

速度相关势对氘核磁矩的校正*

朱 啓 明

一、引 言

核的磁矩是决定核势的一个因素。氘核磁矩主要来自中子、质子自旋磁矩和³D态轨道磁矩,即

$$\mu_n + \mu_p - \frac{3}{2} \left(\mu_n + \mu_p - \frac{1}{2} \right) P_D$$

P_D 为³D态几率。氘核磁矩实验值 $\mu_{\text{实}} = 0.8574$ 核磁子,由此得到 $P_D \cong 3.9\%$ 。这一数值往往也成为核势所要考虑的一个因素。但是也存在着对磁矩的相对论校正(负的)^[1]和非可加性校正(正的)^[2]。Blanchard等^[3]曾指出,任何与速度相关的核势对核的磁矩有一个附加的贡献,因为荷电粒子在电磁场中的动量

$$\mathbf{p} \rightarrow \mathbf{p} - \frac{e}{c} \mathbf{A}(\mathbf{r}),$$

因此在相互作用能量的平均中将出现与磁场 \mathcal{H} 成线性的项 $U = -\Delta\mu \cdot \mathcal{H}$,其中 $\Delta\mu$ 就是速度相关势所附加的磁矩矢量。这一概念是正确的。它对氘(和氚等)核磁矩的校正是对三偶态核势的一种限制。

Feshbach^[4]和 Marshak等^[5]曾计算过GT^[6],MS^[7]势对氘核磁矩的校正。他们计算的数值相差较大。Feshbach由于所用波函数比较粗糙,并且忽略了³D态几率,得到了不合理的结果。Marshak等用格尔坦豪斯波函数^[8]得到的结果有所改进。但二者都表明 $\Delta\mu$ 的大小是附加于核势的一种条件。我们认为这些计算仍然是有意义的,因此用霍尔坦波函数^[9,10]计算了GT,MS,GKI,GKII^[10],LHRMB^[11],G^[12]等势对氘核磁矩的校正,计算结果表明,对GT,MS势与Marshak结果相接近,而对LHRMB,G,GKII势磁矩的校正值是较合理的。

二、计算结果和讨论

GT,MS,GKI,II势与速度相关的项是其中的自旋轨道耦合能 $V_{sl}(r)\mathbf{s} \cdot \mathbf{l}$,它所附加的磁矩为²⁾

$$\Delta\mu = \frac{e}{12\hbar c} \left\{ \int u^2(r)r^2V_{sl}(r)dr - \frac{\sqrt{2}}{2} \int u(r)w(r)r^2V_{sl}(r)dr - \int w^2(r)r^2V_{sl}(r)dr \right\}. \quad (1)$$

* 1963年3月12日收到。

1) 用 $\rho(-\epsilon, -\epsilon) = 1.704 \times 10^{-13}$ 厘米这一组,由于切断半径和 P_D 的不同尚有区别(有9组波函数参数),因此对各势所用的波函数是取切断半径和 P_D 最接近的一组参数。

2) (1)式中第三项和Feshbach的公式差一因子(-2)。

$u(r)$, $\omega(r)$ 分别为 3S 和 3D 态径向波函数, 归一化条件为 $\int [u^2(r) + \omega^2(r)] dr = 1$, (1) 式中第一项数值最大, 其符号与 $V_{si}(r)$ 相同, 后二项数值较小, 符号与第一项相反, 所以 $\Delta\mu$ 与 $V_{si}(r)$ 同号.

LHRMB 除了自旋轨道耦合能之外, 还有

$$V_q(r)[Q_{12} - (\mathbf{s} \cdot \mathbf{l})^2] = V_q(r)[(\mathbf{s} \cdot \mathbf{l})^2 + (\mathbf{s} \cdot \mathbf{l}) + P]$$

也与速度相关, 所以

$$\Delta\mu = \frac{e}{12\hbar c} \left\{ \int u^2(r) r^2 [V_q(r) + V_{si}(r)] dr + \sqrt{2} \int u(r) \omega(r) r^2 [V_q(r) - \frac{1}{2} V_{si}(r)] dr + \int \omega^2(r) r^2 \left[\frac{19}{2} V_q(r) - V_{si}(r) \right] dr \right\} \quad (2)$$

G 势中与速度相关项的形式为 $\frac{\hat{p}^2}{m_0} \omega(r) + \omega(r) \frac{\hat{p}^2}{m_0}$. 因此

$$\Delta\mu = \frac{3\hbar e}{2m_0 c} \int \omega(r)^2 \omega(r) dr, \quad (3)$$

即贡献仅来自 3D 态, 因此绝对值是较小的, 而符号与 $\omega(r)$ 相同.

利用上述公式计算的 $\Delta\mu$ 列于下表. 表中磁矩的单位为核磁子. 从表中可以看出,

势	GT	MS	GKI	GKII	LHRMB	G ¹⁾
$\Delta\mu$	-0.016 (-0.017) ²⁾	-0.022 (-0.018)	-0.0068	+0.0046	≈ 0	+0.0030

1) 这数值是由三偶势中第一组参数(2)而计算得到的.

2) 考虑到 Feshbach 公式中第三项差一因子(-2), 因此改正后绝对值应比 0.017 小一点.

对于 GT, MS 势, 我们计算的结果和 Marshak 等计算的结果(括弧中的值)相接近, 这表明霍尔坦波函数是可用的.

对于 GT, MS 势, $\mu_{\text{H}} \left(\equiv \mu_n + \mu_p - \frac{3}{2} \left(\mu_n + \mu_p - \frac{1}{2} \right) P_D + \Delta\mu \right) - \mu_{\text{实}}$ 分别为 -0.031 和 -0.038 核磁子, 因此结果较差, 这是由于 V_{si} (从而使 $\Delta\mu$) 较大和 P_D 较大所造成的, 且二者都使 μ_{H} 按同一方向偏离 $\mu_{\text{实}}$. 对 GKI, II 势, $\Delta\mu$ 本身并不大, 主要由于 P_D 较大, 才使 μ_{H} 偏离 $\mu_{\text{实}}$ 也较大, 因此适当地减小 P_D (即减小张量力强度, 增加中心力强度), 结果将会变好些, 尤其对 GKII, 减小一点 P_D 很可能使 μ_{H} 与 $\mu_{\text{实}}$ 一致. 对 LHRMB 势, 由于 $V_q(r)$ 和 $V_{si}(r)$ 中的主要项对 $\Delta\mu$ 的贡献是互相抵消的, 因此 $\Delta\mu$ 就很小 (-0.0004), 几乎为零 [如果改变 $V_q(r)$ 或 $V_{si}(r)$ 的符号, 则 $\Delta\mu$ 将为很大而完全不合理]. 对 G 势, 由于不包含自旋轨道耦合能, 又由(3)式可以看出这种形式的核势的 $\Delta\mu$ 值是较小的, 并且是正的, 因此 LHRMB 和 G, GKII 势的 $\Delta\mu$ 值是合理的.

如果考虑到相对论和非可加性校正是负的, 则 GT, MS 势的结果将是更差的. 一般说, 如果核势使 $P_D > 3.9\%$, 则也应该使 $\Delta\mu > 0$ 才是较好的.

上述结果表明, 速度相关的核势应该考虑到对磁矩的影响, $\Delta\mu$ 值的大小, 也是确定核势时需要考虑的一个因素. 当然, 要得出进一步的结果, 必须计算对 H^3 , He^3 等核的磁

矩的校正,但計算这些校正,必須先确定它們比較精确的波函数。

这一工作是在胡济民老师的指导下完成的,作者对胡老师表示深切的感謝。

参 考 文 献

- [1] Sugawara, M., *Phys. Rev.*, **99** (1955), 1601; *Ark. Fysiki*, **10** (1955), 113; *Progr. Theor. Phys.*, **14** (1955), 535.
- [2] Miyazawa, H., *Progr. Theor. Phys.*, **7** (1952), 207.
- [3] Blanchard, F. H. et al., *Phys. Rev.*, **78** (1950), 292.
- [4] Feshbach, H., *Phys. Rev.*, **107** (1957), 1626.
- [5] Swart, J. J., Marshak, R. E., Signell, P. S., *Norvo. Cimento.*, **6** (1957), 1189.
- [6] Gammcl, J. L., Thaler, R. M., *Phys. Rev.*, **107** (1957), 291.
- [7] Signell, P. S., Marshak, R. E., *Phys. Rev.*, **106** (1957), 832.
- [8] Gartenhaus, S., *Phys. Rev.*, **100** (1955), 900.
- [9] *Handbuch der Physik*, Band 39, 108 (俄文版).
- [10] Glendenning, N. K., Kramer, G., *Phys. Rev.*, **125** (1962), 269.
- [11] Lassila, K. E. et al., *Phys. Rev.*, **126** (1962), 881.
- [12] Green, A. M., *Nuclear Phys.*, **33** (1962), 218.