

**Інститут електронної фізики
Національної академії наук України**



**ІЕФ-2020
Міжнародна конференція
«50 років академічної науки на Закарпатті»**

Ужгород, 24–25 травня 2021 року

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

**IEP-2020
International Conference
«50 years of academic science in Transcarpathia»**

Uzhhorod, 24–25 May 2021

PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE

Ужгород 2021



УДК 001.(477.87)(091)
МЗ4

Наукову конференцію присвячено знаменній ювілейній даті – 50-річчю відкриття на Закарпатті академічних підрозділів провідних науково-дослідних інститутів Академії наук УРСР (нині – Національної академії наук України): Інституту ядерних досліджень та Інституту теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова. У збірнику окрім матеріалів суто конференції відображено історію виникнення академічної науки на Закарпатті, а також наукову, науково-організаційну та педагогічну діяльність відомих вчених, засновників фізичних шкіл в Ужгороді – професорів Ю.М. Ломсадзе, В.О. Шкоди-Ульянова, І.П. Запiсочного, М.І. Головея, В.І. Лендьела, О.Б. Шпеника. Наведено відомості про становлення і розвиток наукових досліджень у перших академічних наукових підрозділах фізичного профілю в Ужгороді. Висвітлено передумови відкриття і діяльність першої на Закарпатті академічної установи - Інституту електронної фізики НАН України, проаналізовано структуру, науково-дослідну роботу, найважливіші здобутки. Подано біографічні дані вчених, які працювали раніше та працюють сьогодні в інституті, хронологію найбільш значних подій. Збірник містить розгорнуті тези доповідей, які присвячені сучасним експериментальним та теоретичним дослідженням у галузі ядерної фізики та фізики елементарних частинок, фізики високих енергій.

The scientific conference is devoted to the 50th anniversary of the foundation of research units of prominent institutes of National Academy of Sciences of Ukraine, namely the Institute for Nuclear Research and Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, in Transcarpathia. Besides the proper conference proceedings, the book describes the history of the foundation of academic science in Transcarpathia as well as scientific, organizational, and pedagogic activity of known scientists who founded scientific schools in Uzhhorod – Prof. Yu.M. Lomsadze, Prof. V.O. Shkoda-Ulyanov, Prof. I.P. Zapesochny, Prof. M.I. Holovey, Prof. V.I. Lendyel, and Acad. Prof. O.B. Shpenik. Information about the development of research in the field of physics in the first academic scientific units in Uzhhorod is presented. Conditions for the formation and activity of the first academic institution in Transcarpathia, Institute of Electron Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, are discussed, its structure, research activity, and most notable scientific results are analysed. Biographical data of scientists having been working at the institute as well as the chronology of most noteworthy events are presented. The book contains extended abstracts of talks devoted to modern experimental and theoretical research in nuclear physics, physics of elementary particles, and high energy physics.

Укладач

А.М. Завілопуло, д. ф.-м. н.

Відповідальні за випуск:

В.Т. Маслюк, д. ф.-м. н.,

Г.М. Гомонай, д. ф.-м. н.,

Т.Ю. Попик к. ф.-м. н.

О.М. Поп, к. ф.-м. н.

*Друкуються за рішенням Вченої ради Інституту електронної фізики НАН України
від 21 квітня 2021 року, протокол №5*

СПЕКТРОСКОПІЯ B_c -МЕЗОНІВ У КВАЗІРЕЛЯТИВІСТСЬКІЙ КВАРКОВІЙ МОДЕЛІ

В.В. Рубіш

ДВНЗ "Ужгородський національний університет", Ужгород

E-mail: vasyi.rubish@uzhnu.edu.ua

Серед важких кварконіїв особливе місце займає система $\bar{b}c$ (сімейство B_c -мезонів), що складається з двох важких кварків різних мас, тобто є системою з відкритими ароматами кварків. На відміну від детально вивчених експериментально [1] і досить точно описаних теоретично [2,3] сімейств чармонію і боттомонію з прихованими ароматами, властивості важкого кварконію $\bar{b}c$ в наслідок специфічних механізмів утворення і розпаду залишаються мало вивченими [4]. Теоретичний опис спектра мас системи $\bar{b}c$ може слугувати тестом самоузгодженості потенціальних кваркових моделей та помітно розширити і зміцнити кількісне розуміння низькоенергетичних ефектів КХД.

В роботі досліджуються енергетичний та масовий спектр $\bar{b}c$ -системи в рамках квазірелятивістської кваркової моделі важкого кварконію [5]. Міжкваркова взаємодія моделюється векторним та скалярним потенціалами екранованого типу:

$$V(r) = -\frac{\xi}{r} + \lambda \left(\frac{g^2}{6\pi} \frac{(1 - e^{-\sigma r})}{\sigma} + V_0 \right), \quad S(r) = (1 - \lambda) \left(\frac{g^2}{6\pi} \frac{(1 - e^{-\sigma r})}{\sigma} + V_0 \right), \quad (1)$$

де $\xi = 4\alpha_s/3$, α_s – константа сильної взаємодії, $g^2/6\pi = 0,3$ ГеВ², $\sigma = 0,054$ ГеВ, λ – коефіцієнт змішування векторного та скалярного далекодійних потенціалів ($0 \leq \lambda \leq 1$). Значення α_s в однопетльовому наближенні на масштабі імпульсу p^2 визначається виразом

$$\alpha_s = \frac{12\pi}{(33 - 2N_f) \ln(p^2/\Lambda^2)}, \quad (2)$$

де N_f – число ароматів кварків, а $\Lambda = 360$ МеВ – параметр КХД. Скориставшись виразом для кінетичної енергії $\langle T \rangle = \langle p^2 \rangle / (2\mu)$, де μ – приведена маса важких кварків c і b , одержуємо:

$$\alpha_s = \frac{12\pi}{(33 - 2N_f) \ln(2\langle T \rangle \mu / \Lambda^2)}. \quad (3)$$

Як показано в [4, 6], кінетична енергія важких кварків є практично постійною величиною, яка не залежить від ароматів важких кварків та квантових чисел збудженого рівня, на якому вони перебувають в системі важкого кварконію. Отже, значення ефективної константи α_s , в основному, визначається приведеною масою важкого кварконію і може розглядатися приблизно постійним у кожному сімействі мезонів і таким, що змінюється тільки при переході від одного сімейства до іншого.

Гамільтоніан Брейта-Фермі, що використовувався в роботі для розрахунку розщеплення S - і P -рівнів, обумовленого спін-спіновою, спін-орбітальною та тензорною взаємодіями з потенціалами (1), має вигляд:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{W}, \quad (\hbar = c = 1), \quad (4)$$

де

$$\hat{H}_0 = -\frac{1}{2\mu} \Delta + \left(-\frac{4\alpha_s}{3r} + \frac{g^2(1 - e^{-\sigma})}{6\pi\sigma} \right), \quad \hat{W} = \hat{H}_{SS} + \hat{H}_{LS} + \hat{H}_T. \quad (5)$$

Залежні від спіну доданки рівні:

оператор спін-спінової взаємодії –

$$\hat{H}_{SS} = \frac{2}{3m_c m_b} \left[\frac{16}{3} \pi \alpha_s \delta(r) + \lambda \frac{g^2}{6\pi} \left(\frac{2}{r} - \sigma \right) e^{-\sigma r} \right] S_c^r S_b^r, \quad (6)$$

де

$$S_c^r S_b^r = \frac{1}{2} S(S+1) - \frac{3}{4} = \begin{cases} -3/4, & S=0, \\ +1/4, & S=1, \end{cases}$$

а S – повний спіновий момент кварків c і b ;

оператор спін-орбітальної взаємодії –

$$\begin{aligned} \hat{H}_{LS} = & \frac{1}{4m_c^2 m_b^2} \frac{1}{r} \left\{ \left[(m_c + m_b)^2 + 2m_c m_b \right] L S_+^r + (m_b^2 - m_c^2) L S_-^r \right\} \left(\frac{4\alpha_s}{3r^2} + \lambda \frac{g^2}{6\pi} e^{-\sigma r} \right) - \\ & - \left[(m_c^2 + m_b^2) L S_+^r + (m_b^2 - m_c^2) L S_-^r \right] (1 - \lambda) \frac{g^2}{6\pi} e^{-\sigma r}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $S_+^r \equiv S_c^r + S_b^r$, $S_-^r \equiv S_c^r - S_b^r$, $L S_{\pm}^r = \frac{1}{2} [j(j+1) - l(l+1) - S_{\pm}(S_{\pm} + 1)]$;

оператор тензорної взаємодії –

$$\hat{H}_T = \frac{1}{12m_c m_b} \left[3 \frac{\alpha_s}{r^3} + \lambda \left(\frac{1}{r} + \sigma \right) \frac{g^2}{6\pi} e^{-\sigma r} \right] S_{12}, \quad (8)$$

$$\text{де } S_{12} = \frac{4}{(2l+3)(2l-1)} \left[L^2 S^2 - \frac{3}{2} LS - 3(LS)^2 \right].$$

Поправки до енергії рівнів, зумовлені спін-спіновою, спін-орбітальною та тензорною взаємодіями, розраховувались в рамках методу накладання конфігурацій [3, 5]. Для забезпечення необхідної точності розрахунків у розкладі для хвильової функції за власними функціями оператора \hat{H}_0 було враховано шість і більше конфігурацій. Відповідні матричні елементи розраховувались чисельно. При розрахунках використовувались наступні значення параметрів моделі: $\alpha_s = 0.343$, $m_c = 1.675$ ГеВ, $m_b = 5.05$ ГеВ, $v_0 = -0.77$ ГеВ, $\lambda = 0.3$.

Результати розрахунків величини розщеплення S - та P -рівнів сімейства B_c -мезонів, зумовлені спін-спіновою, спін-орбітальною та тензорною взаємодіями представлено в табл. 1 (тут використовується наступне позначення енергетичних станів $\bar{b}c$ -системи: $n_r^{2S+1}L$, де n_r – радіальне квантове число, L – орбітальний момент, S – повний спіновий момент двох кварків).

Таблиця 1

 Передбачення для енергій (в ГеВ) S - та P -рівнів сімейства B_c -мезонів

Стан	Дана робота	[7]	[8]
1^1S_0	6.200	6.271	6.280±190
1^1S_1	6.329	6.338	6.321±20
2^1S_0	6.918	6.855	6.960±80
2^3S_1	6.989	6.887	6.990±80
3^1S_0	7.389	7.250	
3^3S_1	7.444	7.272	
1^3P_0	6.713	6.706	6.727±30
1^3P_1	6.775	6.741	6.743±30
1^3P_2	6.814	6.768	6.783±30
1^1P_1	6.793	6.750	6.765±30
2^3P_0	7.216	7.122	
2^3P_1	7.265	7.145	
2^3P_2	7.299	7.164	
2^1P_1	7.282	7.150	
3^3P_0	7.612		
3^3P_1	7.655		
3^3P_2	7.686		
3^1P_1	7.607		

Оскільки на даний час надійно експериментально встановлено лише енергію найнижчого синглетного стану $\bar{b}c$ -системи $M(B^+(0^-)) = 6.2749 \pm 0.0008$ ГеВ [1] ($M_{теор}(B^+) = 6.2$ ГеВ), то розраховані енергії інших рівнів мають передбачуваний характер і можуть використовуватись для цілеспрямованого експериментального пошуку членів сімейства B_c -мезонів. Отримані величини енергії 3S_1 , 1S_0 та 3P_0 , 3P_1 , 3P_2 , 1P_1 рівнів системи $\bar{b}c$, в межах точності потенціальних моделей, узгоджується з розрахунками відповідних характеристик на решітках [7] та результатами одержаними в інших підходах [8].

Крім того, встановлено, що енергії рівнів та величини «тонкого» та «надтонкого» розщеплень суттєво залежать від значення параметра змішування λ скалярного та векторного далекодійних потенціалів екранованого типу та константи сильної взаємодії α_s . Збільшення внеску Лоренц-векторного потенціалу в оператори спінової (6), спінової (7) та тензорної (8) взаємодій призводить до збільшення величини розщеплення енергетичних рівнів.

[1] M. Tanabashi [et al.], Phys. Rev. D. 98, 030001 (2018).

[2] V.A. Novikov, L.B. Okun, M.A. Shifman, A.I. Vainshtein, M.B. Voloshin, M.B. Zakharov, Phys. Rep. C. 41, 1 (1978).

[3] V. Lengyel, V. Rubish, A. Shpenik, УФЖ. 47 (№5), 508 (2002).

[4] S.S. Gershtein, V.V. Kiselev, A.K. Likhoded, A.V. Tkabladze, Phys. Usp. 38, 1(1995).

[5] В.Ю. Лазур, В.В. Рубіш, О.К. Рейтій, С.І. Мигалина, Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. 46, 107 (2019).

[6] E. Eichten, Ch. Quigg, Phys. Rev. D. 49, 5845 (1994).

[7] S. Godfrey, Phys. Rev. D. 70, 054017 (2004).

[8] C.T.H. Davies, K. Hornbostel, G.P. Lepage, A.J. Lidsey, J. Shigemitsu, J. Sloan, Phys. Lett. B. 382, 131 (1996).