

文章编号: 1007-4627(2018)01-0005-05

夸克模型下的轻介子质量谱

田苗苗¹, 贾多杰^{1,†}, 庞成群²

(1. 西北师范大学物理与电子信息工程学院, 兰州 730070;

2. 青海师范大学物理与电子信息工程学院, 西宁 810008)

摘要: 最近, 文献[1]将辅助场方法应用于准相对论性夸克模型中, 获得了一个解析的非奇异轻介子质量公式。本文将这种方法推广到奇异轻介子的情况, 得到了一个味道依赖的轻介子质量公式。结果表明, 质量公式预言的低激发态质量谱与实验值吻合良好, 平均误差在 30 MeV 左右。质量公式预言的高激发态质量谱和其他文献(特别是弦模型)的计算相比, 也符合较好。

关键词: 轻介子; 质量公式; 夸克模型; 辅助场方法

中图分类号: O572.21[†] **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.35.01.005

1 引言

从量子色动力学(QCD)第一性原理出发解释强子谱一直是强相互作用研究的主要目标之一。由于格点模拟技术的进展, 人们已经可以从格点QCD出发计算低能态强子的质量谱。但就激发态强子而言, 目前格点QCD和其它非微扰理论(如手征有效理论和Sum Rule求和规则等)的直接计算依然存在困难。另一方面, 一些唯象方法, 如Regge理论, QCD弦模型等, 就强子谱提供了计算的途径。本文要研究的轻介子情形, Crystal Barrel丰富的实验数据已经对这些唯象方法中的参数取值施加较强的约束, 并且使人可以探讨强子谱的整体行为问题^[2]。例如, 轻强子谱数据的Regge理论分析, 轻介子可以按照粒子角动量 J 和质量平方 M^2 之间的线性关系(Regge-Chew-Frautschi关系)分成不同的族

$$M^2 = (2\pi T_0)J + a, \quad (1)$$

其中: T_0 是弦张力; $T_0 = 1/2\pi\alpha'$; α' 是 J 作为 M^2 函数图像的斜率; a 是截距。Regge理论在高能物理的应用, 详见文献[3]。鉴于这个轨迹关系对高激发态谱的预言能力, 它一直受人关注。文献[1]主要讨论了非奇异轻介子的类Regge轨迹谱问题, 借助辅助场的方法, 得到了一个轨道激发的轻介子质量的解析公式, 并给出了除 η/h 外, 另外三组 π/b , ρ/a , ω/f 普适的最佳拟合参数。

本文中, 我们给出了包含奇异介子 K^* 、 ϕ/f' 在

内的轻介子质量谱的准线性公式。并用该准线性质量公式计算了轻介子家族 π/b 、 ρ/a 、 η/h 、 ω/f 、 K^* 、 ϕ/f' 的质量谱。另外, 在进行数值计算时, 我们在库仑势 $4\alpha_s/3r$ 的分母加入QCD截断 $\Lambda = 0.25$ GeV, 使库仑势在短程有限。通过与介子实验数据和理论计算的对比, 我们发现所得质量公式可以很好地描述包含奇异介子在内的轻介子轨道激发谱。

2 夸克模型下的轻介子

我们用夸克模型的哈密顿量, 忽略自旋依赖的相互作用项, 这样系统的哈密顿量是

$$H = \sum_{i=1}^2 \sqrt{\mathbf{p}^2 + m_i^2} + V. \quad (2)$$

其中

$$V = ar - \frac{4\alpha_s(r)}{3r} + V_0, \quad (3)$$

方程(3)的第一项为线性禁闭势, a 是弦张力, 第二项是库仑势, $\alpha_s(r)$ 是耦合常数, V_0 是真空常数。 $r = |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|$, 是夸克1和夸克2的相对距离。两个夸克的裸质量分别是 m_1 和 m_2 ^[4, 5]。在本文中, 我们取 u 和 d 夸克的裸质量相同, $m_u = m_d = 3.5$ MeV, 奇异夸克的裸质量为 $m_s = 96$ MeV。 V 是线性势加库仑势的有效禁闭势。我们主要考虑解轻介子的质量谱问题。借助辅助场的方法^[6-8], 引入场变元 μ_1 、 μ_2 和 ν , 把方

收稿日期: 2017-11-07; 修改日期: 2017-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11565023, 11265014); 青海省应用基础研究项目(2017-ZJ-748)

作者简介: 田苗苗(1992-), 女, 河南南阳人, 在读硕士, 从事强子物理研究; E-mail: 1184138473@qq.com

[†] 通信作者: 贾多杰, E-mail: jiadj@nwnu.edu.cn.

程(2)变成

$$H(\mu_{1,2}, \nu) = \sum_{i=1}^2 \frac{\mathbf{p}^2 + m_i^2}{2\mu_i} + \frac{\mu_i}{2} + \frac{a^2 r^2}{2\nu} + \frac{\nu}{2} - \frac{4\alpha_s}{3r} + V_0, \quad (4)$$

这里辅助场 $(\mu_{1,2}, \nu)$ 是量子力学下的算符, 其期望值 $\langle \mu_{i,0} \rangle (i=1,2)$ 可看成第 i 个夸克的动力学质量, 详见文献[1]。在质心坐标系下, 总动量为 0, 方程(4)可化为三维谐振子的形式,

$$H(\mu_{1,2}, \nu) = \frac{\mathbf{p}^2}{2\mu} + \frac{1}{2}\mu\omega^2 r^2 + \frac{\mu_M + \nu}{2} - \frac{4\alpha_s(r)}{3r} + \frac{m_1^2}{2\mu_1} + \frac{m_2^2}{2\mu_2} + V_0, \quad (5)$$

其中 $\mu_M = \mu_1 + \mu_2$ 是总有效质量, $\mu = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2}$ 是约化质量,

$$\omega = \frac{a}{\sqrt{\mu\nu}}. \quad (6)$$

方程(5)对应可解析求解的三维球谐振子。在谐振子基矢 $\langle x|nlm\rangle$ 下, 方程(5)的本征值为

$$E_N(\mu_{1,2}, \nu) = \omega \left(N + \frac{3}{2} \right) - \frac{A}{2\nu} + \frac{\mu_M + \nu}{2} + \frac{m_1^2}{2\mu_1} + \frac{m_2^2}{2\mu_2} + V_0, \quad (7)$$

其中

$$A = \frac{8\alpha_s a}{3}, \quad (8)$$

$N = n + L$, n 和 L 分别是束缚态的径向量子数和轨道角动量量子数。在推导方程(7)时, 本文用平均值近似处理库仑势项:

$$-\frac{4}{3} \left\langle \frac{\alpha_s(r)}{r} \right\rangle \approx -\frac{4\alpha_s}{3 \langle |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2| \rangle} = -\frac{A}{2\nu}, \quad (9)$$

最后一步利用了 ν 与平均弦长之间的关系^[1]: $\langle |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2| \rangle = \frac{\nu}{a}$ 。这里, 我们用一符号 α_s 代表平均值 $\langle \alpha_s \rangle$, 但是需要注意的是, 公式(9)之后的 α_s 表示的是 QCD 跑动耦合常数的平均值, 而不是方程(3)中的 α_s 本身。

3 质量公式和 Regge 轨迹

在本文中, 我们只考虑介子的轨道激发, 其径向激发的量子数 $n=0$ 。用辅助场方法去解方程(2), 需将方程(7)的能量最小化, $\partial_I E_N(\mu_{1,2}, \nu) = 0 (I = \mu_1, \mu_2, \nu)$, 以消去方程(7)中出现的三个辅助场。这等效联立求解如下方程组

$$\frac{a_N \nu}{2\sqrt{(\mu\nu)^3}} \left(\frac{\mu_2}{\mu_M} - \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_M^2} \right) = \frac{1}{2} - \frac{m_1^2}{2\mu_1^2}, \quad (10)$$

$$\frac{a_N \nu}{2\sqrt{(\mu\nu)^3}} \left(\frac{\mu_1}{\mu_M} - \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_M^2} \right) = \frac{1}{2} - \frac{m_2^2}{2\mu_2^2}, \quad (11)$$

$$\frac{a_N \mu}{\sqrt{(\mu\nu)^3}} = 1 + \frac{A}{\nu^2}, \quad (12)$$

其中, $a_N \equiv a \left(L + \frac{3}{2} \right)$ 。

对于轻介子, 流夸克的质量 $m_{1,2}$ 远小于其动力学质量 $\mu_{1,2}$, 由式(10~12), 可得到

$$\mu_M \simeq \frac{4a_N^2 \nu}{(\nu^2 + A)^2}, \quad (13)$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \frac{2a_N^2 \nu}{(\nu^2 + A)^2} = 2\mu = \frac{\mu_M}{2}. \quad (14)$$

此时, 方程(7)可化为

$$E_N(\mu, \nu) = \left[\frac{3}{2} + \frac{2a_N^2}{(\nu^2 + A)^2} \right] \nu + \frac{1}{2\nu} \left[A + (m_1^2 + m_2^2) \frac{(\nu^2 + A)^2}{2a_N^2} \right] + V_0. \quad (15)$$

弦的静能 ν 应使能量取最小值, 即 $\partial_\nu E_N(\mu, \nu) = 0$ 。

$$\begin{aligned} \partial_\nu E_N(\mu, \nu) &= \frac{3}{2} - \frac{A}{2\nu^2} + \frac{2a_N^2}{(\nu^2 + A)^2} - \frac{8a_N^2 \nu^2}{(\nu^2 + A)^3} - \\ &\quad \frac{\bar{m}^2}{2a_N^2} \left(\nu + \frac{A}{\nu} \right)^2 + \frac{2\bar{m}^2}{a_N^2} (\nu^2 + A) \\ &= 0, \end{aligned} \quad (16)$$

其中

$$\bar{m}^2 = \frac{m_1^2 + m_2^2}{2}.$$

由于辅助场方法在处理模型时, 3D 谐振子部分的本征函数选为基函数, 对库仑位势的(微扰)处理是近似的。这就要求库仑位势贡献较小, 而大的相对轨道角动量 L 情况相对地符合这一条件, 因此为了获得解析解, 我们首先考察 $a_N \propto aL \gg 1$ 的情景。此时由于弦处于高速转动态, 可以认为高 L 态的介子弦长 l 远大于基态介子的特征长度 ($\bar{r}_G \sim \sqrt{\frac{\alpha_s}{a}}$), 也就是, $\frac{A}{\nu^2} \simeq \frac{a^2 \bar{r}_G}{\nu^2} = \left(\frac{\bar{r}_G}{l} \right)^2$ 远小于 1。利用微扰法, 可以求解方程(16), 结果为

$$\nu_0 = \sqrt{2a \left(L + \frac{3}{2} - 2\alpha_s \right) - 2\bar{m}^2}. \quad (17)$$

此时, 方程(15)变为

$$M_{q\bar{q}} = \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2c_N} \right) \nu_0 + \frac{1}{2\nu_0} (A + 4\bar{m}^2 c_N) + V_0, \quad (18)$$

其中

$$c_N = \left[1 - \frac{2\alpha_s}{3 \left(L + \frac{3}{2} \right)} - \frac{\bar{m}^2}{a \left(L + \frac{3}{2} \right)} \right]^2.$$

将方程(18)平方, 得

$$(M_{q\bar{q}} - V_0)^2 = \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2c_N}\right)^2 \left[\nu_0^2 + \frac{(A + 4\bar{m}^2 c_N^2)^2}{4\nu_0^2 \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2c_N}\right)^2} + \frac{A + 4\bar{m}^2 c_N}{\frac{3}{2} + \frac{1}{2c_N}} \right]. \quad (19)$$

当 L 很大时, 忽略 $1/L$ 阶修正项, 方程(18)变为

$$M_{q\bar{q}} = \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{2c_N}\right) \sqrt{2a \left(L + \frac{3}{2} - \frac{4}{3}\alpha_s\right) + V_0}, \quad (20)$$

其中斜率为

$$\alpha' = \frac{1}{2a} \left[\frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\alpha_s}{3(L + \frac{3}{2})} - \frac{\bar{m}^2}{a(L + \frac{3}{2})} \right)^{-2} \right]^{-2}, \quad (21)$$

这就是本文的主要结果。

4 参数和质量谱的分析

在本文中, 我们用方程(20)在 (L, M^2) 平面内来拟合六组轻介子家族的质量谱, 其径向量子数 $n=0$ 。实验数据采用 2016 年的粒子物理数据表^[9]。拟合数据的最佳参数 (a, α_s, V_0) 和方差在表 1 中显示。在表 2 中, 我们用方程(20)计算介子家族的质量, 并给出了实验值和数值计算得到的结果。本文就奇异介子和非奇异介子部分做了比较研究, 发现两种介子的 Regge 轨迹都有一个特点(共性): 除了 η/h 家族轨迹的斜率偏小, 另外五个介子家族, 斜率都比较接近。

表 1 根据 PDG 的质量数据确定方程(20)中的弦张力 a , 强耦合常数 α_s , 和真空常数 V_0 , 并给出拟合的方差 χ_{MS}^2 和 V_{shift}

介子家族	a/GeV^2	α_s	V_0/GeV	$V_{\text{shift}}/\text{GeV}$	χ_{MS}^2/GeV^2
π/b	0.190	0.593	-0.550	-0.040 7	0.001 50
ρ/a	0.170	0.508	-0.436	-0.052 5	0.002 58
η/h	0.2487	0.595	-0.899	-0.051 2	0.000 47
ω/f	0.171	0.598	-0.433	-0.045 2	0.000 65
K^*	0.172	0.521	-0.364	-0.049 5	0.001 11
ϕ/f'	0.170	0.516	-0.258	-0.036 8	0.000 42

从表 1 中, 我们可以看出, 除了 η/h 家族之外的另外五组介子家族相应的弦张力参数基本保持在 0.17 GeV 左右, 和 GI 模型相差不大, 但 η/h 家族对应的张力参数明显偏大, 这可以归因于 η/h 中除了包含 $n\bar{n}$ 夸克成分之外, 还需要考虑 $s\bar{s}$ 成分的存在。从公式(21)可

表 2 六组轻介子家族质量的解析结果、数值结果和实验值, 这里也列出了其它文献的计算结果

介子家族	J^{PC} 介子	实验值	解析结果	数值结果	JPH ^[1]	GI ^[10]	SW ^[11]	EF ^[12]
π/b	$1^{+-} b_1$	1 229	1 268	1 239	1 302	1 220	1 257	1 258
	$2^{-+} \pi_2$	1 692	1 657	1 621	1 666	1 680	1 650	1 643
	$3^{+-} b_3$	2 030	1 985	1 947	1 972	2 030	1 965	2 164
	$4^{-+} \pi_4$	2 250	2 273	2 236	2 242	2 330	2 236	2 344
	$5^{+-} b_5$		2 535	2 498			2 525~2 540	
	$6^{-+} \pi_6$		2 775	2 739			2 750~2 770	
ρ/a	$1^{--} \rho$	775	839	822	839	770	776	776
	$2^{++} a_2$	1 318	1 312	1 276	1 310	1 310	1 324	1 317
	$3^{--} \rho_3$	1 689	1 674	1 637	1 675	1 680	1 701	1 714
	$4^{++} a_4$	1 995	1 981	1 944	1 982	2 010	2 008	2 018
	$5^{--} \rho_5$	2 330	2 252	2 217	2 253	2 300	2 274	2 286
	$6^{++} a_6$	2 450	2 498	2 464	2 497		2 511	2 475
	$7^{--} \rho_7$		2 724	2 692			2 695~2 720	
	$8^{++} a_8$		2 936	2 904			2 890~2 920	
η/h	$0^{-+} \eta$	548	577	610	638	520	545	
	$1^{+-} h_1$	1 170	1 173	1 158	1 185	1 220	1 206	1 258
	$2^{-+} \eta_2$	1 617	1 619	1 594	1 611	1 680	1 612	1 643
	$3^{+-} h_3$	2 025	1 994	1 966	1 969	2 030	1 933	
	$4^{-+} \eta_4$	2 328	2 324	2 296	2 285	2 330	2 208	2 344
	$5^{+-} h_5$		2 623	2 595			2 495~2 520	
ω/f	$6^{-+} \eta_6$		2 898	2 871			2 720~2 750	
	$1^{--} \omega$	783	797	809	846	780	768	776
	$2^{++} f_2$	1 275	1 292	1 267	1 305	1 280	1 319	1 317
	$3^{--} \omega_3$	1 667	1 661	1 630	1 661	1 680	1 698	1 714
	$4^{++} f_4$	2 018	1 972	1 940	1 961	2 010	2 006	2 018
	$5^{--} \omega_5$	2 250	2 246	2 214	2 225	2 300	2 271	2 264
	$6^{++} f_6$	2 469	2 494	2 463	2 464		2 509	2 475
	$7^{--} \omega_7$		2 722	2 692			2 680~2 685	
K^*	$8^{++} f_8$		2 935	2 905			2 875~2 885	
	$1^{-} K^*$	892	933	918		900	892	897
	$2^{+} K_2^*$	1 426	1 403	1 370		1 430	1 415	1 424
	$3^{-} K_3^*$	1 776	1 766	1 730		1 790	1 783	1 789
	$4^{+} K_4^*$	2 045	2 073	2 038		2 110	2 084	2 096
	$5^{-} K_5^*$	2 382	2 345	2 311		2 390	2 345	2 356
	$6^{+} K_6^*$		2 592	2 560			2 580~2 590	
ϕ/f'	$7^{-} K_7^*$		2 819	2 789			2 790~2 810	
	$1^{--} \phi$	1 020	1 036	1 021		1 020	1 019	1 038
	$2^{++} f_2'$	1 525	1 502	1 465		1 530	1 514	1 529
	$3^{--} \phi_3$	1 854	1 861	1 821		1 900	1 870	1 950
	$4^{++} f_4'$		2 167	2 126		2 200	2 120	
ϕ/f'	$5^{--} \phi_5$		2 437	2 397		2 470	2 350	

以看出其斜率对 a 依赖相对于 α_s 、 L 和 $\bar{m}$ 更大。当 L 趋向于无穷大, 斜率为 $1/8a$ 。但二者也存在着明显的差

异：奇异夸克和非奇异夸克质量不同所造成介子质量不同，并且低角动量时，奇异介子的真空常数 V_0 的值比非奇异介子较小。另外，我们在求解方程 (2) 时，由于运用了辅助场方法，所求出来的能量不一定能达到理论上的最优值，因此我们在非线性拟合方程 (20) 式的时候对 V_0 进行了小的平移。从方差可以看出我们的结果与文献[1]比较有所改进。我们在解方程 (15) 时，利用了大 L 近似，即考察的是 $aL \gg 1$ 时的情况。所以我们在用粒子物理数据表进行非线性拟合方程 (20) 的参数时，去掉了 $L=0$ 的实验数据。利用所给定参数外推到 $L=0$ ，给出介子家族 $L=0$ 的质量。

表 2 中，我们给出了质量公式 (20) 的解析预言，方程 (2) 的数值结果和其他文献的计算结果。我们在对

方程 (2) 进行数值求解时，采用的是谐振子基矢，参数 (a, α_s, V_0) 来自表 1。需要注意的是，数值计算所用的 V_0 并非表中 V_0 ，而是 $V_0 - V_{\text{shift}}$ 。另外，为了防止色库仑能发散，我们引入 QCD 截断 $\Lambda = 0.25 \text{ GeV}$ ，即将 $-\frac{4\alpha_s}{3r}$ 变为 $-\frac{4\alpha_s}{3(r+\Lambda^{-1})}$ 。

如图 1 所示，(a)、(b)、(c)、(d)、(e) 和 (f) 分别代表六组轻介子家族 π/b 、 ρ/a 、 η/h 、 ω/f 、 K^* 和 ϕ/f' 的 Regge 轨迹，其中，黑色的圆点和红色的方块分别是表 2 中的实验值和解析值，两条图线分别是实验数据线性拟合 (红线) 和方程 (20) 非线性拟合 (黑线) 的结果，参数 (a, α_s, V_0) 在表 1 中给出。通过对比发现，用方程 (20) 非线性拟合出的线是准直线，符合方程 (1) 的线性关系。

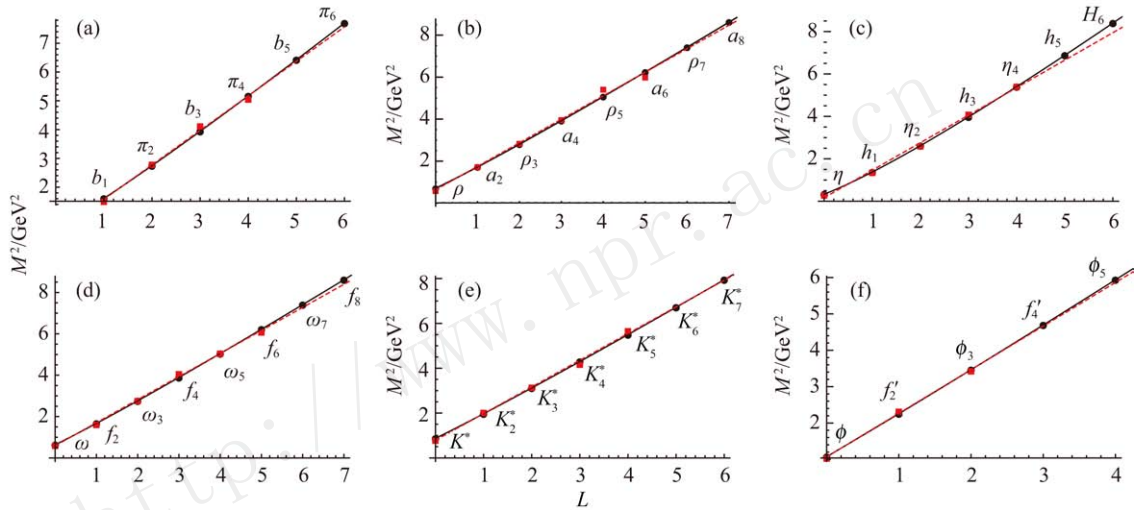


图 1 (在线彩图) 六组轻介子家族质量的平方随角动量变化的关系图

其中 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 和 (f) 分别对应着 π/b 、 ρ/a 、 η/h 、 ω/f 、 K^* 、 ϕ/f' 一个六组轻介子家族的一个 Regge 轨迹，实线 (黑色圆点) 和虚线 (红色方块) 分别表示由方程 (20) 非线性拟合和实验数据线性拟合的结果。

5 结论

在准相对论夸克模型的框架下，利用了辅助场方法，我们得到了一个味依赖的准线性轻介子质量公式。并由此计算了包含 K^* 、 ϕ/f' 在内的奇异介子家族轨道激发质量谱。通过将质量公式的预言结果与实验值以及其他文献计算结果相比较，我们发现质量公式 (20) 给出的结果可以很好地与最新实验数据相吻合，平均误差在 30 MeV 左右。

另外，若将第一个辅助场固定在重味夸克质量值 m_Q 上，则在 $\frac{1}{m_Q}$ 一阶近似下，重轻介子的哈密顿量为

$$H = \frac{\mathbf{p}_1^2}{2m_1} + m_1 + \sqrt{\mathbf{p}_2^2 + m_2^2} + ar - \frac{4\alpha_s(r)}{3r} + V_0, \quad (22)$$

其中 $m_1 (Q=c,b)$ 和 $m_2 (q=u,d,s)$ 分别是重夸克和轻夸

克的裸质量，同解轻介子质量谱方法相同，借助辅助场方法，选取三维谐振子本征波函数作为基矢，在大 L 极限下，得到

$$(E_N - m_1)^2 \propto a \left(N + \frac{3}{2} \right). \quad (23)$$

不难看出重轻介子的轨迹斜率 and 对应轻轻介子的轨迹斜率有 2:1 的关系。

对于双重介子，如类粲偶素和类底偶素，需要对色库仑位势更加细致地处理，它的行为类似于一个误差函数，即 $\alpha_s(r) \propto \text{erf}(\text{常数} \cdot r)$ 。通过对哈密顿量进行数值求解得到质量谱。具体工作将在后续工作中加以研究。

参考文献:

- [1] JIA D J, PANG C Q, HOSAKA A. Int J Mod Phys A, 2017, 32: 1750153.

- [2] AFONIN S S, PUSENKOV I V. Phys Rev D, 2014, **90**: 094020; Mod Phys Lett A, 2014, **29**: 1450193.
- [3] CHEW G F, FRAUTSCHI S C. Phys Rev Lett, 1961, **7**: 394.
- [4] SEMAY C, SILVESTRE-BRAC B, NARODETSKII I M. Phys Rev D, 2004, **69**: 014003.
- [5] KALASHNIKOVA YU S, NEFEDIEV A V. Phys Lett B, 2002, **530**: 117.
- [6] POLYAKOV A M. Gauge Fields and Strings[M]. New York: Harwood Academic Publishers, 1987.
- [7] GUBANKOVA E L, DUBIN A YU. Phys Lett B, 1994, **334**: 180[hep-ph/9408278].
- [8] MORGUNOV L, NEFEDIEV A V, SIMONOV YU A, Phys Lett B, 1999, **459**: 653.
- [9] PATRIGNANI C(Particle Data Group). Chin Phys C, 2016, **40**: 100001.
- [10] GODFREY S, ISGUR N, Phys Rev D, 1985, **32**: 189.
- [11] SONNENSCHN EIN J, WEISSMAN D. JHEP, 2014, **8**: 13.
- [12] EBERT D, FAUSTOV R N, GALKIN V O. Phys Rev D, 2009, **79**: 114029.

Quasi-linear Mass Formula for Light Mesons in Quark Model

TIAN Miaomiao¹, JIA Duo jie^{1,†}, PANG Chengqun²

(1. Institute of Theoretical Physics, College of Physics and Electronic Engineering,
Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Physics and Electronic Information Engineering, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Recently, with the help of auxiliary field method, Ref. [1] obtains an analytical mass formula for nonstrange light mesons in quasi-relativistic quark model. In this work, we generalize this method to the case of strange light mesons, and obtain a mesonic mass formula which is flavor-dependent. The results show that the mass of low excitations given by the mass formula are in good agreement with the experimental data and the average error is around 30 MeV. Our mass predictions for the high states also agree well with the other calculations in the literatures, particularly, the string model calculations.

Key words: light meson; mass formula; quark model; auxiliary field method

Received date: 7 Nov. 2017; **Revised date:** 12 Dec. 2017

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (11565023, 11265014); Applied Basic Research Project of Qin hai Province (2017-ZJ-748)

† **Corresponding author:** JIA Duo jie, E-mail: jiadj@nwnu.edu.cn.