

В. О. Бабенко, М. М. Петров

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

**ПРО ВПЛИВ РІЗНИЦІ МАС ПІ-МЕЗОНІВ (π^\pm - π^0) І НУКЛОНІВ (n-p)
НА ПОРУШЕННЯ ЗАРЯДОВОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ ЯДЕРНИХ СИЛ**

На основі мезонної теорії Юкави досліджується зарядова залежність піон-нуклонних констант зв'язку та низькоенергетичних параметрів нуклон-нуклонного розсіяння в стані 1S_0 . Показано, що порушення зарядової незалежності піон-нуклонних констант зв'язку повністю пояснюється різницею мас зарядженого та нейтрального π -мезонів і відмінністю маси протона від маси нейтрона. З використанням добре відомого значення псевдовекторної піон-нуклонної константи зв'язку $f_{pp\pi^0}^2 = 0,0749(7)$, що характеризує протон-протонну ядерну взаємодію, розраховано значення зарядової $f_c^2 = 0,0802(7)$, нейтральної $f_0^2 = 0,0750(7)$ піон-нуклонних констант зв'язку та константи $f_{nn\pi^0}^2 = 0,0751(7)$, що характеризує нейтрон-нейтронну ядерну взаємодію. Розраховані з використанням цих констант значення низькоенергетичних параметрів np - і nn -розсіяння добре узгоджуються з експериментом.

Ключові слова: зарядова незалежність, константа піон-нуклонного зв'язку, нуклон-нуклонне розсіяння, пі-мезон.

В. А. Бабенко, Н. М. Петров

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

**О ВЛИЯНИИ РАЗЛИЧИЯ МАСС ПИ-МЕЗОНОВ (π^\pm - π^0) И НУКЛОНОВ (n-p)
НА НАРУШЕНИЕ ЗАРЯДОВОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ЯДЕРНЫХ СИЛ**

На основе мезонной теории Юкавы исследована зарядовая зависимость пион-нуклонных констант связи и низькоэнергетических параметров нуклон-нуклонного рассеяния в состоянии 1S_0 . Показано, что нарушение зарядовой независимости пион-нуклонных констант связи полностью объясняется различием масс заряженного и нейтрального π -мезонов и отличием массы протона от массы нейтрона. С использованием хорошо известного значения псевдовекторной пион-нуклонной константы связи $f_{pp\pi^0}^2 = 0,0749(7)$, характеризующей протон-протонное ядерное взаимодействие, рассчитаны значения зарядовой $f_c^2 = 0,0802(7)$, нейтральной $f_0^2 = 0,0750(7)$ пион-нуклонных констант связи и константы $f_{nn\pi^0}^2 = 0,0751(7)$, характеризующей нейтрон-нейтронное ядерное взаимодействие. Рассчитанные с использованием этих констант значения низькоэнергетических параметров np - и nn -рассеяния хорошо согласуются с экспериментом.

Ключевые слова: зарядовая независимость, константа пион-нуклонной связи, нуклон-нуклонное рассеяние, пи-мезон.

V. A. Babenko, N. M. Petrov

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

**ON THE IMPACT OF MASS DIFFERENCE BETWEEN THE PIONS (π^\pm - π^0)
AND THE NUCLEONS (n-p) ON THE CHARGE INDEPENDENCE BREAKING OF NUCLEAR FORCES**

Charge dependence of the pion-nucleon coupling constants and the 1S_0 -state low-energy nucleon-nucleon scattering parameters are studied on the basis of the Yukawa meson theory. The charge independence breaking effect in the pion-nucleon coupling constants is entirely explained by the mass difference between the charged and the neutral pions and by the mass difference between the proton and the neutron. Using of well-known pseudovector pion-nucleon coupling constant $f_{pp\pi^0}^2 = 0.0749(7)$, which characterize the proton-proton nuclear interaction, we calculate the charged $f_c^2 = 0.0802(7)$ and the neutral $f_0^2 = 0.0750(7)$ pion-nucleon coupling constants, and also the pion-nucleon coupling constant $f_{nn\pi^0}^2 = 0.0751(7)$, which characterize the neutron-neutron nuclear interaction. With the help of the obtained coupling constants, we also calculate values of the low-energy np - and nn -scattering parameters, which appear to be in good agreement with the experiment.

Keywords: charge independence, pion-nucleon coupling constant, nucleon-nucleon scattering, pion.

REFERENCES

1. Yukawa H. On the Interaction of Elementary Particles // Proc. Phys. Math. Soc. Jap. - 1935. - Vol. 17. - P. 48 - 57.
2. Hulthén L., Sugawara M. The Two-Nucleon Problem // Encyclopedia of Physics, Vol. 39 - Structure of Atomic Nuclei / Ed. S. Flügge. - Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag, 1957. - P. 1 - 143.
3. Bohr A., Mottelson B.R. Nuclear Structure, Vol. 1. - New York: Benjamin, 1969. - 471 p.
4. Ericson T., Weise W. Pions and Nuclei. - Oxford: Clarendon Press, 1988. - 479 p.
5. Miller G.A., Nefkens B.M.K., Šlaus I. Charge Symmetry, Quarks and Mesons // Phys. Rept. - 1990. - Vol. 194, No. 1-2. - P. 1 - 116.
6. Machleidt R., Šlaus I. The Nucleon-Nucleon Interaction // J. Phys. - 2001. - Vol. G27, No. 5. - P. R69 - R108.
7. de Swart J.J., Rentmeester M.C.M., Timmermans R.G.E. The Status of the Pion-Nucleon Coupling Constant. - arXiv:nucl-th/9802084, 1998. - 19 p.
8. Blomgren J., Ed. Critical Issues in the Determination of the Pion-Nucleon Coupling Constant: Proceedings of a Workshop Held in Uppsala, Sweden, June 7-8, 1999 // Phys. Scr. - 2000. - Vol. T87. - P. 5 - 77. - Uppsala: Royal Swedish Academy of Sciences, 2000. - 77 p.
9. Limkaisang V., Harada K., Nagata J. et al. Phase-Shift Analysis of pp Scattering at $T_L = 25 - 500$ MeV // Prog. Theor. Phys. - 2001. - Vol. 105, No. 2. - P. 233 - 242.
10. Bergervoet J.R., van Campen P.C., Klomp R.A.M. et al. Phase Shift Analysis of All Proton-Proton Scattering Data Below $T_{lab} = 350$ MeV // Phys. Rev. - 1990. - Vol. C41, No. 4. - P. 1435 - 1452.
11. Arndt R.A., Strakovsky I.I., Workman R.L. Extraction of the πNN Coupling Constant from NN Scattering Data // Phys. Rev. - 1995. - Vol. C52, No. 4. - P. 2246 - 2249.
12. Machleidt R., Banerjee M.K. Charge Dependence of the πNN Coupling Constant and Charge Dependence of the Nucleon-Nucleon Interaction // Few-Body Syst. - 2000. - Vol. 28, No. 3. - P. 139 - 146.
13. Dumbrajs O., Koch R., Pilkuhn H. et al. Compilation of Coupling Constants and Low-Energy Parameters // Nucl. Phys. - 1983. - Vol. B216, No. 2. - P. 277 - 335.
14. Bugg D.V., Carter A.A., Carter J.R. New Values of Pion-Nucleon Scattering Lengths and f^2 // Phys. Lett. - 1973. - Vol. B44, No. 3. - P. 278 - 280.
15. Koch R., Pietarinen E. Low-Energy πN Partial Wave Analysis // Nucl. Phys. - 1980. - Vol. A336, No. 3. - P. 331 - 346.
16. Stoks V., Timmermans R., de Swart J.J. Pion-Nucleon Coupling Constant // Phys. Rev. - 1993. - Vol. C47, No. 2. - P. 512 - 520.
17. Arndt R.A., Briscoe W.J., Strakovsky I.I. et al. Dispersion Relation Constrained Partial Wave Analysis of πN Elastic and $\pi N \rightarrow \eta N$ Scattering Data: The Baryon Spectrum // Phys. Rev. - 2004. - Vol. C69, No. 3. - P. 035213.
18. Arndt R.A., Briscoe W.J., Strakovsky I.I., Workman R.L. Extended Partial-Wave Analysis of πN Scattering Data // Phys. Rev. - 2006. - Vol. C74, No. 4. - P. 045205.
19. Bugg D.V. The Pion Nucleon Coupling Constant // Eur. Phys. J. - 2004. - Vol. C33, No. 4. - P. 505 - 509.
20. Baru V., Hanhart C., Hoferichter M. et al. Precision Calculation of Threshold $\pi^- d$ Scattering, πN Scattering Lengths, and the GMO Sum Rule // Nucl. Phys. - 2011. - Vol. A872, No. 1. - P. 69 - 116.
21. Ericson T.E.O., Loiseau B., Nilsson J. et al. πNN Coupling from High Precision np Charge Exchange at 162 MeV // Phys. Rev. Lett. - 1995. - Vol. 75, No. 6. - P. 1046 - 1049.
22. Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. Scattering Measurements at 162 MeV and the πNN Coupling Constant // Phys. Rev. - 1998. - Vol. C57, No. 3. - P. 1077 - 1096.
23. Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. np Scattering Measurements at 96 MeV // Phys. Rev. - 2001. - Vol. C63, No. 4. - P. 044001.
24. Matsinos E., Rasche G. Systematic Effects in the Low-Energy Behavior of the Current SAID Solution for the Pion-Nucleon System // Int. J. Mod. Phys. - 2017. - Vol. E26, No. 3. - P. 1750002.
25. Matsinos E., Rasche G. Update of the Phase-Shift Analysis of the Low-Energy πN Data // arXiv: 1706.05524 [nucl-th]. - 2017. - 76 p.
26. Babenko V.A., Petrov N.M. Charge Dependence of the Pion-Nucleon Coupling Constant // Yaderna fizyka ta energetyka (Nucl. Phys. At. Energy). - 2015. - Vol. 16, No. 2. - P. 136 - 143. (Rus)
27. Babenko V.A., Petrov N.M. Study of the Charge Dependence of the Pion-Nucleon Coupling Constant on the Basis of Data on Low-Energy Nucleon-Nucleon Interactions // Physics of Atomic Nuclei. - 2016. - Vol. 79, No. 1. - P. 67 - 71.
28. Babenko V.A., Petrov N.M. Study of the Pion-Nucleon Coupling Constant Charge Dependence on the Basis of the Low-Energy Data on Nucleon-Nucleon Interaction // arXiv:1604.02912 [nucl-th]. - 2016. - 10 p.
29. Babenko V.A., Petrov N.M. Isospin Breaking in the Pion-Nucleon Coupling Constant and the Nucleon-Nucleon Scattering Length // Yaderna fizyka ta energetyka (Nucl. Phys. At. Energy). - 2016. - Vol. 17, No. 2. - P. 143 - 149. (Rus)
30. Babenko V.A., Petrov N.M. Relation between the Charged and Neutral Pion-Nucleon Coupling Constants in the

- Yukawa Model // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. - 2017. - Vol. 14, No. 1. - P. 58 - 65.
31. Arriola E.R., Amaro J.E., Perez R.N. Three Pion Nucleon Coupling Constants // *Mod. Phys. Lett.* - 2016. - Vol. A31, No. 28. - P. 1630027.
 32. Ericson T.E.O., Rosa-Clot M. The Deuteron Asymptotic D-state as a Probe of the Nucleon-Nucleon Force // *Nucl. Phys.* - 1983. - Vol. A405, No. 3. - P. 497 - 533.
 33. Naghdi M. Nucleon-Nucleon Interaction: A Typical/Concise Review // *Physics of Particles and Nuclei* - 2014. - Vol. 45, No. 5. - P. 924 - 971.
 34. Beringer J., Arguin J. -F., Barnett R. M. et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics // *Phys. Rev.* - 2012. - Vol. D86, No. 1. - P. 010001.
 35. Thomas A.W., Bickerstaff P., Gersten A. New Source of Charge-Symmetry Violation in the Nucleon-Nucleon System // *Phys. Rev.* - 1981. - Vol. D24, No. 9. - P. 2539(R) - 2541(R).
 36. Morrison L.K. Radiative Corrections to Pion-Nucleon Coupling Constants // *Ann. Phys.* - 1968. - Vol. 50, No. 1. - P. 6 - 50.
 37. Sliv L.A. Charge Independence and Charge Symmetry of Nuclear Forces // *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz.* - 1974. - Vol. 38, No. 1. - P. 2 - 14. (Rus)
 38. Babikov V.V. Variable Phase Approach in Quantum Mechanics. - Moskva: Nauka, 1976. - 288 p. (Rus)
 39. Sitenko A.G., Tartakovskii V.K. Lectures on the Theory of the Nucleus. - Oxford, New York: Pergamon Press, 1975. - 304 p.
 40. Lock W.O., Measday D.F. Intermediate Energy Nuclear Physics. - London: Methuen, 1970. - 320 p.
 41. Babenko V.A., Petrov N.M. Determination of Low-Energy Parameters of Neutron-Proton Scattering on the Basis of Modern Experimental Data from Partial-Wave Analyses // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2007. - Vol. 70, No. 4. - P. 669 - 675.
 42. Babenko V.A., Petrov N.M. Determination of Low-Energy Parameters of Neutron-Proton Scattering in the Shape-Parameter Approximation from Present-Day Experimental Data // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2010. - Vol. 73, No. 9. - P. 1499 - 1506.
 43. Gabioud B., Alder J.-C., Joseph C. et al. n - n Effective Range from the Photon Spectrum of the Reaction $\pi^- d \rightarrow \gamma nn$ // *Phys. Lett.* - 1981. - Vol. B103, No. 1. - P. 9 - 12.
 44. Babenko V. A., Petrov N. M. Determination of Low-Energy Parameters of Neutron-Neutron Scattering from an Analysis of the Binding-Energy Difference between the ${}^3\text{H}$ and ${}^3\text{He}$ Mirror Nuclei // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2014. - Vol. 77, No. 5. - P. 549 - 554.
 45. Babenko V. A., Petrov N. M. Mirror Nuclei ${}^3\text{H}$ and ${}^3\text{He}$ Binding Energies Difference and Low Energy Parameters of Neutron-Neutron Scattering // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. - 2015. - Vol. 12, No. 4. - P. 584 - 590.
 46. Kuhn B. Measurements of the Neutron-Neutron Scattering Wave Length and the Problem of Charge Dependence of Nuclear Forces // *Phys. Part. Nucl.* - 1975. - Vol. 6, No. 2. - P. 347 - 392.
 47. Howell C.R., Chen Q., Carman T.S. et al. Toward a Resolution of the Neutron-Neutron Scattering-Length Issue // *Phys. Lett.* - 1998. - Vol. B444, No. 3 - 4. - P. 252 - 259.
 48. González Trotter D.E., Salinas F., Chen Q. et al. New Measurement of the 1S_0 Neutron-Neutron Scattering Length Using the Neutron-Proton Scattering Length as a Standard // *Phys. Rev. Lett.* - 1999. - Vol. 83, No. 19. - P. 3788 - 3791.
 49. Huhn V., Wätzold L., Weber Ch. et al. New Investigation of the Neutron-Neutron and Neutron-Proton Final-State Interaction in the n - d Breakup Reaction // *Phys. Rev.* - 2001. - Vol. C63, No. 1. - P. 014003.
 50. von Witsch W., Ruan X., and Witała H. Neutron-Neutron Final-State Interaction in the ${}^2\text{H}(n, p)2n$ Reaction at $E_n = 17.4$ MeV // *Phys. Rev.* - 2006. - Vol. C74, No. 1. - P. 014001.
 51. Gonzalez Trotter D.E., Salinas Meneses F., Tornow W. et al. Neutron-Deuteron Breakup Experiment at $E_n = 13$ MeV: Determination of the 1S_0 Neutron-Neutron Scattering Length a_{nn} // *Phys. Rev.* - 2006. - Vol. C73, No. 3. - P. 034001.
 52. Babenko V.A., Petrov N.M. Low-Energy Parameters of Neutron-Neutron Interaction in the Effective-Range Approximation // *Physics of Atomic Nuclei*. - 2013. - Vol. 76, No. 6. - P. 684 - 689.

Надійшла 02.01.2017
Received 02.01.2017