

$SU(6)$ 对称性和 $\frac{3}{2}^+$ 重子电磁质量差*

楊 国 楨

(北京大学物理系)

$\frac{1}{2}^+$ 和 $\frac{3}{2}^+$ 重子属于 $SU(6)$ 群的 56 维表示, 假定总磁矩按照正规表示变化, 除 $SU(3)$ 对称性给出的结果外^[1], 还可以预言^[2]

$$\frac{\mu(n)}{\mu(p)} = -\frac{2}{3}, \quad (1)$$

$$\mu_{10} = Q\mu(p) \quad (2)$$

和

$$\langle p | \mu | N^{*+} \rangle = \frac{2\sqrt{2}}{3} \mu(p). \quad (3)$$

(1) 式和实验值颇为一致, (2) 式至今尚未得到实验检验, (3) 式约为从光生 π 介子过程实验分析的 60%^[2,3].

我们曾利用 $SU(3)$ 对称性预言 $\frac{1}{2}^+$ 重子的磁矩, 用 Feynman 和 Speisman 方法, 计算了 $\frac{1}{2}^+$ 重子的电磁质量差, 得到了与实验一致的结果, 从而间接地证实了 $SU(3)$ 理论所预言的 $\frac{1}{2}^+$ 重子磁矩的正确性^[4].

本文的目的是利用 $SU(6)$ 预言的 $\frac{1}{2}^+$ 和 $\frac{3}{2}^+$ 重子的转换磁矩, 用 Feynman 和 Speisman 方法, 考虑最低质量的中间态(一个 $\frac{1}{2}^+$ 重子和一个光子), 计算 $\frac{3}{2}^+$ 重子的电磁质量, 并粗略地考虑较高质量中间态(一个 $\frac{3}{2}^+$ 重子和一个光子)的修正, 以便间接地检验 $SU(6)$ 理论预言的转换磁矩和 $SU(3)$ 理论预言的 $\frac{3}{2}^+$ 重子磁矩的可信程度.

按照 $SU(6)$ 理论, $\frac{1}{2}^+$ 重子和 $\frac{3}{2}^+$ 重子的转换磁矩为

$$\begin{aligned} \langle p | \mu | N^{*+} \rangle &= +\langle \Sigma^+ | \mu | Y^{*+} \rangle = \langle n | \mu | N^{*0} \rangle = 2\langle \Sigma^0 | \mu | Y^{*0} \rangle = \\ &= -\frac{2}{\sqrt{3}} \langle \Lambda | \mu | Y^{*0} \rangle = -\langle \Xi^0 | \mu | \Xi^{*0} \rangle = \frac{2\sqrt{2}}{3} \mu(p). \end{aligned} \quad (4)$$

用 Feynman 和 Speisman 方法, 在简单的近似下, 我们先考虑最低质量中间态, 如图 1 所示. 图 1 中实线代表重子, 它们的自旋和宇称已表出, 虚线代表光子. 较高质量中间态如图 2 所示, 它们的质量与图 1 中间态质量差得不多, 它们的贡献是不能忽略的. 但是, 由于 $\frac{3}{2}^+$ 重子传播因子的出现, 自能积分的发散度就随着增高. 为了使积分收敛, $\frac{3}{2}^+$

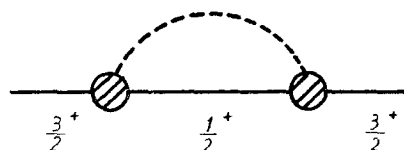


图 1

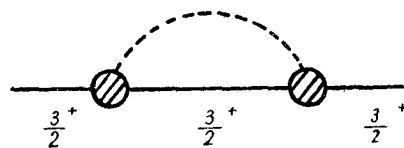


图 2

* 1965 年 8 月 4 日收到.

重子电流的形式因子不能是简单的单极点形式,需要重新选择形式因子,这样会在我们的计算中引入新的参数,增加不确定性.因此,为了简单和确定起见,我们先细致地考虑图 1 的中间态,然后粗略地考虑图 2 中间态的修正.

光生 π 介子过程分析给出 $\frac{1}{2}^+$ 重子和 $\frac{3}{2}^+$ 重子与光子耦合顶角的主要形式是^[3]

$$H = -\frac{ef}{\mu} (\bar{\psi} \gamma_\mu \gamma_5 \psi_\nu + \bar{\psi}_\nu \gamma_\mu \gamma_5 \psi) F^{\mu\nu}, \quad (5)$$

式中 μ 为 π 介子质量, f 与转换磁矩的关系为

$$f = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \frac{\mu}{m_N} \left\langle \frac{1}{2}^+ \middle| \mu \middle| \frac{3}{2}^+ \right\rangle. \quad (6)$$

用(5)式,并假定形式因子为 $F(k^2) = fM^2/k^2 - M^2$, 直接计算得^[5]

$$\begin{aligned} \delta m = & \frac{m^3 f^2 e^2}{192\pi^2 \mu^2} \left[3x^2 - 5x^2 y + xy^2 - \frac{7}{2} x^2 + 4xy + \right. \\ & \left. + GF + H \ln \frac{1+y}{x} + (y^4 + 4y^3) \ln \frac{1+y}{|y|} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

式中

$$\begin{aligned} x &= M^2/m_{3/2}^2, & y &= \frac{m_{1/2}^2 - m_{3/2}^2}{m_{3/2}^2}, \\ F &= \int_0^1 (\alpha^2 + y\alpha - x\alpha + x)^{-1} d\alpha, \\ G &= \frac{1}{2} (x-y)^4 (y+3x) + (x-y)^2 (2y^2 + xy - 7x^2) + \\ & \quad + 8x^3 - 8x^2 y - 4y^2 x - 4x^2 - 6(y+1)^{1/2} x^2 (2+y-x), \\ H &= \frac{1}{2} (x-y)^3 (3x+y) - 2(x-y)^2 (2x+y) + 3x^2 + 6(1+y)^{1/2} x^2, \end{aligned}$$

其中 $m_{1/2}$ 和 $m_{3/2}$ 分别是 $\frac{1}{2}^+$ 重子和 $\frac{3}{2}^+$ 重子的观察质量.

把(4)和(6)式给出的转换磁矩代入(7)式,选取 $x=1$, 立即得到 $\frac{1}{2}^+$ 重子中间态贡献的 $\frac{3}{2}^+$ 重子电磁质量(见表 1).

下面我们粗略地考虑 $\frac{3}{2}^+$ 重子中间态对电磁质量的修正. 假如忽略 $\frac{3}{2}^+$ 十重态内部的质量差, 则 $\frac{3}{2}^+$ 重子中间态贡献的电磁质量修正只和相应粒子的电荷和磁矩有关. $SU(3)$ 理论预言[只要把(2)式中 $\mu(p)$ 换成任意参数 μ] $\frac{3}{2}^+$ 重子的电荷和磁矩成正比, 也就是说修正的大小完全由电荷决定, 即

$$\delta m' = aQ^2, \quad (8)$$

其中 a 是未定参数, 表示 $\frac{3}{2}^+$ 重子中间态的修正的大小. 用 $N^{*++} - N^{*0}$ 观察质量差为输入定得的 a , 来计算其他 $\frac{3}{2}^+$ 重子的修正, 最后结果列在表 1 中.

因此, 利用 $SU(6)$ 预言的 $\frac{1}{2}^+$ 和 $\frac{3}{2}^+$ 重子的转换磁矩, 粗略地考虑 $\frac{3}{2}^+$ 重子中间态的修正, 只用一个参数, 我们预言了全部 $\frac{3}{2}^+$ 重子的电磁质量, 其中三个电磁质量差 $Y^{*-} - Y^{*+}$, $\Xi^{*-} - \Xi^{*0}$ 和 $N^{*-} - N^{*+}$ 可以与实验比较, 理论值与实验值符合得较好, 这是对我们理论方案的支持. 但是, 目前的实验数据还存在着较大的误差, 可以期望, 不久会从实验上更好地确定各种 $\frac{3}{2}^+$ 重子的电磁质量差, 这将对于细致地考虑 $\frac{3}{2}^+$ 重子中间态的修正以及进一

表 1

$\frac{3}{2}^+$ 重子	f	电 磁 质 量 (MeV)		电 磁 质 量 差 (MeV)	
		$\frac{1}{2}^+$ 中间态的贡献	$\frac{3}{2}^+$ 中间态的修正	理 论 值	实 验 值
N^{*0}	0.23	-2.8	0	$\left. \begin{array}{l} \text{输入} \\ 2.4 \\ -2.8 \end{array} \right\}$	$-0.45 \pm 0.85^{[6]}$ $0.6 \pm 5.0^{[7]}$
N^{*++}	0	0	-3.2		
N^{*-}	0	0	-0.8		
N^{*+}	0.23	-2.8	-0.8		
Y^{*+}	0.23	-3.8	-0.8	$\left. \begin{array}{l} 3.8 \\ -3.1 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 4.3 \pm 2.2^{[8]} \\ 17 \pm 7 \end{array} \right.$
Y^{*-}	0	0	-0.8		
Y^{*0}	$0.12(Y^{*0} \rightarrow \Sigma^0)$ $-0.20(Y^{*0} \rightarrow \Lambda)$	-3.9	0		
Ξ^{*0}	-0.23	-5.1	0	$\left. \begin{array}{l} 4.3 \end{array} \right\}$	$5.7 \pm 3.0^{[9]}$
Ξ^{*-}	0	0	-0.8		
Ω^-	0	0	-0.8		

步检验我们的理论方案有着重要的意义。

上面的计算中,我们选取 $x = M^2/m_{3/2}^2 = 1$, 也就是假定形式因子 $F(k^2) = fM^2/k^2 - M^2$ 的等效极点 M 在 $\frac{3}{2}^+$ 重子的观察质量处,这和我们在计算 $\frac{1}{2}^+$ 重子的电磁质量差时,选取等效极点的位置是一致的^[4]。从定性上讲,等效极点在粒子 Compton 波长附近也是合理的。

我们的方案和通常用 $SU(6)$ 对称性方法考虑电磁质量的方案(简称对称性方法)^[10]有很大差别。对称性方法假定电荷属于 $SU(6)$ 群一个 35 维表示的 $(8, 1)$ 分量,磁矩属于另一个 35 维表示的 $(8, 3)$ 分量,电磁质量是二级电磁作用产生的,按照 35×35 维表示相应的分量变化,引入二个或三个参数预言十个 $\frac{1}{2}^+$ 和 $\frac{3}{2}^+$ 重子的电磁质量差。由于 $SU(6)$ 理论是非相对论的,动量 P 未能引入通常的 $SU(6)$ 对称性方案中来。因此,对称性方法只考虑了电荷-电荷,磁矩-磁矩相互作用对电磁质量的贡献,不能考虑电荷-磁矩相互作用的贡献。然而,计算结果表明后者是引起电磁质量的重要原因,中子比质子重的事实正可以由它来说明。另外,用对称性方法预言的电磁质量关系,很难考虑对称性破坏强相互作用对电磁质量的影响,从我们关于 $\frac{1}{2}^+$ 重子^[4] 和 $\frac{3}{2}^+$ 重子电磁质量的计算结果中可以看出,对称性破坏的强作用对电磁质量的影响是重要的。

作者感谢胡宁教授的指导以及科研组同志们对本工作多次有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] Macfarlane, A. J. and Sudarshan, E. C. G., *Nuovo Cimento*, **31** (1964), 1176.
- [2] Bég, M. A. B., Lee, B. W. and Pais, A., *Phys. Rev. Letters*, **13** (1964), 514.
- [3] Gourdin, M. and Salin, PH., *Nuovo Cimento*, **27** (1963), 309.
- [4] 胡 宁、杨国桢, 科学通报, 1965 年, 347.
- [5] Socolow, R. and Coleman, S., *Phys. Rev.*, **135** (1964), B1451.

-
- [6] Olsson, M. G., *Phys. Rev. Letters*, **14** (1965), 113.
 - [7] Birge, R., et al., Proceedings of the Dubna Conference on High-Energy Physics, August 1964.
 - [8] Huwe, D. O., UCRL 11291.
Cooper, W. A., et al., *Phys. Letters*, **8** (1964), 365.
 - [9] Pjerrou, G. M., et al., *Phys. Rev. Letters*, **14** (1965), 275.
 - [10] Sakita, B., *Phys. Rev. Letters*, **13** (1964), 643.
Kuo, T. K. and Yao, T., *Phys. Rev. Letters*, **14** (1965), 79.