

研 究 簡 报

关于 $\pi\omega(1220)$ 共振态和 $K_1^0 K^\pm \pi^\mp(1410)$ 共振态*

高 崇 寿
(北京大学物理系)

最近实验发现,在质量 $m = 1220$ MeV 附近存在一个 $\pi\omega$ 共振态 $B^{[1]}$. 实验观察到 B 的性质如表 1^[2].

表 1

	T	$m(\text{MeV})$	$\Gamma(\text{MeV})$	衰变末态
B^+	1	1220	100 ± 20	$\pi^+\omega$
B^-		1215	170	$\pi^-\omega$

由于在 2π 和 3π 末态中并未发现相应的共振峰,并且 $B \rightarrow 4\pi$ 衰变主要是通过 $\pi\omega$ 中间态. 因此 $\pi\omega$ 应是 B 的主要衰变方式(至少是其中之一),从而 $B \rightarrow \omega\pi$ 应是通过强相互作用. 这样, B 的 G 宇称为 $G_B = G_\pi G_\omega = +1$.

由于 B 的宽度 Γ 很大,且 B 的衰变动量不很大(B^+ 约为 325 MeV/c, B^- 约为 302 MeV/c), 因此 $B \rightarrow \pi\omega$ 衰变较大的可能是通过 s 波或 p 波. 这样, B 的量子数(同位旋 T 、自旋 J 、宇称 P 和 G 宇称)只可能是^[3]

当 s 波衰变时, $TJ^{PG} = 11^{++};$

当 p 波衰变时, $TJ^{PG} = 10^{-+}.$

对于量子数 $TJ^{PG} = 11^{-+}$, 虽也可以通过 p 波衰变到 $\pi\omega$ 末态,但这时它还可以通过 p 波衰变到 2π 末态. 然而实验并未发现 2π 系在 $m = 1220$ MeV 附近有明显的峰,因此 B 的量子数为 $TJ^{PG} = 11^{-+}$ 的可能性应被排除.

二

最近实验还发现,在质量 $m = 1410$ MeV 附近存在一个同位旋 $T \leq 1$, 宽度 $\Gamma = 50-60$ MeV 的 $K_1^0 K^\pm \pi^\mp$ 共振态^[2,4], 我们暂称之为 A .

由于在 2π 和 3π 末态中并未发现相应的共振峰, 因此 $K_1^0 K^\pm \pi^\mp$ 应是 A 的主要衰变方式(至少是其中之一),从而 $A \rightarrow K_1^0 K^\pm \pi^\mp$ 应是通过强相互作用的. 由于观察到的末态中, $K\bar{K}$ 系是处于 $T_{K\bar{K}} = 1$ 态, $K\bar{K}$ 系的 G 宇称为

$$G_{K\bar{K}} = (-)^{T_{K\bar{K}}+I_{K\bar{K}}} = (-)^{I_{K\bar{K}}+1},$$

* 1964 年 6 月 2 日收到.

其中 $T_{K\bar{K}}$ 和 $l_{K\bar{K}}$ 分别是 $K\bar{K}$ 系的同位旋和轨道角动量。因此 A 的 G 宇称应为

$$G_A = G_{\pi} G_{K\bar{K}} = (-)^{l_{K\bar{K}}}.$$

如果 A 的同位旋 $T = 1$, 则应在 $(K\bar{K}\pi)^{\pm}$ 系中观察到相应的峰。但如果 A 的 $T = 0$, 则在 $(K\bar{K}\pi)^{\pm}$ 系中不出现相应的峰。因此, 观察 $(K\bar{K}\pi)^{\pm}$ 系, 特别是观察较易观察的 $K^+K^-\pi^{\pm}$ 系是否存在相应的峰, 就可以确定 A 的同位旋 (如果 A 的 $T = 2$, 则还应在 $(K\bar{K}\pi)^{\pm\pm}$ 系中能观察到相应的峰)。

如果 A 的 $T = 0$, 则要求 $(K\bar{K})^0\pi^0$ 系中亦应能观察到相应的峰, 因此, 如果在 $(K\bar{K})^0\pi^0$ 系, 特别是在较易观察的 $K^+K^-\pi^0$ 系中发现不存在相应的峰, 则应排除 $T = 0$ 的可能性。

为要分析 A 的自旋宇称和 G 宇称, 我们注意到 A 的宽度 Γ 较大, 且 $A \rightarrow K_1^0 K^{\pm} \pi^{\mp}$ 的衰变动量不很大, 因此 $A \rightarrow K_1^0 K^{\pm} \pi^{\mp}$ 衰变较大的可能是通过两个 s 波或一个 s 波和一个 p 波 (即分波位垒幂次 ≤ 1)。这样对于 A 的 $T \leq 1$ 只可能有六种可能性 (如果 $T = 2$, 可与 $T = 0$ 情形类似地讨论), 它们的性质分别列如表 2^[5] 和表 3^[3,5]。在表 2 和表 3 中, 列入的衰变分波均指可能的最低分波。分支比 $\Gamma(A \rightarrow K^* \bar{K}) / \Gamma(A \rightarrow K \bar{K} \pi)$ 对 $J^P = 1^+$ 的情形不定, 这是由于虽然 $A \rightarrow K^* \bar{K}$ 是通过 s 波, 但因这时衰变相空间很小, 因此不一定

表 2 $A \rightarrow K\bar{K}\pi$ 衰变分波表

Q	衰变末态	TJ^{PG}					
		00 $^{++}$	01 $^{++}$	01 $^{+-}$	10 $^{++}$	11 $^{++}$	11 $^{+-}$
0	$K^0 K^- \pi^+, K^+ \bar{K}^0 \pi^-$	0 0 0 ¹⁾	0 1 1	1 0 1	0 0 0	0 1 1	1 0 1
	$K^+ K^- \pi^0$	0 0 0	0 1 1	1 0 1	1 1 2	1 0 1	0 1 1
	$K_1^0 K_1^0 \pi^0, K_1^0 K_1^0 \pi^0$	0 0 0	0 1 1	—	—	—	0 1 1
	$K_1^0 K_1^0 \pi^0$	—	—	1 0 1	1 1 2	1 0 1	—
± 1	$K^+ \bar{K}^0 \pi^0, K^- K^0 \pi^0$	—	—	—	0 0 0	0 1 1	1 0 1
	$K^+ K^- \pi^{\pm}$	—	—	—	0 0 0	0(1) 1(0) 1	1(0) 0(1) 1
	$K_1^0 K_1^0 \pi^{\pm}, K_1^0 K_1^0 \pi^{\pm}$	—	—	—	0 0 0	0 1 1	0 1 1
	$K_1^0 K_1^0 \pi^{\pm}$	—	—	—	—	1 0 1	1 0 1

表 3 A 到 $n\pi$ 和 $K^* \bar{K}$ 系衰变分波和分支比的估计

衰变方式		TJ^{PG}					
		00 $^{++}$	01 $^{++}$	01 $^{+-}$	10 $^{++}$	11 $^{++}$	11 $^{+-}$
最低多 π 系	末态	4π	4π	3π	4π	4π	3π
	L	5	4	3	5	2	1
	$\frac{\Gamma(A \rightarrow n\pi)}{\Gamma(A \rightarrow K\bar{K}\pi)}$	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≥ 0	有限 ²⁾
$K^* \bar{K}$ 或 $K\bar{K}^*$	L	1	0	0	1	0	0
	$\frac{\Gamma(A \rightarrow K^* \bar{K})}{\Gamma(A \rightarrow K\bar{K}\pi)}$	≈ 0	不定	不定	≈ 0	不定	不定 ³⁾

1) 这里每一格中的三个数字依次为 $l_{K\bar{K}}, l_{\pi}, L = l_{K\bar{K}} + l_{\pi}$ 。 l_{π} 为 π 与 $K\bar{K}$ 系之间的相对角动量。 L 决定衰变位垒动量幂次。

2) “有限”是指按一般对称性要求应不为零。

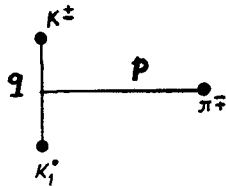
3) “不定”是指可能不为零, 也可能近于零。

有較大的分支比。

从表 3 可以看出,量子数为 $TJ^{PG}=11^{+-}$ 的可能性較小,因这时要求有較強的 $A \rightarrow 3\pi$ 衰变,而从現有实验并未发现 3π 系有相应的峯存在。此外,如果在 $K\bar{K}\pi$ 末态中观察到有 K^* 或 $\bar{K}^*$ 峯存在,则有利于 $J^P = 1^+$ 的可能性。

从表 2 可以看到,观察末态中 $K^0\bar{K}^0$ 是处于 $K_1^0 K_1^0$ (或 $K_2^0 K_2^0$) 态还是处于 $K_1^0 K_2^0$ 态,有助于确定 A 的量子数。对于 $K^0\bar{K}^0\pi^0$ 末态, 00^{-+} , 01^{++} 和 11^{+-} 只能衰变到 $K_1^0 K_1^0 \pi^0$ 或 $K_2^0 K_2^0 \pi^0$, 01^{+-} , 10^{-+} 和 11^{++} 只能衰变到 $K_1^0 K_2^0 \pi^0$ 。并且,由于 10^{-+} 到 $(K\bar{K})^0\pi^0$ 的分波較高,如果观察到明显的 $(K\bar{K})^0\pi^0$ 峯,则应排除 10^{-+} 的可能性。如果 A 的 $T = 1$, 对于 $K^0\bar{K}^0\pi^\pm$ 末态, 10^{-+} 不能衰变到 $K_1^0 K_2^0 \pi^\pm$, 因此如果观察到 $K_1^0 K_2^0 \pi^\pm$ 系中存在峯,则将排除 10^{-+} 的可能性。

还可以通过末态的 Dalitz 图分析来确定 A 的量子数 J^{PG} 。令 $\mathbf{q}$ 和 $\mathbf{p}$ 分别表示 $K_1^0-K^\pm$ 之間和 $K_1^0 K^\pm-\pi^\mp$ 之間的相对动量(如图),则各不同量子数 J^{PG} 的衰变矩陣元和 Dalitz 图密度分布性質如表 4 所示。



图

表 4

J^{PG}	矩 陣 元	Dalitz 图密度分布
0^{-+}	常数	常数
1^{++}	$\propto \mathbf{p}$	$T_\pi = 0$ 处为零, T_π 最大处最大
1^{+-}	$\propto \mathbf{q}$	$T_\pi = 0$ 处最大, T_π 最大处为零

由实验得到的 Dalitz 图分布,利用表 4 很容易确定 A 的量子数 J^{PG} 。

三

我們试图利用 SU_3 羣八重态理論^[6,7],对共振态 B 和 A 的分类进行某些探討。由于 B 的同位旋为 1, 它至少应属于 SU_3 羣的八維表示,伴随着 B 应有其他共振态存在。如果假定 B 和 A 属于同一表示,由于每一表示中只有一个 $T = 1$, $Y = 0$ 的态, A 的同位旋应为零,并且 A 的自旋宇称应与 B 相同,而 G 宇称則相反。对比上两节的討論結果,我們得到唯一的可能是 B 的量子数为 $TJ^{PG} = 11^{++}$, 而 A 的量子数为 $TJ^{PG} = 01^{+-}$ 。

如果 B 和 A 属于一个八維表示,则相应应有量子数 $TJ^P = \frac{1}{2} 1^+$ 的 $K\pi\pi$ 共振态 K^{**} (和 $\bar{K}\pi\pi$ 共振态 $\bar{K}^{**}$) 存在。考虑到对称性破坏的一級效应, K^{**} 的质量应满足^[6,7]

$$4m_{K^{**}}^2 = 3m_A^2 + m_B^2.$$

由此預言 $m_{K^{**}} \approx 1365 \text{ MeV}$ 。

如果伴随八維表示还存在一維表示与之相混合,则按文献[7]的观点, $m_{K^{**}}$ 应满足

$$m_{K^{**}}^2 = m_B^2 + 0.226 (\text{BeV})^2,$$

这給出 $m_{K^{**}} \approx 1310 \text{ MeV}$ 。从最近实验^[8] 給出的 $Kn\pi$ ($n = 1, 2, \dots$) 系不变质量分布来看,在 $m_{K^{**}} \approx 1310 \text{ MeV}$ 附近存在共振态 K^{**} 是有可能的。

与此相应,由于表示的混合,还应存在另一个 $TJ^{PG} = 01^{+-}$ 的共振态 C 。利用文献[7, 9]的观点,考虑到对称性破坏的一級效应, C 的质量应满足

$$m_C^2 + m_A^2 = 2m_{K^{**}}^2,$$

这给出 $m_C \approx 1200$ MeV, C 应表现为 $\rho\pi$ 的 d 波共振或 $K\bar{K}\pi$ 的 sp 波共振。但是, 前者由于分波较高, 后者由于衰变相空间较小, 实验上都不易被观察到。

有趣的是, 与赝标介子、矢量介子及标量介子类似, A , B , C 和 K^{**} 也可看作是重子与反重子的束缚态, 它们之间的对比列如表 5。这些粒子, 特别是标量粒子的分类可参看文献[7]。

表 5

J^P	重子-反重子态	$T=0 \quad Y=0$		$T=1 \quad Y=0$		$T=\frac{1}{2} \quad Y=\pm 1$
		粒 子	G	粒 子	G	粒 子
0^-	1S_0	$\eta(548)^{1)}$	+	$\pi(138)$	-	$K, \bar{K}(495)$
1^-	3S_1	$\omega(783), \varphi(1020)$	-	$\rho(755)$	+	$K^*, \bar{K}^*(890)$
0^+	1P_1	$\xi(775)$	+	$\xi(565)$	-	$\kappa, \bar{\kappa}(725)$
1^+	3P_0	$C(1200), A(1410)$	-	$B(1220)$	+	$K^{**}, \bar{K}^{**}(1310)$

1) 括弧中的数字代表质量, 单位为 MeV。

作者感谢胡宁教授的支持和帮助。

参 考 文 献

- [1] Abolins, M., et al., *Phys. Rev. Letters*, **11** (1963), 381.
Bondar, L., et al., *Phys. Letters*, **5** (1963), 209.
- [2] Roos, M., *Phys. Letters*, **8** (1964), 1.
- [3] Henley, E. M. and Jacobsohn, B. A. *Phys. Rev.*, **128** (1962), 1394.
- [4] Armenteros, R., et al., Proceedings of the Siena Conference on Elementary Particles Siena, Italy, 1962 (未发表).
- [5] 高崇寿, 北京大学学报 (自然科学), **10** (1964), 241.
- [6] Gell-Mann, M., *Phys. Rev.*, **125** (1962), 1067; Neeman, Y., *Nucl. Phys.*, **26** (1961), 222; Okubo, S., *Progr. Theoret. Phys.*, **27** (1961), 949; Glashow, S. L. and Rosenfeld, A. H., *Phys. Rev. Letters*, **10** (1963), 192.
- [7] 高崇寿, 物理学报, **20** (1964), 1187.
- [8] Grashin, A. F., et al., *Phys. Letters*, **4** (1963), 71.
- [9] 高崇寿, 物理学报, **20** (1964), 1172.