

${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 的 Λ 分离能及能谱

吴慧芳 沈建平 余友文 张宗焯

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文利用我们以前所得的 Λ -N 交换势, 计算了 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 的 Λ 分离能及其能谱. 为简单起见, 我们假定单粒子的径向部分取为 ${}^4\text{He}$ 的电荷形状因子. 计算结果与实验值符合得较好.

一、引 言

最近实验^[1,2]给出 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 的 Λ 粒子分离能 B_Λ 和 1^+ 态与 0^+ 态的能量间距 E_{ex} 如图 1 所示. 即 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 基态的 Λ 粒子分离能分别为

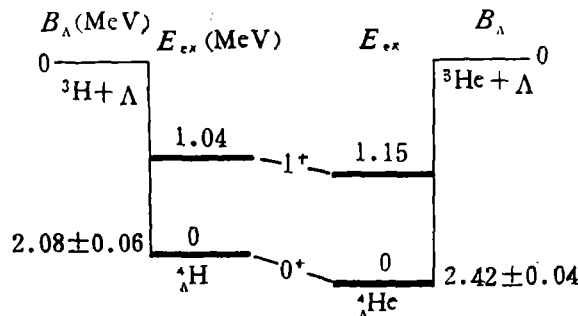


图 1 ${}^3\text{H}$ 和 ${}^4\text{He}$ 的分离能和能谱

$$B_\Lambda({}^4\text{He}) = 2.42 \pm 0.04 \text{ MeV}, \quad B_\Lambda({}^3\text{H}) = 2.08 \pm 0.06 \text{ MeV}.$$

其分离能之差为

$$\Delta B_\Lambda = B_\Lambda({}^4\text{He}) - B_\Lambda({}^3\text{H}) \approx 0.34 \pm 0.07 \text{ MeV}$$

${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 的 1^+ 态与 0^+ 态的能量间距分别为

$$E_{ex}({}^4\text{He}) = 1.15 \text{ MeV}, \quad E_{ex}({}^3\text{H}) = 1.04 \text{ MeV}.$$

Gibson 等人^[2]曾对 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 分离能之差进行了计算, 得到了与实验较好的符合. 我们在前一个工作中^[3], 用单 K 及 $2\pi, \pi\rho$ 交换机制给出了 Λ -N 相互作用. 尽管我们在计算中使用了零动量近似和中间态能量取平均的近似, 但是就所得到的位势来分析, 还是定性地与实验特点相符合的. 为了进一步检验我们所得到的 Λ -N 介子交换势的合理性, 我们在假定径向波函数取作 ${}^4\text{He}$ 的实验电荷形状因子下, 计算了 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^3\text{H}$ 的 Λ 分离能及能谱.

在计算中,所采用的 Λ -N 势的耦合常数仍与参考文献[3]一样,并且考虑到 Λ -N 相互作用势有很强的排斥心,故采用了硬切断近似,即

$$V'_{\Lambda-N}(r_{12}) = V_{\Lambda-N}(r_{12}) \cdot C(r_{12}). \quad (1)$$

$$C(r_{12}) = \begin{cases} 0, & r_{12} < R_c; \\ 1, & r_{12} \geq R_c. \end{cases} \quad (2)$$

其中 R_c 是切断半径.

二、计算公式

1. ${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 的波函数

${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 的波函数可分别表为

$$\Psi(S^+) = \sqrt{\frac{1}{N}} \mathcal{A} \Phi(r) \chi_s, \quad (3)$$

$$\Psi'(S^+) = \sqrt{\frac{1}{N'}} \mathcal{A}' \Phi'(r) \chi'_s. \quad (4)$$

其中 S^+ 相应为自旋和宇称; \mathcal{A} 是反对称化算符; $\sqrt{\frac{1}{N}}$ 、 $\sqrt{\frac{1}{N'}}$ 是归一化因子.

对于 ${}^4\text{He}$

$$\Phi(r) = \varphi_\Lambda(r_1) \varphi_n(r_2) \varphi_p(r_3) \varphi_p(r_4), \quad (5)$$

$$\chi_{s=0} = \{(\Lambda(1)n(2))_0(P(3)P(4))_0\}_0. \quad (6)$$

对于 ${}^4\text{H}$

$$\Phi'(r) = \varphi_\Lambda(r_1) \varphi_p(r_2) \varphi_n(r_3) \varphi_n(r_4), \quad (7)$$

$$\chi'_{s=0} = \{(\Lambda(1)P(2))_0(n(3)n(4))_0\}_0. \quad (8)$$

为简单起见,我们假定径向部分波函数 φ_Λ 与 φ_n (或 φ_p) 一样,皆取为 ${}^4\text{He}$ 的实验电荷形状因子^[4], 即

$$\begin{aligned} \varphi_\Lambda &= \varphi_n = \varphi_p = \varphi(r) \\ &= \exp\left(-\frac{r^2}{R_\Lambda^2}\right) \left[1 + c_1 \exp\left(-\frac{r^2}{a_1^2}\right) + c_2 \exp\left(-\frac{r^2}{a_2^2}\right)\right]. \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} R_\Lambda &= 1.315 \text{ fm}, \quad a_1 = 2.301 \text{ fm}, \quad a_2 = 0.52 \text{ fm}, \\ c_1 &= 0.20, \quad c_2 = -0.85. \end{aligned}$$

2. ${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 的基态 Λ 分离能及能量间距公式

${}^4\text{He}$ 基态的 Λ 粒子的分离能可近似写成在基态中 Λ 粒子与其它核子相互作用能和 Λ 粒子动能和的负值, 即

$$B_\Lambda({}^4\text{He}) = -\langle \Psi(0^+) | V_{\Lambda n} + 2V_{\Lambda p} | \Psi(0^+) \rangle - T_\Lambda. \quad (10)$$

同理对 ${}^4\text{H}$ 有

$$B_\Lambda({}^4\text{H}) = -\langle \Psi'(0^+) | V_{\Lambda p} + 2V_{\Lambda n} | \Psi'(0^+) \rangle - T'_\Lambda. \quad (11)$$

其中 T_Λ 和 T'_Λ 分别取为 Λ 粒子在 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 中的平均动能, $T_\Lambda = \langle \Psi(0^+) | \frac{p^2}{2m_\Lambda} | \Psi(0^+) \rangle$,

由于我们选用的模型 $T'_\Lambda = T_\Lambda$.

${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 基态 Λ 粒子分离能之差为

$$\begin{aligned} \Delta B_\Lambda &= \langle \Psi'(0^+) | V_{\Lambda p} + 2V_{\Lambda n} | \Psi'(0^+) \rangle \\ &\quad - \langle \Psi(0^+) | V_{\Lambda n} + 2V_{\Lambda p} | \Psi(0^+) \rangle. \end{aligned} \quad (12)$$

至于 ${}^4\text{He}$ 和 ${}^4\text{H}$ 的 1^+ 态与 0^+ 态的能级间距分别由下列两式给出

$$\begin{aligned} E_{\text{ex}}({}^4\text{He}) &= \langle \Psi(1^+) | V_{\Lambda n} + 2V_{\Lambda p} | \Psi(1^+) \rangle \\ &\quad - \langle \Psi(0^+) | V_{\Lambda n} + 2V_{\Lambda p} | \Psi(0^+) \rangle, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{ex}}({}^4\text{H}) &= \langle \Psi'(1^+) | V_{\Lambda p} + 2V_{\Lambda n} | \Psi'(1^+) \rangle \\ &\quad - \langle \Psi'(0^+) | V_{\Lambda p} + 2V_{\Lambda n} | \Psi'(0^+) \rangle, \end{aligned} \quad (14)$$

三、计算结果与讨论

在计算中,我们对切断半径 R_c 在 0.6—0.65 fm 范围内取了几个值进行计算,发现 R_c

表 1

	理 论	实 验
ΔB_Λ	0.27	0.34 ± 0.07
$B_\Lambda({}^4\text{He})$	1.98	2.42 ± 0.04
$B_\Lambda({}^4\text{H})$	1.71	2.08 ± 0.06
$E_{\text{ex}}({}^4\text{He})$	1.27	1.15
$E_{\text{ex}}({}^4\text{H})$	1.18	1.04

在此范围内计算值变化不大,所得计算结果与实验结果相比较是比较合理的. 现将 $R_c = 0.62\text{fm}$ 的计算结果用表 1 表示,理论结果与实验值是符合得较好的. 这表明:我们在前面一个工作中^[3]所采用的介子交换机制以及所取的近似有一定的合理性. 然而,究竟能否用以解释其它超核的 Λ

粒子分离能和能谱,以及有关的散射实验,还需要进一步经受检验.

参 考 文 献

- [1] Carl B. Dover, *Nucl. Phys.*, A335 (1980), 227.
- [2] B. F. Gibson and D. R. Lehman, *Nucl. Phys.*, A329 (1979), 308.
- [3] 吴慧芳、沈建平、余友文、张宗焯, *高能物理与核物理*, 5(1981), 334.
- [4] A. Tékou, *Nuovo. Cimento*, 54A (1979), 25.

THE ENERGY SPECTRA OF ${}^4\text{He}$ AND ${}^4\text{H}$

WU HUI-FANG SHEN JIAN-PING YU YOU-WEN ZHANG ZONG-YE

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper we have calculated the Λ -separation energies and the energy spectra of ${}^4\text{He}$ and ${}^4\text{H}$ using the Λ -N meson exchange potential^[3] which we have obtained. For simplicity, we assume that the radial part of single particle is taken to be the experimental charge form factor of ${}^4\text{He}$. The results are in good agreement with the experimental data.