

# 对 $3^1S_0$ 介子九重态中 $s\bar{s}$ 成员的质量分析\*

冯学超 李德民†

(郑州大学物理工程学院 郑州 450052)

(2004 年 11 月 11 日收到 2005 年 1 月 12 日收到修改稿)

利用雷吉轨迹理论和介子九重态质量混合公式两种方案,对  $3^1S_0$  介子九重态中同位旋标量态(主要是  $s\bar{s}$  成分)的质量给出预言,两种方案分别给出  $1853\text{MeV}$  和  $1849 \pm 12\text{MeV}$ . 两种方案自洽的结果,将为实验上寻找该态的候选者提供帮助.

关键词:雷吉轨迹,介子混合,同位旋标量态

PACC: 1440, 3520X

## 1. 引言

在过去的几年中,在  $1000\text{—}2400\text{MeV}$  的质量范围内,实验上越来越多新的共振态不断涌现,理论上对于这些态在介子谱中如何安排进行了深入的探讨. 这些研究工作,使得介子谱的填充得到逐步完善<sup>[1]</sup>. 一方面,在有些九重态中,出现了多个候选态去竞争同一位置,如目前在实验上观测到的同位旋为零的共振态  $f_0(600)$ ,  $f_0(980)$ ,  $f_0(1370)$ ,  $f_0(1500)$  和  $f_0(1710)$ <sup>[1]</sup>, 这些态都可能是  $1^3P_0$  介子九重态中的同位旋标量态;同时由于量子数相同的普通介子和胶球往往会发生混合,所以上面的几个态也可能不是单纯的介子态,而是介子、胶球混合而成的物理态. 这些不确定性,都使这些态的安排变得扑朔迷离,也使对这些态如何混合的研究成为众人关注的焦点<sup>[2-7]</sup>. 另一方面,与上面多个态去竞争一个位置截然相反,在另外一些介子九重态中,有些成员至今没有适当的候选者. 如  $1^3D_1$  和  $3^1S_0$  九重态中都只给出了非奇异的同位旋标量态的成员<sup>[1]</sup>. 出现这种情形,一方面由于理论本身的局限性,现在给出的介子谱信息都来自一些唯象的理论模型,人们无法从“第一性原理”给出介子谱的详细信息,这些都使我

们对共振态的本质无法完全清晰;另一方面,由于实验本身的局限性,一些候选态可能的确还未曾在实验中观察到. 本文利用雷吉轨迹和介子混合两种不同的方法,分别对  $3^1S_0$  介子九重态中的同位旋标量态(主要是  $s\bar{s}$  成分)的质量给出理论上的预测,以便为在实验上寻找它的候选者提供帮助.

## 2. 雷吉轨迹

粒子表<sup>[1]</sup>给出(表 1).

表 1 粒子表给出的介子谱安排( $\chi(x)$ 表示该态目前还没有候选者)

$N^{2S+1}L_J$	$I=1$	$I=0$	$I=1/2$
$1^1S_0$	$\pi$	$\eta, \eta'$	$K$
$2^1S_0$	$\pi(1300)$	$\chi(1295), \chi(1440)$	$K(1460)$
$3^1S_0$	$\pi(1800)$	$\chi(1760), \chi(x)$	$K(1830)$

雷吉理论和粒子谱、粒子间的作用力以及散射振幅的高能行为有关. 雷吉理论的一个显著的特征是雷吉轨迹,雷吉轨迹把不同质量的粒子联系起来. 最近 Anisovich<sup>[8]</sup>的一系列文章表明如下准线性的轨迹可以很好地描述具有不同径向量子数的粒子的质量:

$$M^2 = M_0^2 + (N - 1)\mu^2, \quad (1)$$

\* 国家自然科学基金(批准号:10205012),河南省杰出青年科学基金(批准号:0412000300),河南省自然科学基金(批准号:0311010800)和河南省教育厅科研基金(批准号:2003140025)资助的课题.

† E-mail: lidm@zzu.edu.cn

其中  $M$  为粒子的质量,  $N$  是径向量子数,  $M_0$  为基态介子质量,  $\mu^2$  为轨迹斜率参数, 对所有的轨迹  $\mu^2$  近似是个常数.

粒子表<sup>[1]</sup>中给出  $\eta(1440)$  的质量为 1400—1470 MeV, 文献 9 指出在  $\eta(1440)$  能区存在两个同位旋为零的赝标态, 分别为  $\eta_L$  和  $\eta_H$ , 其中  $\eta_L$  的质量为  $1418.4 \pm 1.4$  MeV,  $\eta_H$  的质量为  $1475 \pm 5$  MeV, 普遍认为  $\eta_H$  是  $\eta'$  的第一径向激发态<sup>[5,10,11]</sup>. 由  $\eta_H$  和  $\eta'$  的质量, 根据关系(1), 可得到  $\eta(x)$  的质量约为 1853 MeV.  $\eta, \eta'$  及其径向激发态所占据的轨迹如图 1 所示.

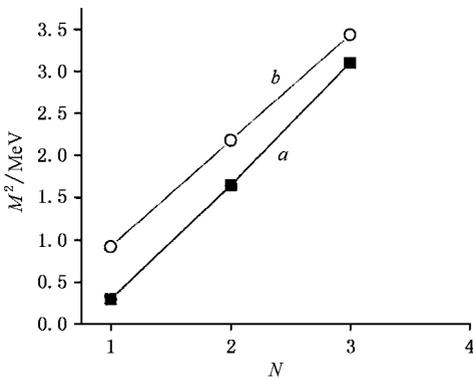


图 1 ( $N, M^2$ ) 轨迹图, 轨迹  $a$  表示  $\eta$  及其径向激发态, 轨迹  $b$  表示  $\eta'$  及其径向激发态

### 3. 介子、介子混合

在  $|N\rangle = |u\bar{u} + d\bar{d}\rangle/\sqrt{2}$  和  $|S\rangle = |s\bar{s}\rangle$  基下,  $3^1S_0$  九重态中同位旋量态之间的混合可以用质量平方矩阵  $M^2$  描述<sup>[12,13]</sup>:

$$M^2 = \begin{pmatrix} M_N^2 + 2r^2A & \sqrt{2}rA \\ \sqrt{2}rA & M_S^2 + A \end{pmatrix}, \quad (2)$$

其中  $M_N$  和  $M_S$  分别为裸态  $|N\rangle$  和  $|S\rangle$  的质量,  $A$  为混合参数, 描述奇异夸克偶素  $s\bar{s}$  间的湮没振幅, 参数  $r$  表示夸克偶素间的湮没是味道有关的. 物理态  $\eta(1760)$  和  $\eta(x)$  的质量平方为矩阵(2)的本征值, 将(2)式对角化可有

$$UM^2U^{-1} = \begin{pmatrix} M_{\eta(1760)}^2 & 0 \\ 0 & M_{\eta(x)}^2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

由(2)(3)式可得

$$M_N^2 + 2r^2A + M_S^2 + A = M_{\eta(1760)}^2 + M_{\eta(x)}^2, \quad (4)$$

$$(M_N^2 + 2r^2A)(M_S^2 + A) - 2r^2A^2 = M_{\eta(1760)}^2 M_{\eta(x)}^2. \quad (5)$$

由于  $|N\rangle$  和  $|\pi(1800)\rangle$  正交, 可以认为  $|N\rangle$  和  $|\pi(1800)\rangle$  质量简并<sup>[14]</sup>, 即  $M_N = M_{\pi(1800)}$ ,  $M_S$  由 Gell-Mann-Okubo 质量公式  $M_S^2 = 2M_{K(1830)}^2 - M_N^2$ <sup>[15]</sup> 给出. 由(4)和(5)式可以得到

$$M_{\eta(x)} = \sqrt{\frac{8r^2(M_{K(1830)}^2 - M_{\pi(1800)}^2)}{[4r^2M_{K(1830)}^2 - (1+2r^2)M_{\eta(1760)}^2 - (2r^2-1)M_{\pi(1800)}^2][1+2r^2]} + \frac{4r^2M_{K(1830)}^2}{1+2r^2} - \frac{(2r^2-1)M_{\pi(1800)}^2}{1+2r^2}}. \quad (6)$$

考虑到  $M_{\pi(1800)}$  和  $M_{\eta(1760)}$  质量比较接近, 可以认为  $3^1S_0$  近似为理想混合的九重态<sup>[16]</sup>, 从而可以忽略味道有关的夸克偶素间的湮没效应, 即取  $r = 1$ <sup>[13]</sup>. 进而由(6)式可得

$$M_{\eta(x)} = \sqrt{\frac{8(M_{K(1830)}^2 - M_{\pi(1800)}^2)}{[4M_{K(1830)}^2 - 3M_{\eta(1760)}^2 - M_{\pi(1800)}^2]} + \frac{4M_{K(1830)}^2}{3} - \frac{M_{\pi(1800)}^2}{3}} = 1849 \pm 12 \text{ MeV}. \quad (7)$$

### 4. 结 论

通过雷吉轨迹和介子混合两种不同的方法, 对

$3^1S_0$  介子九重态中同位旋量态(主要是  $s\bar{s}$  成分)  $\eta(x)$  的质量给出了理论上的预测, 两种不同的方法自洽地给出  $\eta(x)$  的质量大约为 1850 MeV, 这将为实验上寻找该态供一些帮助.

[1] Hagiwara K, Hikasa K, Nakamura K et al 2002 *Phys. Rev. D* **66** 1

[2] Weingarten D 1997 *Nucl. Phys. (Proc. Suppl)* **53** 232

[3] Strohmaier-Presicsek M, Gutsche T, Vinh Mau R et al 1999 *Phys. Rev. D* **60** 054010

- [ 4 ] Li D M , Yu H and Shen Q X 2000 *Mod Phys Lett . A* **15** 1781  
 [ 5 ] Close F E , Farrar G R and Li Z 1997 *Phys . Rev . D* **55** 5749  
 [ 6 ] Close F E and Kirk A 2000 *Phys . Lett . B* **483** 345  
 [ 7 ] Fariborz A H 2004 *Int . J . Mod . Phys . A* **19** 2095  
 [ 8 ] Anisovich A V , Anisovich V V and Sarantsev A V 2000 *Phys . Rev . D* **62** 051502  
 Anisovich V V 2001 hep-ph/0110326  
 Anisovich V V 2002 hep-ph/0208123  
 Anisovich V V 2003 hep-ph/0310165  
 Anisovich V V 2004 hep-ph/0412093  
 [ 9 ] Groom D E , Aguilar-Benitez M , Amsler C *et al* 2000 *Eur . Phys . J . C* **15** 1  
 [ 10 ] Kitamura I , Moristia N and Teshina T 1994 *Nuovo Cim . A* **107** 2429  
 [ 11 ] Godfrey S and Napolitano J 1999 *Rev . Mod . Phys .* **71** 1411  
 [ 12 ] Li D M , Yu H and Shen Q X 2000 *Chin . Phys . Lett .* **17** 559  
 Li D M , Yu H and Shen Q X 2002 *Mod Phys . Lett . A* **17** 163  
 [ 13 ] Li D M , Ma B , Yao Q *et al* 2003 *Mod Phys . Lett . A* **18** 2775  
 [ 14 ] Burakovsky L and Page P R 2000 *Eur . Phys . J . C* **12** 489 ;  
 Li D M , Yu H and Shen Q X 2001 *J . Phys . G* **27** 807  
 [ 15 ] Okubo O 1962 *Prog . Theo . Phys .* **27** 949  
 [ 16 ] Kope L and Wermes N 1989 *Phys . Rep.* **174** 67

## On the mass of the $s\bar{s}$ member of the $3^1S_0$ meson nonet<sup>\*</sup>

Feng Xue-Chao Li De-Min<sup>†</sup>

( School of Physics and Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450052 , China )

( Received 11 November 2004 ; revised manuscript received 12 January 2005 )

### Abstract

By using the two approaches , Regge trajectory and meson mixing , we estimate the mass of the isoscalar state ( composed mostly of  $s\bar{s}$  quarks ) of the  $3^1S_0$  meson nonet . The two approaches respectively give the values of 1853 MeV and  $1849 \pm 12$  MeV , which would be useful for searching for the candidate of this state experimently .

**Keywords :** Regge trajectory , meson mixing , isoscalar state

**PACC :** 1440 , 3520X

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 10205012 ) , the Henan Provincial Science Foundation for Outstanding Young Scholars ( Grant No. 0412000300 ) , the Henan Provincial Natural Science Foundation , China ( Grant No. 0311010800 ) , and the Foundation of the Education Department of Henan Province , China ( Grant No. 2003140025 ) .

<sup>†</sup> E-Mail : lidm@zzu.edu.cn