

**В. О. Бабенко\*, М. М. Петров**

*Институт теоретической физики им. М. М. Боголюбова НАН Украины, Киев, Украина*

\*Відповідальний автор: pet@bitp.kiev.ua; pet2@ukr.net

### **СТОСОВНО ОЦІНКИ МАС ДВОХ НАЙЛЕГШИХ КВАРКІВ**

На основі простої фізично обґрунтованої моделі, що узгоджується із сучасною теорією структури сильно-взаємодіючих частинок – квантовою хромодинамікою, одержано співвідношення між масами найлегших  $u$ - та  $d$ -кварків, а також співвідношення, які пов'язують маси цих кварків з масами нуклонів і  $\pi$ -мезонів. Розраховані у використаному підході маси  $u$ - та  $d$ -кварків  $m_u = 1,903$  MeV,  $m_d = 4,594$  MeV дуже добре узгоджуються із сучасними оцінками і розрахунками даних величин. Отримане значення  $\bar{m}_{ud} = 3,248$  MeV середньої маси  $u$ - та  $d$ -кварків також добре узгоджується з цілим рядом розрахунків цієї величини.

*Ключові слова:* квантова хромодинаміка, Стандартна модель частинок, кварк, маси кварків, адрон, нуклон,  $\pi$ -мезон.

**В. А. Бабенко\*, Н. М. Петров**

*Институт теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова НАН Украины, Киев, Украина*

\*Ответственный автор: pet@bitp.kiev.ua; pet2@ukr.net

### **ОБ ОЦЕНКЕ МАСС ДВУХ ЛЕГЧАЙШИХ КВАРКОВ**

На основе простой физически обоснованной модели, согласованной с современной теорией структуры сильновзаимодействующих частиц – квантовой хромодинамикой, получены соотношения между массами легчайших  $u$ - и  $d$ -кварков, а также соотношения, связывающие массы этих кварков с массами нуклонов и  $\pi$ -мезонов. Рассчитанные в используемом подходе массы  $u$ - и  $d$ -кварков  $m_u = 1,903$  МэВ,  $m_d = 4,594$  МэВ очень хорошо согласуются с современными оценками и расчетами данных величин. Полученное значение  $\bar{m}_{ud} = 3,248$  МэВ средней массы  $u$ - и  $d$ -кварков также отлично согласуется с целым рядом расчетов этой величины.

*Ключевые слова:* квантовая хромодинамика, Стандартная модель частиц, кварк, массы кварков, адрон, нуклон,  $\pi$ -мезон.

**V. A. Babenko\*, N. M. Petrov**

*Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: pet@bitp.kiev.ua; pet2@ukr.net

### **EVALUATION OF THE TWO LIGHTEST QUARK MASSES**

Simple relations between the masses of the two lightest up and down quarks were obtained on the basis of the simple physically based model compatible with the present-day theory of strong interactions, i.e. with quantum chromodynamics. Relations between the  $u$ - and  $d$ - quark masses, on one hand, and nucleon and pion masses, on the other hand, are also established. The  $u$ - and  $d$ -quark masses  $m_u = 1,903$  MeV,  $m_d = 4,594$  MeV, calculated with the help of the obtained relations, are in very good agreement with the modern evaluations and calculations of these quantities. The average of the  $u$  and  $d$  quark masses  $\bar{m}_{ud} = 3,248$  MeV, obtained in the proposed approach, is also in good agreement with previous calculations.

*Keywords:* quantum chromodynamics, Standard Model of Particle Physics, quark, quark masses, hadron, nucleon, pion.

### **REFERENCES**

1. M. Gell-Mann. A Schematic Model of Baryons and Mesons. *Phys. Lett.* 8(3) (1964) 214.
2. G. Zweig. An  $SU_3$  Model for Strong Interaction Symmetry and its Breaking. *CERN Report 8182/TH.401*, 1964. 20 p.
3. J.J.J. Kokkedee. *The Quark Model* (New York: W. A. Benjamin, 1969) 239 p.
4. F.J. Yndurain. *Quantum Chromodynamics: An Introduction to the Theory of Quarks and Gluons* (New York-Berlin-Heidelberg-Tokyo: Springer-Verlag, 1983) 228 p.

5. L.B. Okun. *Elementary Particle Physics* (Moskva: Nauka, 1988) 272 p. (Rus)
6. V.V. Anisovich et al. *Quark Model and High Energy Collisions* (London-Singapore: World Scientific, 2004) 530 p.
7. C. Patrignani et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics. *Chin. Phys. C* 40(10) (2016) 100001.
8. D.J. Gross, S.B. Treiman, F. Wilczek. Light-Quark Masses and Isospin Violation. *Phys. Rev. D* 19(7) (1979) 2188.
9. S. Dürr et al. Lattice QCD at the Physical Point: Light Quark Masses. *Phys. Lett. B* 701(2) (2011) 265.
10. V.G. Bornyakov et al. Color Confinement and Hadron Structure in Lattice Chromodynamics. *Physics-Uspekhi* 47(1) (2004) 17.
11. S. Dürr et al. Ab Initio Determination of Light Hadron Masses. *Science*. 322(5905) (2008) 1224.
12. C. Gattringer, C.B. Lang. *Quantum Chromodynamics on the Lattice* (Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2010) 343 p.
13. V.G. Bornyakov, M.I. Polikarpov. Computing Methods in Lattice Quantum Chromodynamics. *Theoretical Physics* 11 (2010) 64. (Rus)
14. A. Bazavov et al. Nonperturbative QCD Simulations with 2 + 1 Flavors of Improved Staggered Quarks. *Rev. Mod. Phys.* 82(2) (2010) 1349.
15. E.M. Henley, L.K. Morrison. n-n and n-p Scattering Lengths and Charge Independence. *Phys. Rev.* 141(4) (1966) 1489.
16. T.E.O. Ericson, G.A. Miller. Charge Dependence of Nuclear Forces. *Phys. Lett. B* 132(1-3) (1983) 32.
17. R. Machleidt, M.K. Banerjee. Charge Dependence of the  $\pi NN$  Coupling Constant and Charge Dependence of the Nucleon-Nucleon Interaction. *Few-Body Syst.* 28(3) (2000) 139.
18. V.A. Babenko, N.M. Petrov. Isospin Breaking in the Pion-Nucleon Coupling Constant and the Nucleon-Nucleon Scattering Length. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 17(2) (2016) 143. (Rus)
19. V.A. Babenko, N.M. Petrov. Relation between the Charged and Neutral Pion-Nucleon Coupling Constants in the Yukawa Model. *Physics of Particles and Nuclei Letters.* 14(1) (2017) 58.
20. V.A. Babenko, N.M. Petrov. About Effect of the Mass Difference between the Pions ( $\pi^{\pm}-\pi^0$ ) and the Nucleons (n-p) on the Charge Independence Breaking of Nuclear Forces. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 18(1) (2017) 13. (Rus)
21. B.L. Ioffe. QCD (Quantum Chromodynamics) at Low Energies. *Prog. Part. Nucl. Phys.* 56(1) (2006) 232.
22. D.R. Nelson, G.T. Fleming, G.W. Kilcup. Up Quark Mass in Lattice QCD with Three Light Dynamical Quarks and Implications for Strong CP Invariance. *Phys. Rev. Lett.* 90(2) (2003) 021601.
23. N.F. Nasrallah. Glue Content and Mixing Angle of the  $\eta-\eta'$  System: the Effect of the Isoscalar  $0^{-}$  Continuum. *Phys. Rev. D* 70(11) (2004) 116001.
24. C. Aubin et al. Light Pseudoscalar Decay Constants, Quark Masses, and Low Energy Constants from Three-Flavor Lattice QCD. *Phys. Rev. D* 70(11) (2004) 114501.
25. D.-N. Gao, B.A. Li, M.-L. Yan. Electromagnetic Mass Splittings of  $\pi$ ,  $a_1$ ,  $K$ ,  $K_1(1400)$ , and  $K^*(892)$ . *Phys. Rev. D* 56(7) (1997) 4115.
26. J. Bijnens, J. Prades, E. de Rafael. Light Quark Masses in QCD. *Phys. Lett. B* 348(1-2) (1995) 226.
27. S. Basak et al. Electromagnetic Effects on the Light Hadron Spectrum. *J. Phys.: Conf. Ser.* 640 (2015) 012052.
28. J. Amorós, J. Bijnens, P. Talavera. QCD Isospin Breaking in Meson Masses, Decay Constants and Quark Mass Ratios. *Nucl. Phys. B* 602(1-2) (2001) 87.
29. N. Carrasco et al. Up, Down, Strange and Charm Quark Masses with  $N_f = 2 + 1 + 1$  Twisted Mass Lattice QCD. *Nucl. Phys. B* 887 (2014) 19.
30. T. Blum et al. Electromagnetic Mass Splittings of the Low Lying Hadrons and Quark Masses from 2 + 1 Flavor Lattice QCD + QED. *Phys. Rev. D* 82(9) (2010) 094508.
31. J. Gasser, H. Leutwyler. Quark Masses. *Phys. Rep.* 87(3) (1982) 77.
32. A. Duncan, E. Eichten, H. Thacker. Electromagnetic Splittings and Light Quark Masses in Lattice QCD. *Phys. Rev. Lett.* 76(21) (1996) 3894.
33. H. Leutwyler. The Ratios of the Light Quark Masses. *Phys. Lett. B* 378(1-4) (1996) 313.
34. T. Blum et al. Determination of Light Quark Masses from the Electromagnetic Splitting of Pseudoscalar Meson Masses Computed with Two Flavors of Domain Wall Fermions. *Phys. Rev. D* 76(11) (2007) 114508.
35. C.A. Dominguez. Determination of Light Quark Masses in QCD. *Int. J. Mod. Phys. A* 25(29) (2010) 5223.
36. S. Aoki et al. 1 + 1 + 1 Flavor QCD + QED Simulation at the Physical Points. *Phys. Rev. D* 86(3) (2012) 034507.
37. M.A. Shifman, A.I. Vainshtein, V.I. Zakharov. QCD and Resonance Physics: the  $\rho-\omega$  Mixing. *Nucl. Phys. B* 147(5) (1979) 519.
38. S. Dürr et al. Lattice QCD at the Physical Point: Simulation and Analysis Details. *J. High Energy Phys.* 2011(8) (2011) Article: 148.
39. G.V. Efimov et al. About Isotopic Invariance Violation. Preprint. JINR; P2-83-420 (Dubna, 1983) 16 p. (Rus)

Надійшла 01.06.2017

Received 01.06.2017