6 GeV 共振可能是一个传递反常作用的矢介子?

罗辽复

(内蒙古大学)

陆 琰

(南京电讯仪器厂)

Fermi 实验室宣布了在“ $p + Be \rightarrow e^+e^- + \text{其它}$ ”过程中发现了 e^+e^- 在 6GeV 附近的共振^[1], 但却没有找到 $\mu^+\mu^-$ 的类似共振^[2], 因而具有明显的 μ - e 不对称性. 这个事实如果进一步为实验确立, 也许意味着此处的 6GeV 共振就是十年前^[3] 预言的那个传递反常作用的 σ 矢量介子. 本文将讨论这种可能性.

σ 介子只与 e 有作用

$$H = f\bar{e}\gamma_\mu e\sigma_\mu, \quad (1)$$

而不与 μ 直接耦合. 取^[3,4]

$$\frac{f^2}{4\pi} \cong \frac{1}{2} \times 10^{-2} M_\sigma^2 / \Lambda^2, \quad (\Lambda \gtrsim M_\sigma) \quad (2)$$

就可以解释神秘的 μ - e 质量差, Λ 为标志电子大小的切断动量. 据(1)式易算得 $\sigma \rightarrow e^+e^-$ 过程的偏宽度为

$$\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-) = \frac{f^2}{12\pi} M_\sigma, \quad (3)$$

(2) 代入 (3) 得

$$\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-) \cong 1.67 \times 10^{-3} \frac{M_\sigma^3}{\Lambda^2}. \quad (4)$$

然而 SLAC 实验室在 e^+e^- 对撞机上没有找到这个共振, 考虑到资料^[1] 的事例数不多, 并且没有发现相应的 $\mu^+\mu^-$ 共振事例, 他们认为可能这个粒子并不存在. 如果存在的话, 那末这个粒子 e^+e^- 蜕变方式的偏宽度当在 150eV 以下^[2], 因此据 (3) 和 (4) 可得

$$\frac{f^2}{4\pi} = \frac{3\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-)}{M_\sigma} \lesssim 10^{-3}\alpha, \quad (5)$$

$$\Lambda \gtrsim 1.5 \times 10^3 \text{GeV}, \quad (6)$$

可见反常作用较电磁作用至少还弱五个量级*, 而切断动量则较目前测得的下限^[5] 至少还高一个多量级. 这表明电子半径较质子半

径小三个量级以上.

为了讨论 σ 介子与强子的作用, 需要略为详细地分析一下 Fermi 实验室的数据. 该实验室用 400 GeV 的质子轰击 Be 靶, 发现不变质量在 5.5—10.0GeV 间的 e^+e^- 事例有 27 个, 其中 12 个集中在 6GeV 邻近, 被认为是 6GeV 共振的蜕变产物 (图 1); 最自然的, 其余 15 个可认为是通常的电磁产生事例 (图 2). 如 σ 介子具有和 γ 光子大体相同的量子数, 则这两种过程的主要差别仅在于传播函数和耦合常数的不同. 图 1 的传播函数可取

$$\frac{1}{k^2 + M_\sigma^2} \rightarrow \frac{1}{k^2 + \left(M_\sigma - \frac{i}{2}\Gamma_{\text{tot}}\right)^2}, \quad (7)$$

在 e^+e^- 对质心系中来看, 共振邻近的传播函

图 1

图 2

本文 1976 年 12 月 15 日收到.

* 6GeV 共振若非 σ , 而与 σ 耦合, 则 $f^2/4\pi$ 可增大.

数变为

$$\frac{1}{\varepsilon^2 - \left(M_\sigma - \frac{i}{2}\Gamma_{\text{tot}}\right)^2} \approx \frac{1}{2M_\sigma} \frac{1}{(\varepsilon - M_\sigma) + \frac{i}{2}\Gamma_{\text{tot}}}, \quad (8)$$

而图 2 的传布函数简单地为 $\frac{1}{\varepsilon^2}$, ε 为电子对的不变质量, 因此它们对产生率的贡献之比为

$$f^2 g^2 \frac{1}{4M_\sigma^2} \int \left| \frac{1}{(\varepsilon - M_\sigma) + \frac{i}{2}\Gamma_{\text{tot}}} \right|^2 d\varepsilon : e^4 \times \int_{5.5}^{10.0} \frac{d\varepsilon}{\varepsilon^4} = \frac{f^2 g^2 \pi}{2M_\sigma^2 \Gamma_{\text{tot}}} : \frac{e^4}{3} \times 0.005 \text{GeV}^{-3} = 12:15, \quad (9)$$

考虑到 (3) 式, 由 (9) 定出

$$B g^2 \approx 5 \times 10^{-5}, \quad (10)$$

其中 $B = \frac{\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-)}{\Gamma_{\text{tot}}}$. (10) 式表明: 如

果 σ 介子的电子蜕变方式具有一个相当小的分支比, 那么它和强子的作用就足够强 (g 足够大), 因而可以得到较大的强生截面. 已知 $\Gamma_{\text{tot}} < 70 \text{MeV}$, $\sigma_{\text{强生}} B \approx 5.2 \times 10^{-36} \text{cm}^2 [11]$, 令 $\lambda = \frac{\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-)}{150 \text{eV}}$ ($\lambda < 1$), 由 SLAC 和 Fermi

两实验室的结果推算得 σ 介子的各种实验参数 (Γ_{tot} 取值为假设, $\sigma_{\text{基}}$ 为 $e^+e^- \rightarrow \sigma$ 的峰截面) 如表 1. 可以见到, 当 λ 适当取值, 它们并无不合理和不协调. $\sigma_{\text{强生}}$ 的理论计算依赖于具体模型, 但表 1 中给出的 $\sigma_{\text{强生}}$ 与 $\frac{g^2}{4\pi}$ 的相对大

表 1

Γ_{tot}	70MeV	1MeV	1KeV
B	$2 \times 10^{-6}\lambda$	$1.5 \times 10^{-4}\lambda$	$1.5 \times 10^{-1}\lambda$
$\sigma_{\text{基}}(\text{nb})$	0.8λ	60λ	$6 \times 10^4\lambda$
$\sigma_{\text{强生}}(\mu\text{b})$	$2.6/\lambda$	$3.6 \times 10^{-2}/\lambda$	$3.6 \times 10^{-5}/\lambda$
$f^2/4\pi$	$10^{-5}\lambda\alpha$	$10^{-5}\lambda\alpha$	$10^{-5}\lambda\alpha$
$g^2/4\pi$	$2/\lambda$	$2.7 \times 10^{-2}/\lambda$	$2.7 \times 10^{-5}/\lambda$

小关系是可以接受的. SLAC 没有找到 6GeV 共振 (其实验结果集中反映于 $\lambda < 1$), 可能意味着它具有和 φ 、 ρ 、 J 等矢介子不同的特性.

如果这个粒子就是反常作用的负荷者, 那么 $\sigma \rightarrow \mu^+\mu^-$ 只能通过其他粒子 (主要是强子) 中间态进行. 设 σ 衰变中与层子的等效作用为

$$H_q = \sum_{i=c,s,u,d} g_i \sigma_\mu \bar{q}_i \gamma_\mu q_i, \quad (11)$$

用矢量为主进行粗略估计, 按图 3 机制, 由层子模型 [6] 不难得到

$$\frac{\Gamma(\sigma \rightarrow \text{强子} \rightarrow \mu^+\mu^-)}{\Gamma(\sigma \rightarrow e^+e^-)} \approx \left(\frac{2f_J g_c \sqrt{M_J} \phi_J(0)}{f M_\sigma^2} \right)^2 + (\text{由 } \varphi, \omega, \rho \text{ 贡献的类似的项}). \quad (12)$$

目前实验未发现 $\mu^+\mu^-$ 的 6GeV 共振要求上式 $\ll 1$, 这只给出 $\frac{g_c^2}{4\pi} \ll 10^2$. 因此, 这从另一角度说明了目前实验资料并不排斥 σ 介子与强子有较强的作用.

图 3

参 考 资 料

- [1] Hom, D., et al., Phys. Rev. Letters., 36 (1976), 1236.
- [2] Panofsky, W. K. H., PRC Series (访华学术报告), Lecture #3, 1976.
- [3] 罗辽复, 陆埃, 杨国琛, 物理学报, 22 (1966), 334; 科学通报(英文版), 17 (1966), 155.
- [4] 罗辽复, 陆埃, 科学通报, 20 (1975), 318.
- [5] O'Neill, L., et al., Phys. Rev. Letters., 37 (1976), 395.
- [6] 东方晓, 杜东生, 吴济民, 物理学报, 24 (1975), 461.