DOI:10.19789/j.1004-9398.2015.01.006

P波B_c介子质量谱在雷吉轨迹模型中的研究*

李 祯 赵新军
(新疆伊犁师范学院物理科学与技术学院,新疆 伊宁 835000)

摘 要

在雷吉轨迹唯象模型中,利用介子质量和雷吉轨迹斜率比率的关系,结合实验上给出的部分介子质量信息,分别计算出1^1P_1、1^3P_2和2^3P_2介子九重态中还未观察到的B_c介子的质量,研究结果对于通过实验发现其候选态提供了重要依据.

关键词: 雷吉轨迹唯象模型,介子,质量谱.
中图分类号: O572.24+3

0 引 言

目前,粒子物理学家已经很熟悉低质量谱的重夸克介子$b\bar{b}$和$c\bar{c}$,它们为强相互作用的研究提供了非常重要的试验场地. 相似地,B_c($b\bar{c}$或$c\bar{b}$)重夸克介子体系是一个很大的未探索领域,因此从理论上研究这些介子的质量谱是很迫切的. 雷吉轨迹唯象模型在预言介子质量方面取得了一定的成功[1-7]. 本文我们将利用雷吉轨迹模型,结合实验中给出的介子质量,计算P波B_c介子质量谱.

1 雷吉轨迹唯象模型

雷吉轨迹是在二十世纪五六十年代人们在研究散射振幅的高能行为时提出来的. 雷吉理论几乎涉及到强相互作用的所有方面,包括强子谱,强子间的相互作用和散射振幅的高能现象. Regge理论的特征之一是它通过Regge轨迹把一个强子的质量和自旋联系起来. 描述一个介子多重态的准线性Regge轨迹可以被参数化为[1]:

$$J = \beta_{i\bar{i}'}(0) + \beta'_{i\bar{i}'}M^2_{i\bar{i}'} \tag{1}$$

其中,$i(\bar{i}')$代表夸克(反夸克),J和$M_{i\bar{i}}$分别代表介子$i\bar{i}'$的自旋和质量,$\beta_{i\bar{i}'}(0)$(0表示$M^2_{i\bar{i}}=0$)和$\beta'_{i\bar{i}'}$分别代表介子所在轨迹的截距和斜率.

对于一个介子多重态,不同味道介子的雷吉轨迹参数间有如下关系:

(1) 截距的相加性[8-11]:

$$\beta_{i\bar{i}}(0) + \beta_{j\bar{j}}(0) = 2\beta_{i\bar{j}}(0) \tag{2}$$

(2) 斜率倒数的相加性[12,13]:

$$\frac{1}{\beta'_{i\bar{i}}} + \frac{1}{\beta'_{j\bar{j}}} = \frac{2}{\beta'_{i\bar{j}}} \tag{3}$$

联立关系式(1)(2)(3)可得,

$$M^2_{j\bar{j}} \cdot \left(\frac{\beta'_{j\bar{j}}}{\beta'_{i\bar{i}}}\right)^2 + \left(M^2_{j\bar{j}} + M^2_{i\bar{i}} - 4M^2_{i\bar{j}}\right) \cdot \frac{\beta'_{j\bar{j}}}{\beta'_{i\bar{i}}} + M^2_{i\bar{i}} = 0 \tag{4}$$

当夸克质量$m_i < m_j$时[7],由(4)式很容易得到关于介子质量和斜率比的关系式,

$$\frac{\beta'_{j\bar{j}}}{\beta'_{i\bar{i}}} = \frac{\left(4M^2_{i\bar{j}} - M^2_{j\bar{j}} - M^2_{i\bar{i}}\right) + \sqrt{\left(4M^2_{i\bar{j}} - M^2_{j\bar{j}} - M^2_{i\bar{i}}\right)^2 - 4M^2_{i\bar{i}}M^2_{j\bar{j}}}}{2M^2_{j\bar{j}}} \tag{5}$$

在同一介子九重态中,结合实验上给出的介子质量信息,我们可以由(5)式预言实验上未观察到的介子的质量.

2 P波B_c介子质量的计算

2.1 1^1P_1介子九重态中B_c的质量

根据最新版本的“粒子物理评论”(2014PDG)[14],$b_1(1235)$、$h_c(1P)$、$h_b(1P)$、

收稿日期:2014-03-10
* 国家自然科学基金U1204115.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$D_1(2420)$ 和 $B_1(5721)$ 属于 1^1P_1 介子九重态的成员，其质量分别为 $M_{n\bar{n}} = M_{b_1(1235)} = 1\ 229.5 \pm 3.2MeV$，$M_{c\bar{c}} = M_{h_c(1P)} = 3\ 525.38 \pm 0.11MeV$，$M_{n\bar{c}} = M_{D_1(2420)} = 2\ 421.4 \pm 0.6MeV$，$M_{b\bar{b}} = M_{h_b(1P)} = 9\ 899.3 \pm 1.0MeV$，$M_{b\bar{n}} = M_{B_1(5721)} = 5\ 723.5 \pm 2.0MeV$.

因为 $m_n < m_b$ [14]，其中 n 代表轻夸克 u 或 d，根据(5)式可得介子 $b\bar{b}$ 和 $n\bar{n}$ 的斜率之比，

$$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{n\bar{n}}} = \frac{\left(4M^2_{B_1(5721)} - M^2_{h_b(1P)} - M^2_{b_1(1235)}\right) + \sqrt{\left(4M^2_{B_1(5721)} - M^2_{h_b(1P)} - M^2_{b_1(1235)}\right)^2 - 4M^2_{h_b(1P)}M^2_{b_1(1235)}}}{2M^2_{h_b(1P)}} = 0.263\ 1 \tag{6}$$

同理由于 $m_n < m_c$ [14]，可得介子 $c\bar{c}$ 和 $n\bar{n}$ 的斜率之比，

$$\frac{\beta'_{c\bar{c}}}{\beta'_{n\bar{n}}} = \frac{\left(4M^2_{D_1(2420)} - M^2_{h_c(1P)} - M^2_{b_1(1235)}\right) + \sqrt{\left(4M^2_{D_1(2420)} - M^2_{h_c(1P)} - M^2_{b_1(1235)}\right)^2 - 4M^2_{h_c(1P)}M^2_{b_1(1235)}}}{2M^2_{h_c(1P)}} = 0.540\ 3 \tag{7}$$

因为介子所在雷击轨迹的斜率不为零，所以，

$$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{n\bar{n}}} = \frac{\beta'_{c\bar{c}}}{\beta'_{n\bar{n}}} \cdot \frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} \tag{8}$$

由(8)式可得，

$$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} = \frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{n\bar{n}}} \Big/ \frac{\beta'_{c\bar{c}}}{\beta'_{n\bar{n}}} \tag{9}$$

把(6)和(7)式带入(9)式，可得 $\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} = 0.449$ (10)

由于 $m_c < m_b$ [14]，根据(5)式，有

$$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} = \frac{\left(4M^2_{b\bar{c}} - M^2_{h_b(1P)} - M^2_{D_1(2420)}\right) + \sqrt{\left(4M^2_{b\bar{c}} - M^2_{h_b(1P)} - M^2_{D_1(2420)}\right)^2 - 4M^2_{h_b(1P)}M^2_{D_1(2420)}}}{2M^2_{h_b(1P)}} \tag{11}$$

联立(10)和(11)式，可算出 1^1P_1 介子九重态中 $B_c(b\bar{c})$ 的质量，$M_{b\bar{c}} = 6776.1MeV$.

2.2　1^3P_2 及其径向激发态 2^3P_2 介子九重态中 B_c 的质量

根据 PDG [14]，$a_2(1320)$、$X_{c2(1P)}$、$X_{b2(1P)}$、$D_2^*(2460)$ 和 $B_2^*(5747)$ 分别属于 1^3P_2 介子九重态的成员，其中 $M_{n\bar{n}} = M_{a_2(1320)}$，$M_{c\bar{c}} = M_{X_{c2}(1P)}$，$M_{b\bar{b}} = M_{X_{b2}(1P)}$，$M_{c\bar{n}} = M_{D_2^*(2460)}$，$M_{b\bar{n}} = M_{B_2^*(5747)}$，按照 2.1 的方法，可算得 $\frac{\beta'_{c\bar{c}}}{\beta'_{n\bar{n}}} = 0.5126$，$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{n\bar{n}}} = 0.2560$，$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} = 0.499\ 4$，从而可得 $M_{b\bar{c}} = 6\ 806.1MeV$.

1^3P_2 和其径向激发态 2^3P_2 相应介子成分的雷吉轨迹斜率相等 [1]，所以 2^3P_2 和 1^3P_2 介子九重态中的斜率比 $\beta'_{b\bar{b}}/\beta'_{c\bar{c}}$ 是相等的，对于 2^3P_2 介子九重态，介子 $b\bar{b}$ 和 $c\bar{c}$ 的斜率之比为，

$$\frac{\beta'_{b\bar{b}}}{\beta'_{c\bar{c}}} = \frac{\left(4M^2_{b\bar{c}} - M^2_{X_{b2}(2P)} - M^2_{X_{c2}(2P)}\right) + \sqrt{\left(4M^2_{b\bar{c}} - M^2_{X_{b2}(2P)} - M^2_{X_{c2}(2P)}\right)^2 - 4M^2_{X_{b2}(2P)}M^2_{X_{c2}(2P)}}}{2M^2_{X_{b2}(2P)}} = 0.499\ 4 \tag{12}$$

由(12)式可算得 2^3P_2 介子九重态中的 $b\bar{c}$ 质量，$M_{b\bar{c}} = 7\ 148.6MeV$

3　结　论

在雷吉轨迹唯象模型中，本文利用介子质量和雷吉轨迹斜率比率的关系，结合实验上给出的部分介子质量信息，分别计算出 1^1P_1、1^3P_2 和 2^3P_2 介子九重态中 B_c 的质量分别为 $6\ 776.1MeV$、$6\ 806.1MeV$ 和 $7\ 148.6MeV$，这些质量的预言为在实验中其候选态的寻找提供一定的理论依据.

参　考　文　献

[1]　Anisovich A V, et al. Systematics $q\bar{q}$ states in the (n, M^2) and (J, M^2) planes [J]. Phys Rev D, 2000, 62: 051502 – 051507.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[2] Li D M, Yu H, Shen Q X. Properties of the tensor mesons $f_2(1270)$ and $f_2(1525)$ [J]. J Phys G, 2001, 27: 807 - 813.
[3] Li D M, Wei K W, Yu H. A possible assignment for the ground scalar meson nonet [J]. Eur Phys J A, 2005, 25: 263 - 266.
[4] Li D M, Li Z, Strange axial-vector mesons mixing angle [J]. Eur Phys J A, 2006, 28: 369 - 373.
[5] Li D M, Ma B, Liu Y H. Understanding masses of $c\bar{s}$ states in Regge phenomenology [J]. Eur Phys J C, 2007, 51: 359 - 365.
[6] Li D M, Ma B, Li Y X. Meson spectrum in Regge phenomenology [J]. Eur Phys J C, 2004, 37: 323 - 333.
[7] Guo X H, Wei K W, Wu X H. Some mass relations for mesons and baryons in Regge phenomenology [J]. Phys Rev D, 2008, 78: 056005 - 056046.
[8] Burakovsky L, Goldman T. On the regge slopes intramultiplet relation [J]. Phys Lett B, 1998, 434: 251 - 256.
[9] Kobylinsky N A, Martynow E S, Prognimak A B. Interrelations between intercepts of regge trajectories and new mass formulas [J]. Ukr Fiz Zh, 1979, 24: 969 - 981.
[10] Dixit V V, Balazs L A P. Regge intercepts of multiquark systems in feynmans bremsstrahlung analogy [J]. Phys Rev D, 1979, 20: 816 - 821.
[11] Igiv K, Yazaki S. Bounds for regge slopes and intercepts for ordinary and new hadrons [J]. Phys Lett B, 1977, 71: 158 - 162.
[12] Das K P, Hwa R C. Quark-antiquark recombination in the fragmentation region [J]. Phys Lett B, 1977, 68: 459 - 467.
[13] Verma R C, Khanna M P. Higher order mass formulas in SU(4) [J]. Phys Rev D, 1978, 18: 828 - 839.
[14] Beringer J, et al. Review of particle physics [J]. Phys Rev D, 2014, 86: 010001 - 010021.

On the B_c Mass Spectrum of P Wave in Regge Trajectory Model

Li Zhen Zhao Xinjun

(School of Physical Science and Technology of Yili Normal College, Yining 835000)

Abstract

In Regge trajectory phenomenological model, and using the relationship between meson mass and the ratio of the slope of the trajectory, with the meson quality information given experiment, the B_c masses of 1^1P_1 、1^3P_2 and 2^3P_2 meson nonet are calculated, the results provide some help for the search of their candidate on experiment.

Key words: Regge trajectory phenomenological model, meson, mass.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net