第21卷 第10期 物 理 学 报 Vol. 21, No. 10
1965年10月 ACTA PHYSICA SINICA Oct., 1965

二粒子共振态的质量公式*

許 伯 威
(南 开 大 学)

近年来在实验上发现了不少共振态[1-4]. 有人研究了二粒子共振态的质量,得到了一个经验公式[5]

$$M = \sqrt{v_c + m_1^2} + \sqrt{v_l + m_2^2}, \tag{1}$$

$$v_l = |\mathbf{p}|^2 = \frac{l(l+1)}{b^2}; \tag{2}$$

式中 $\mathbf{p}$ 为二个粒子在质心坐标系中的动量; l 为相对轨道角动量量子数; b 的物理意义相当"瞄准距离", 对于确定的 m_1 和 m_2, b 为一确定的常数. 在原来的考虑中, 对于不同的同位旋共振态沒加以区分,这从动力学观点看来是较难以接受的,并且也不符合实验情况,因而使我们对某些共振态(如 π-N 共振态等)不能很好地按式(1)来分类. 另外也沒考虑 $l=0$ 的情况. 当 $l=0$ 时,我们可合理地认为球心碰撞,所以 b 不再为同一常数,应该有 $b=0$, 因此所对应的 v_0 值是不确定的, 它应该重新加以考虑. 有人曾对 π-K, K-$\bar{K}$ 共振态从动力学观点作了计算[6], 指出它们都存在 $l=0$, 1 的二个共振态, 且有 $v_0:v_1 \sim \frac{1}{4}:1$; 这一结果看来和实验也较符合. 如果我们认为这一结论普遍成立, 至少对介子-介子共振态它是正确的,这样我们就有

$$v_0:v_1:v_2:v_3\cdots = \frac{1}{4}:1:3:6\cdots, \tag{3}$$

所以如果知道二粒子某一确定 l 共振态的质量, 就可预言其他 l 值共振态的质量. 由式(1)计算得到的质量和实验的比较如表所示,看来两者基本上是符合的. 至于由理论所預言的自旋、宇称等量子数与实验上已肯定的结果,除 π-Σ 共振态 Y_{13}^{**} 外,也沒矛盾。实验确定 Y_{13}^{**} 的自旋 $J=\frac{3}{2}$, 但理论结果为 $\frac{5^+}{2}$ 或 $\frac{7^+}{2}$. 不过我们应该注意到,从 Y_{13}^{**} 的分支比 $\pi\Sigma:\pi\lambda:\pi\pi\lambda:\pi\pi\Sigma:\bar{K}N = 30:25:20:15:10$ 看来, Y_{13}^{**} 并不是很纯粹的 π-Σ 共振,所以不应该完全归入 π-Σ 共振态;这也许是和实验有矛盾的原因. 关于 $\bar{K}$-N 共振态,实验上发现 1765meV $\left(T \leqslant 1,\ J^p = \frac{5^-}{2}\right)$ 和 1815 meV $\left(T=0,\ J^p = \frac{5^+}{2}\right)$ 二个共振态, 所以 l 分别为 2 和 3, 但它们的质量关系并不满足式(1),所以有理由认为它们属于不同的同位旋态, 卽 1765 meV 的同位旋应该为 $T=1$.

在所預言的共振态中,令人感兴趣的是 1640 meV 的 π-Ξ 共振, 它正是么正对称理论所要求的 $J^p = \frac{3^-}{2}$ 的 π-Ξ 共振态[7,8]. 虽然在实验上还沒有发现这种共振态, 而发现的是 1770 meV 的 π-Ξ 共振态 Ξ^{**}, 它对应所计算的 $l=3$, 所以 Ξ^{**} 似乎不应该属于 $\frac{3^-}{2}$ 系[8]. 至于所預言的其他一些共振态,目前还沒有迹象表明它们的存在,这也许是由于某

* 1964年12月7日收到.

种动力学的机构所导致的，但这并不因而就否定了式(1)的合理性，因为它的合理性主要体现在这一事实：即目前所发现的二粒子共振态基本上都合理地按它进行了分类.

另外，高崇寿总结出了 $T = 0, 2$ 的 π-π 共振态的质量公式[9]

$$M = 2m_\pi + \lambda(\lambda + 1)\epsilon.$$

很容易看到，上式即为式(1)展开的一级近似，所以 λ 的物理意义很可能相当于轨道角动量量子数 l，因而并可确定这些共振态的自旋和宇称. 由于 $T = 0, 2$，所以 l 只能取 0, 2, 4…，而不能取奇数值. 这样 $T = 0$ 中的 ϕ_1 和 f，$T = 2$ 中的 ψ_2 和 ψ_4 就不能归入式(1). 这些态可认为是相应的"同质异能态". 例如实验上确定 f 为 $J^p = 2^+$，所以它与 ϕ_2 可能为"同质异能态". 其他如 ϕ_1, ψ_2, ψ_4 也可类似考虑. 当然，这样的看法最终要由实验来验证.

总之，二粒子共振态质量经验公式包含了一定的合理因素，但也提出了一些问题. 例如为什么对 $l \neq 0$ 的共振态所对应的 b 都为同一常数，它究竟反映了什么样的物理机构？又例如为什么迄今为止实验上并没发现公式所预言的共振态，特别是为什么没发现 $l = 0$ 的任何介子-重子共振态（其中 Y^*_{01} 在实验上还不能肯定为 $l = 0$，而计算值却为 $l = 1$）.

	T	$J^p_{实验}$	$J^p_{计算}$		$M_{实验}$	$M_{计算}$	l	
	$\left(\frac{1}{2}\right)$		$\frac{1}{2}^+$	$\frac{3}{2}^+$		1270	1	
N^*_{13}	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{5}{2}^-$	1515±3	1515	2	
N^*_{15}	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{2}^+$	$\frac{5}{2}^+$	$\frac{7}{2}^+$	1685±5	1790	3	
N^*_1	$\frac{1}{2}$	$\left(\frac{9}{2}\right)$	$\frac{7}{2}^-$	$\frac{9}{2}^-$	2190±25	2090	4	
N^*_{33}	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{3}{2}^+$	1237	1237	1	πN
	$\frac{3}{2}$		$\frac{3}{2}^-$	$\frac{5}{2}^-$	1400	1450	2	
N^*_{35}[4]	$\frac{3}{2}$	$\left(\frac{5}{2}\right)$	$\frac{5}{2}^+$	$\frac{7}{2}^+$	1650	1685	3	
N^*_{37}	$\frac{3}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{7}{2}^-$	$\frac{9}{2}^-$	1920	1940	4	
N^*_3	$\frac{3}{2}$	$\left(\frac{11}{2}\right)$	$\frac{9}{2}^+$	$\frac{11}{2}^+$	2360±25	2215	5	
Y^*_{13}	1	$\frac{3}{2}^+$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{3}{2}^+$	1385	1385	1	$\pi\Lambda$
	(1)		$\frac{3}{2}^-$	$\frac{5}{2}^-$		1560	2	
Y^*_{01}	0	$\frac{1}{2}^{(-)}$	$\frac{1}{2}^+$	$\frac{3}{2}^+$	1405	1405	1	
Y^*_{03}	0	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{3}{2}^-$	$\frac{5}{2}^-$	1520±3	1520	2	
	(0)		$\frac{5}{2}^+$	$\frac{7}{2}^+$		1650	3	$\pi\Sigma$
	(1)		$\frac{1}{2}^+$	$\frac{3}{2}^+$		1415	1	
	1		$\frac{3}{2}^-$	$\frac{5}{2}^-$	1550±20	1540	2	
Y^{**}_{13}	1	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}^+$	$\frac{7}{2}^+$	1660±10	1680	3	

（續表）

	T	$J^p_{实验}$	$J^p_{计算}$	$M_{实验}$	$M_{计算}$	l	
Ξ^*	$\frac{1}{2}$	$\frac{3^+}{2}$	$\frac{1^+}{2}$　$\frac{3^+}{2}$	1533±3	1533	1	
	$\left(\frac{1}{2}\right)$		$\frac{3^-}{2}$　$\frac{5^-}{2}$		1640	2	$\pi\Xi$
Ξ^{**}	$\frac{1}{2}$		$\frac{5^+}{2}$　$\frac{7^+}{2}$	1770±25	1765	3	
Y^*_{05}	0	$\frac{5^+}{2}$	$\frac{5^+}{2}$　$\frac{7^+}{2}$	1815	1815	3	$\bar{K}N$
	≤1	$\frac{5^-}{2}$	$\frac{3^-}{2}$　$\frac{5^-}{2}$	1765	1765	2	
ω_{ABC}	0	0^+	0^+	310±6	305	0	
ϕ_2	0		2^+	520±20	520	2	
ϕ_3	0		4^+	885±10	850	4	
ϕ_1	0			395±10			
f	0	2^+		1253±20			
ρ	1	1^-	1^-	755	755	1	$\pi\pi$
ψ_1	2		0^+	330	315	0	
ψ_3	2		2^+	605±25	605	2	
ψ_5	2		4^+	990	1020	4	
ψ_2	2			420			
ψ_4	2			760			
τ	$\frac{1}{2}$	(0^+)	0^+	730	730	0	πK
K^*	$\frac{1}{2}$	1^-	1^-	885	885	1	
ψ	0	0^+	0^+	1000	1000	0	$K\bar{K}$
ϕ	0	1^-	1^-	1020	1020	1	

类似这样的问题，从经验公式本身是得不到说明的，似乎应该从动力学观点去进一步研究，但经验公式也许给我们在这方面的研究提供了一点线索．

感谢教研室同志的帮助和支持．

参　考　文　献

[1] Roos, M., *Rev. Mod. Phys.*, **35** (1963), 314.
[2] Roos, M., *Phys. Letters*, 8 (1964), 1.
[3] Gregory, B. P., Intern. Conf. on High Energy Phys. at CERN Proc., 779 (1962).
[4] Jones, J. J., Kalbach, R. M., *Nuovo Cimento*, **31** (1964), 10.
[5] Sarma, K. V. L., *Nuovo Cimento*, **30** (1963), 28.
[6] 许伯威、孔凡梅、宫学惠，物理学报，**20** (1964), 1129.
许伯威，物理学报，**21** (1965), 221.
[7] Glashow, S. L., Rosenfeld, A. H., *Phys. Rev. Letters*, **10** (1963), 192.
[8] 高崇寿，北京科学讨论会报告．
[9] 高崇寿，物理学报，**20** (1964), 680.

附记　在阅读校样期间，见到最近发表的 π-N 共振态： 2645 ($T=1/2$)，2520 ($T=3/2$) 和 2825 ($T=3/2$) [日本物理学会志，**20** (1965)，No. 1, 30]；理论计算值分别为 2726 ($T=1/2$, $l=6$)，2495 ($T=3/2$, $l=6$)，2787 ($T=3/2$, $l=7$)．