMA 中

$$V(\tau, E) = V_{HF}(\tau, E) + \Delta V(\tau, E), \quad (4)$$

其中

$$V_{HF}(\tau, E) = V_{HF}(\tau, E) f(\tau, R_{HF}, a_{HF}) \quad (5)$$

是 Hartree-Fock (HF) 分量, 第二项就是色散的贡献

$$\Delta V(r, E) = \frac{P}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{W(r, E')}{E' - E} dE', \quad (6)$$

P 表示积分主值.

假定 $W(r, E')$ 相对于费米能 E_F 对称, (6) 式通常可表示为

$$\Delta V(r, E) = \frac{2P}{\pi} (E - E_F) \cdot \int_{E_F}^{\infty} \frac{W(r, E')}{(E' - E_F)^2 - (E - E_F)^2} dE'. \quad (7)$$

通常, 假定 $a_v = a_{HF} = a_w$, $r_v = r_{HF} = r_w$, 则除掉自旋轨道耦合项外, 还有 7 个待定可调参数, 它们是光学位深度参数 V_v 、 W_v 和 W_D 、以及形状参数 r_v 、 a_v 、 r_D 和 a_D . 虚部 $W_v(r, E)$ 和 $W_D(r, E)$ 或 $W(r, E)$ 有的工作用每个核子的体积分来表示, 比如

$$J_{W_v}(E) = \frac{4\pi}{A} \int_0^{\infty} W_v(r, E) r^2 dr, \quad (8)$$

J_{W_D} 和 J_W 都具有同样的形式. 当形状参数确定之后, 则 $W_v(E)$ 可由公式 (2) 确定, 即

$$W_v(E) = \frac{A}{4\pi} \frac{-J_{W_v}(E)}{\int_0^{\infty} f(r, R_w, a_w) r^2 dr}, \quad (9)$$

$W_D(E)$ 也具有类似的公式.

3 ^{208}Pb 的中子 DOMA 参数^[1]

费米能

$$E_F = -6 \text{ MeV}. \quad (10)$$

虚部

$$\begin{cases} W_v(E) = -0.17(E - E_F) \text{ MeV}, \\ \quad (10 \leq E \leq 50 \text{ MeV}), \\ W_v(E) = -6.8 \text{ MeV}, \\ \quad (E > 50 \text{ MeV}). \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} W_D(E) = -0.4(E - E_F) \text{ MeV}, \\ \quad (-6 < E < 10 \text{ MeV}), \\ W_D(E) = 0.103(E - 72) \text{ MeV}, \\ \quad (10 \leq E \leq 72 \text{ MeV}), \\ W_D(E) = 0, \\ \quad (E > 72 \text{ MeV}). \end{cases} \quad (12)$$

$$r_v = 0.68 \text{ fm}, \quad a_v = 1.240 \text{ fm}. \quad (13)$$

$$\begin{cases} r_D = 1.41 \quad a_D = 0.2, \\ \quad (E < 2.6 \text{ MeV}), \\ r_D = 1.41 - 0.0189(E - 2.6), \\ \quad a_D = 0.2 + 0.0513(E - 2.6), \\ \quad (2.6 \leq E \leq 10 \text{ MeV}), \\ r_D = 1.27 \quad a_D = 0.58, \\ \quad (E > 10 \text{ MeV}). \end{cases} \quad (14)$$

计算 ΔV 时, 取 $r_D = 1.35 \text{ fm}$ ($E < 5.8 \text{ MeV}$), $a_D = 0.58 \text{ fm}$.

HF 分量

$$V_H(E) = V_H(E_F) \exp \left[\frac{-a(E - E_F)}{V_H(E_F)} \right], \quad (15)$$

$$V_H(E_F) = -46.4 \text{ MeV}, \quad a = 0.31, \quad (16)$$

$$r_H = 1.240 \text{ fm}, \quad a_H = 0.58 \text{ fm}. \quad (17)$$

自旋轨道耦合项

$$\begin{aligned} V_{s_0} &= 5.75 \text{ MeV}, \quad r_{s_0} = 1.105 \text{ fm}, \\ a_{s_0} &= 0.50 \text{ fm}. \end{aligned} \quad (18)$$

4 ^{40}Ca 的质子 DOMA 参数^[2]

质子 DOMA 参数中库仑位为

$$V_c(r) = \frac{Ze^2}{2R} \left[3 - \frac{r^2}{R^2} \right] \quad (r < R),$$

$$V_c(\tau) = \frac{Ze^2}{\tau} \quad (\tau \geq R), \quad (19)$$

这里 $R = r_c A^{1/3}$, A 是质量数, Z 是电荷数, r_c 是库仑位半径.

费米能

$$E_F = -4.71 \text{ MeV}. \quad (20)$$

虚部

$$W_D(E) = -c_1 \frac{(E - E_F)^4}{(E - E_F)^4 + d^4} \exp[-g(E - E_F)],$$

$$c_1 = 8.4 \text{ MeV}, d = 15 \text{ MeV},$$

$$g = 0.01 \text{ MeV}^{-1} \quad (E \leq 80 \text{ MeV}),$$

$$W_D(E) = 4.27 - 0.011(E - E_F) \quad (80 < E < 390 \text{ MeV}). \quad (21)$$

$$W_v(E) = -c_2 \frac{(E - E_F)^4}{(E - E_F)^4 + h^4},$$

$$c_2 = 12.4 \text{ MeV}, h = 70.3 \text{ MeV}. \quad (22)$$

$$r_v = 1.20 \text{ fm}, a_v = 0.73 \text{ fm},$$

$$\tau_D = 1.26 \text{ fm}, a_D = 0.63 \text{ fm}. \quad (23)$$

HF 分量

$$V_H(E) = V_H(E_F) \exp\left[\frac{-a(E - E_F)}{V_H(E_F)}\right]. \quad (24)$$

$$V_H(E_F) = -58.25 \text{ MeV},$$

$$a = 0.616. \quad (25)$$

$$\tau_H = 1.20 \text{ fm}, a_H = 0.73 \text{ fm}. \quad (26)$$

自旋轨道耦合项和库仑半径

$$V_{so} = 5.6 - 0.008 E (\text{MeV}),$$

$$\begin{cases} W_{so} = 0, & (E \leq 50 \text{ MeV}), \\ W_{so} = -\frac{(E - 50)}{180}, & (E > 50 \text{ MeV}). \end{cases} \quad (27)$$

$$\tau_{so} = 1.05 \text{ fm}, a_{so} = 0.587 \text{ fm}. \quad (28)$$

$$\tau_c = 1.314 \text{ fm}. \quad (29)$$

参 考 文 献

- 1 Johnson C H, Horen D J, Mahaux C. Unified Description of the Neutron-²⁰⁸Pb Mean Field between -20 and +165 MeV from the Dispersion Relation Constraint. *Phys Rev.* 1987, C36, 2 252~2 273
- 2 Tornow W, Chen Z P, Delaroche J P. Proton Mean Field in ⁴⁰Ca between -60 MeV and +200 MeV Deduced from a Dispersive Optical-model Analysis. *Phys Rev.* 1990, C42, 693~706

Evaluation and Application for Parameters of DOMA

Chen Zhenpeng¹ Peng Qainzeng¹ Sun Yeying²

1 (Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

2 (Department of Material Science, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract By careful analysis, the parameters of DOMA (Disperse Optical Model Analysis) for some medium and heavy nucleus are determined. These parameters are useful for the evaluation of nuclear data.

Key words DOMA nuclear reaction evaluation of nuclear data

Classifying number O571.41