

В. А. Бабенко, Н. М. Петров

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

О НАРУШЕНИИ ИЗСПИНОВОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ КОНСТАНТЫ ПИОН-НУКЛОННОЙ СВЯЗИ И ДЛИНЫ НУКЛОН-НУКЛОННОГО РАССЕЙЯНИЯ

На основе мезонной теории Юкавы рассматривается нарушение зарядовой независимости константы пион-нуклонной связи и длины нуклон-нуклонного рассеяния. Показано, что это нарушение практически полностью объясняется различием масс заряженных и нейтральных π -мезонов. При этом зарядовое расщепление пион-нуклонной константы связи составляет ту же величину, что и зарядовое расщепление массы π -мезона. Рассчитанная разность в длинах протон-протонного и нейтрон-протонного рассеяния в рассматриваемой модели составляет $\sim 90\%$ от ее экспериментального значения.

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

Константы пион-нуклонной связи, характеризующие абсолютную величину сильного ядерного взаимодействия, являются фундаментальными физическими параметрами ядерных сил, которые играют важную роль в исследованиях нуклон-нуклонного и пион-нуклонного взаимодействия [1 - 5]. Знание значений этих констант представляет большую важность для точного количественного описания и качественного понимания большого числа явлений в адронной и ядерной физике [3 - 8]. В связи с этим изучению пион-нуклонных констант и уточнению их значений уделяется большое внимание на протяжении всего периода развития ядерной физики [5, 7, 9].

Особо актуальным в последнее время является вопрос о возможном нарушении зарядовой независимости, т. е. изоспиновой инвариантности, константы пион-нуклонной связи, или, иначе говоря, об отличии друг от друга констант пион-нуклонной связи для нейтральных и заряженных π -мезонов. Крайнюю остроту данному вопросу придает имеющееся на данный момент существенное расхождение в значениях зарядовой пион-нуклонной константы связи $g_{\pi^{\pm}}^2$, полученных разными авторами. В различных современных работах псевдоскалярная зарядовая константа $g_{\pi^{\pm}}^2$ принимает значения в интервале от 13,54 [9, 10] до 14,74 [11]. При этом нейтральная псевдоскалярная пион-нуклонная константа связи $g_{\pi^0}^2$ является в настоящее время величиной, которая достаточно надежно и точно определена экспериментально и имеет значение $13,5 \div 13,6$ [5, 9, 12 - 15]. Таким образом, фундаментальный вопрос о зарядовой зависимости либо независимости константы пион-нуклонной связи является на данный момент нерешенным и требует дальнейшего экспериментального и теоретического исследования [5 - 7, 9 - 17].

В наших предыдущих работах [18 - 20] константа пион-нуклонной связи изучалась нами на основе стандартной классической модели Юкавы [1 - 3, 21] для нуклон-нуклонного взаимодействия с использованием имеющихся современных экспериментальных данных по низкоэнергетическим параметрам нуклон-нуклонного рассеяния [4, 5, 22 - 25]. А именно, в этих работах с использованием мезонной теории Юкавы была предложена простая физически обоснованная модель нуклон-нуклонного взаимодействия, которая связывает параметры np - и pp -систем в синглетном спиновом состоянии 1S_0 с основными характеристиками пион-нуклонного взаимодействия – массами π -мезонов m_{π} и пион-нуклонными константами связи f_{π}^2 . На основе этой модели была установлена простая связь между зарядовой и нейтральной константами пион-нуклонной связи. При этом с использованием хорошо известного экспериментального значения

$$f_{\pi^0}^2 = 0,0749(7) \quad [12] \quad (1)$$

псевдовекторной нейтральной константы нами было получено значение зарядовой пион-нуклонной константы связи

$$f_{\pi^{\pm}}^2 = 0,0804(7), \quad (2)$$

которое оказалось существенно большим значения (1). Таким образом, результаты работ [18 - 20] свидетельствуют о значительной зарядовой зависимости константы пион-нуклонной связи.

Из формул (1), (2) следует, что отношение зарядовой и нейтральной псевдовекторных констант пион-нуклонной связи имеет значение

© В. А. Бабенко, Н. М. Петров, 2016

$$\frac{f_{\pi^{\pm}}}{f_{\pi^0}} = 1,036, \quad (3)$$

которое очень хорошо согласуется с отношением экспериментальных масс заряженного и нейтрального π -мезонов [26]

$$\frac{m_{\pi^{\pm}}}{m_{\pi^0}} = \frac{139,57018 \text{ МэВ}}{134,9766 \text{ МэВ}} = 1,034. \quad (4)$$

С учетом этого с высокой степенью точности имеет место соотношение

$$\frac{f_{\pi^{\pm}}}{f_{\pi^0}} \cong \frac{m_{\pi^{\pm}}}{m_{\pi^0}}. \quad (5)$$

Таким образом, зарядовое расщепление пион-нуклонной константы связи практически составляет ту же величину, что и зарядовое расщепление массы π -мезона.

Соотношение (5) имеет простое и естественное физическое обоснование. Поскольку пион-нуклонная константа связи f_{π} служит мерой силового воздействия на нуклон π -мезонного поля, то это воздействие будет тем больше, чем больше масса π -мезона m_{π} . Таким образом, мезонное поле, окружающее нуклон заряженными π^{\pm} -мезонами с массой $m_{\pi^{\pm}} > m_{\pi^0}$, оказывает на нуклон большее воздействие, чем поле нейтральных π^0 -мезонов. Из формулы (5) непосредственно следует, что в отличие от константы взаимодействия f_{π} , которая является зарядово-зависимой величиной, отношение f_{π} / m_{π} с высокой степенью точности является величиной зарядово-независимой.

При точном выполнении соотношения (5) значение зарядовой псевдовекторной пион-нуклонной константы связи оказывается равным

$$f_{\pi^{\pm}}^2 = 0,0800(7). \quad (6)$$

Псевдоскалярные константы пион-нуклонной связи для нейтральных, $g_{\pi^0}^2$, и заряженных, $g_{\pi^{\pm}}^2$, π -мезонов связаны с соответствующими псевдовекторными константами связи известными соотношениями [5, 9, 14]

$$g_{\pi^0}^2 = \left(\frac{2M_p}{m_{\pi^{\pm}}} \right)^2 f_{\pi^0}^2, \quad (7)$$

$$g_{\pi^{\pm}}^2 = \left(\frac{M_p + M_n}{m_{\pi^{\pm}}} \right)^2 f_{\pi^{\pm}}^2, \quad (8)$$

где M_p и M_n – массы протона и нейтрона соответственно. Отметим при этом, что мы используем здесь такое определение (нормировку) псевдоскалярной константы пион-нуклонной связи, которое позволяет избавиться от фигурирования множителя 4π – здесь мы следуем в обозначениях обзору [9] по пион-нуклонной константе связи, т. е. фактически имеет место замена часто используемого обозначения $g_{\pi}^2 / 4\pi$ на g_{π}^2 .

Для псевдоскалярной зарядовой константы связи в соответствии с формулами (6) и (8) в этом случае получим значение

$$g_{\pi^{\pm}}^2 = 14,48(13), \quad (9)$$

которое практически не отличается от значения $g_{\pi^{\pm}}^2 = 14,55(13)$, рассчитанного в работах [18 - 20]. Значение псевдоскалярной нейтральной константы, соответствующее значению псевдовекторной константы (1), равно

$$g_{\pi^0}^2 = 13,55(13). \quad (10)$$

Таким образом, в соответствии с формулами (9) и (10), величина нарушения зарядовой независимости (Charge Independence Breaking) псевдоскалярной пион-нуклонной константы связи, обусловленной разностью масс π^{\pm} - и π^0 -мезонов $\Delta m_{\pi} = 4,59$ МэВ, равна

$$\Delta g_{\text{CIB}}^2 \equiv g_{\pi^{\pm}}^2 - g_{\pi^0}^2 = 0,94, \quad (11)$$

что в относительных единицах составляет ~7%.

Для псевдоскалярных констант связи справедливо соотношение

$$\frac{g_{\pi^{\pm}}}{g_{\pi^0}} \cong \frac{m_{\pi^{\pm}}}{m_{\pi^0}}, \quad (12)$$

аналогичное соотношению (5) для псевдовекторных констант связи. На формулу (12) обращалось внимание в работах [5, 14], однако в этих работах выполнение данного соотношения было сочтено просто случайным совпадением, не имеющим никакого обоснования. В нашем рассмотрении соотношения (5) и (12) получились на основе расчетов [18 - 20] с использованием традиционной классической модели Юкавы, согласованной с экспериментальными значениями низкоэнергетических параметров pp - и np -рассеяния.

Соотношение (5) можно переписать в виде

$$f_{\pi^{\pm}} R_{\pi^{\pm}} \cong f_{\pi^0} R_{\pi^0}, \quad (13)$$

где радиус потенциала мезонного обмена, соот-

ветствующий обмену π^0 -мезоном

$$R_{\pi^0} \equiv \frac{\hbar}{m_{\pi^0}c} = 1,462 \text{ Фм}, \quad (14)$$

больше, чем радиус R_{π^\pm} , соответствующий обмену π^\pm -мезоном

$$R_{\pi^\pm} \equiv \frac{\hbar}{m_{\pi^\pm}c} = 1,414 \text{ Фм}. \quad (15)$$

Напомним при этом, что радиус действия ядерных сил R_π за счет обмена π -мезоном с массой m_π равен $\hbar/m_\pi c$ и совпадает фактически с комптоновской длиной волны π -мезона, который является переносчиком ядерного взаимодействия [27, 28].

Таким образом, пион-нуклонная константа связи f_π и радиус потенциала мезонного обмена R_π вследствие разницы масс π^\pm - и π^0 -мезонов являются зарядово-зависимыми величинами. При этом большее значение массы π^\pm -мезона по сравнению с массой π^0 -мезона приводит к увеличению зарядовой константы f_{π^\pm} по сравнению с нейтральной константой f_{π^0} и уменьшению радиуса π^\pm -мезонного обмена R_{π^\pm} по сравнению с радиусом π^0 -мезонного обмена R_{π^0} . Как следствие этого, произведение пион-нуклонной константы f_π и радиуса потенциала π -мезонного обмена R_π является зарядово-независимой величиной

$$f_\pi R_\pi = B. \quad (16)$$

Используя хорошо определенное экспериментальное значение нейтральной пион-нуклонной константы

$$f_{\pi^0} = 0,274 \quad (17)$$

и значение радиуса π^0 -мезонного обмена (14) для константы B получим численное значение

$$B = 0,400 \text{ Фм}. \quad (18)$$

Таким образом, пион-нуклонная константа связи f_π и радиус π -мезонного обмена R_π связаны простым корреляционным соотношением

$$f_\pi \equiv \frac{B}{R_\pi}, \quad (19)$$

которое выполняется с высокой степенью точности.

Вследствие наличия в системе двух нуклонов в синглетном спиновом состоянии 1S_0 виртуального уровня с энергией, близкой к нулю, длина рассеяния является наиболее чувствительным параметром по отношению к небольшим изменениям нуклон-нуклонного потенциала. По этой причине количественной мерой нарушения зарядовой независимости ядерных сил часто служит разность длин протон-протонного и нейтрон-протонного рассеяния

$$\Delta a_{\text{СВ}} \equiv a_{pp} - a_{np}. \quad (20)$$

Здесь a_{pp} обозначает чисто ядерную длину протон-протонного рассеяния, т.е. величину, полученную из наблюдаемой экспериментальной длины после исключения поправок на электромагнитное взаимодействие двух протонов [4].

Экспериментальное значение величины $\Delta a_{\text{СВ}}$ равно [4, 5, 22 - 24]

$$\Delta a_{\text{СВ}}^{\text{эсп}} = 6,42 \text{ Фм}, \quad (21)$$

т.е. в относительных единицах нарушение зарядовой независимости длины нуклон-нуклонного рассеяния составляет весьма значительную величину $\sim 30\%$. Последнее существенно выходит за пределы экспериментальных ошибок и указывает на нарушение гипотезы зарядовой независимости ядерных сил при малых энергиях [29 - 32].

Зарядовую зависимость длины нуклон-нуклонного рассеяния обычно связывают с различием масс заряженных и нейтральных π -мезонов [14, 29, 30, 33 - 37]. Однако при этом только примерно половина экспериментальной разности $\Delta a_{\text{СВ}}^{\text{эсп}}$ была объяснена различием масс π^\pm - и π^0 -мезонов [14, 30, 36, 37].

На основе предложенной и подробно описанной в работах [18 - 20] физически обоснованной модели нуклон-нуклонного взаимодействия, базирующейся на мезонной модели Юкавы, нами рассчитано значение синглетной длины np -рассеяния a_{np} в предположении, что соотношение (5) выполняется точно. Полученное таким образом значение синглетной длины np -рассеяния

$$a_{np} = -22,89(40) \text{ Фм} \quad (22)$$

отличается от известного значения чисто ядерной длины pp -рассеяния $a_{pp} = -17,3(4) \text{ Фм}$ [4]. При этом рассчитанная разность длин pp - и np -рассеяния

$$\Delta a_{\text{СВ}}^{\pi} = 5,59 \text{ Фм} \quad (23)$$

хорошо согласуется с экспериментальным значением этой величины (21).

Таким образом, постулируя строгое выполнение равенства (5), т.е. равенства зарядового расщепления пион-нуклонной константы связи и массы π -мезона, мы получаем на основе нашей модели результат, что нарушение зарядовой независимости ядерных сил практически полностью объясняется одним лишь различием масс заряженных и нейтральных π -мезонов. Разница в длинах pp - и np -рассеяния $\Delta a_{\text{СВ}}^{\pi}$, возникающая вследствие данного различия масс, в этом случае составляет $\sim 90\%$ от экспериментального значения $\Delta a_{\text{СВ}}^{\text{expt}}$. В отличие от этого в более ранних работах рассчитанное значение величины $\Delta a_{\text{СВ}}^{\pi}$ составляло $\sim 50\%$ от $\Delta a_{\text{СВ}}^{\text{expt}}$ [14, 36, 37].

Из анализа результатов, полученных в настоящей работе, следует, что в отличие от константы пион-нуклонной связи f_{π} и радиуса π -ме-

зонного обмена R_{π} , которые являются зарядово-зависимыми величинами, их произведение $f_{\pi}R_{\pi}$ с высокой степенью точности является зарядово-независимой величиной. Отличие этого произведения для заряженных π^{\pm} -мезонов от произведения для нейтральных π^0 -мезонов в относительных единицах не превышает $0,2\%$.

Таким образом, предположение о том, что зарядовое расщепление пион-нуклонной константы связи составляет практически ту же величину, что и зарядовое расщепление массы π -мезона, подтверждается как непосредственными расчетами пион-нуклонных констант в нашей модели, так и дальнейшими расчетами длины нейтрон-протонного рассеяния на основе этой гипотезы. Также данная гипотеза имеет вполне четкое и естественное физическое обоснование, изложенное выше в настоящей работе. Кроме того, ее подтверждает также целый ряд экспериментов [6, 11, 38 - 41].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хюльтен Л., Сугавара М. Проблема взаимодействия двух нуклонов // Строение атомного ядра / Пер. с англ.; Под ред. А. С. Давыдова. - М.: ИЛ, 1959. - С. 7 - 165.
2. Бор О., Моттelson Б. Структура атомного ядра. Т. 1. - М.: Мир, 1971. - 456 с.
3. Эрикссон Т., Вайзе В. Пионы и ядра. - М.: Наука, 1991. - 512 с.
4. 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.
5. Machleidt R., Šlaus I. The Nucleon-Nucleon Interaction // J. Phys. - 2001. - Vol. G27, No. 5. - P. R69 - R108.
6. Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. np Scattering Measurements at 162 MeV and the πNN Coupling Constant // Phys. Rev. - 1998. - Vol. C57, No. 3. - P. 1077 - 1096.
7. Blomgren J., Ed. Critical Issues in the Determination of the Pion-Nucleon Coupling Constant: Proc. 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. - 77p.
8. Нахди М. Нуклон-нуклонное взаимодействие: краткий обзор // ЭЧАЯ. - 2014. - Т. 45, вып. 5 - 6. - С. 1664 - 1749.
9. 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.
10. Stoks V., Timmermans R., de Swart J.J. Pion-Nucleon Coupling Constant // Phys. Rev. - 1993. - Vol. C47, No. 2. - P. 512 - 520.
11. Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. np Scattering Measurements at 96 MeV // Phys. Rev. - 2001. - Vol. C63, No. 4. - P. 044001.
12. Bergervoet J.R., van Campen P.C., Klomp R.A.M. et al. Phase Shift Analysis of All Proton-Proton Scattering Data Below $T_{\text{lab}} = 350$ MeV // Phys. Rev. - 1990. - Vol. C41, No. 4. - P. 1435 - 1452.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Matsinos E., Rasche G. Analysis of the Low-Energy $\pi^- p$ Charge Exchange Data // Int. J. Mod. Phys. - 2013. - Vol. A28, No. 12. - P. 1350039.
17. Alarcon J.M., Martin Camalich J., Oller J.A. Improved Description of the πN - Scattering Phenomenology at Low Energies in Covariant Baryon Chiral Perturbation Theory // Ann. Phys. - 2013. - Vol. 336. - P. 413 - 461.
18. Бабенко В.А., Петров Н.М. О зарядовой зависимости константы пион-нуклонной связи // Ядерная физика та енергетика (Nucl. Phys. At. Energy). - 2015. - Т. 16, № 2. - С. 136 - 143.
19. Бабенко В.А., Петров Н.М. Изучение зарядовой зависимости пион-нуклонной константы связи с

- использованием данных о нуклон-нуклонном взаимодействии при низких энергиях // Ядерная физика. - 2016. - Т. 79, вып. 1. - С. 8 - 12.
20. 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.
 21. Yukawa H. On the Interaction of Elementary Particles // Proc. Phys. Math. Soc. Jap. - 1935. - Vol. 17. - P. 48 - 57.
 22. Hackenburg R.W. Neutron-Proton Effective Range Parameters and Zero-Energy Shape Dependence // Phys. Rev. - 2006. - Vol. C73, No. 4. - P. 044002.
 23. Бабенко В.А., Петров Н.М. Определение низкоэнергетических параметров np -рассеяния из современных экспериментальных данных фазового анализа // Ядерная физика. - 2007. - Т. 70, вып. 4. - С. 699 - 705.
 24. Бабенко В.А., Петров Н.М. Определение низкоэнергетических параметров np -рассеяния в приближении параметра формы из современных экспериментальных данных при низких энергиях // Ядерная физика. - 2010. - Т. 73, вып. 9. - С. 1545 - 1553.
 25. Бабенко В.А., Петров Н.М. О низкоэнергетических характеристиках нейтрон-нейтронного взаимодействия в приближении эффективного радиуса // Ядерная физика. - 2013. - Т. 76, вып. 6. - С. 734 - 739.
 26. Beringer J. et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics // Phys. Rev. - 2012. - Vol. D86, No. 1. - P. 010001.
 27. Шапиро И.С. Взаимодействие медленных анти-нуклонов с нуклонами и ядрами // УФН. - 1973. - Т. 109, вып. 3. - С. 431 - 454.
 28. Фраунфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика. - М.: Мир, 1979. - 736 с.
 29. Слив Л.А. Зарядовая независимость и зарядовая симметрия ядерных сил // Изв. АН СССР. Сер. физ. - 1974. - Т. 38, вып. 1. - С. 2 - 14.
 30. Кюн Б. Измерение длины рассеяния нейтрона на нейтроне и вопрос о зарядовой зависимости ядерных сил // ЭЧАЯ. - 1975. - Т. 6, № 2. - С. 347 - 392.
 31. Александров Ю.А. Фундаментальные свойства нейтрона. - М.: Энергоиздат, 1982. - 166 с.
 32. Miller G.A., van Oers W.T.H. Charge Independence and Charge Symmetry. - arXiv:nucl-th/9409013, 1994. - 41 p.
 33. Sugie A. The Effect of the Mass Difference between Charged and Neutral Pions on the Nuclear Force // Prog. Theor. Phys. - 1954. - Vol. 11, No. 3. - P. 333 - 334.
 34. Riazuddin. On the Charge Independence of Nuclear Forces // Nucl. Phys. - 1956/57. - Vol. 2. - P. 188 - 191.
 35. Riazuddin. Charge Dependent Effects on Scattering Lengths of np and pp Systems // Nucl. Phys. - 1958. - Vol. 7. - P. 217 - 222.
 36. Henley E.M., Morrison L.K. n - n and n - p Scattering Lengths and Charge Independence // Phys. Rev. - 1966. - Vol. 141, No. 4. - P. 1489 - 1493.
 37. Ericson T.E.O., Miller G.A. Charge Dependence of Nuclear Forces // Phys. Lett. - 1983. - Vol. B132, No. 1 - 3. - P. 32 - 38.
 38. 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.
 39. Koch R., Pietarinen E. Low-Energy πN Partial Wave Analysis // Nucl. Phys. - 1980. - Vol. A336, No. 3. - P. 331 - 346.
 40. 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.
 41. 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.

В. О. Бабенко, М. М. Петров

Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Київ

ПРО ПОРУШЕННЯ ІЗОСПІНОВОЇ ІНВАРІАНТНОСТІ КОНСТАНТИ ПІОН-НУКЛОННОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ДОВЖИНИ НУКЛОН-НУКЛОННОГО РОЗСІЯННЯ

На основі мезонної теорії Юкави розглянуто порушення зарядової незалежності константи піон-нуклонного зв'язку та довжини нуклон-нуклонного розсіяння. Показано, що це порушення практично повністю пояснюється відмінністю мас заряджених і нейтральних π -мезонів. При цьому зарядове розщеплення піон-нуклонної константи зв'язку становить ту ж величину, що і зарядове розщеплення маси π -мезона. Розрахована різниця в довжинах протон-протонного та нейтрон-протонного розсіяння в моделі, що розглядається, становить $\sim 90\%$ від її експериментального значення.

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

V. A. Babenko, N. M. Petrov

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

ISOSPIN BREAKING IN THE PION-NUCLEON COUPLING CONSTANT AND THE NUCLEON-NUCLEON SCATTERING LENGTH

Charge independence breaking (CIB) in the pion-nucleon coupling constant and the nucleon-nucleon scattering

length is considered on the basis of the Yukawa meson theory. CIB effect in these quantities is almost entirely explained by the mass difference between the charged and the neutral pions. Therewith charge splitting of the pion-nucleon coupling constant is almost the same as charge splitting of the pion mass. Calculated difference between the proton-proton and the neutron-proton scattering length in this case comprises ~90% of the experimental value.

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

REFERENCES

- 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.
- Bohr A., Mottelson B.R. Nuclear Structure. Vol. 1. - New York: Benjamin, 1969. - 471p.
- Ericson T., Weise W. Pions and Nuclei. -Oxford: Clarendon Press, 1988. - 479p.
- 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.
- Machleidt R., Šlaus I. The Nucleon-Nucleon Interaction // J. Phys. - 2001. - Vol. G27, No. 5. - P. R69 - R108.
- Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. *np* Scattering Measurements at 162 MeV and the πNN Coupling Constant // Phys. Rev. - 1998. - Vol. C57, No. 3. - P. 1077 - 1096.
- Blomgren J., Ed. Critical Issues in the Determination of the Pion-Nucleon Coupling Constant: Proc. 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. - 77p.
- Naghdí M. Nucleon-Nucleon Interaction: A Typical/Concise Review // Physics of Particles and Nuclei - 2014. - Vol. 45, No. 5. - P. 924 - 971.
- 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.
- Stoks V., Timmermans R., de Swart J.J. Pion-Nucleon Coupling Constant // Phys. Rev. - 1993. - Vol. C47, No. 2. - P. 512 - 520.
- Rahm J., Blomgren J., Condé H. et al. *np* Scattering Measurements at 96 MeV // Phys. Rev. - 2001. - Vol. C63, No. 4. -P. 044001.
- Bergervoet J.R., van Campen P.C., Klomp R.A.M. et al. Phase Shift Analysis of All Proton-Proton Scattering Data Below $T_{\text{lab}} = 350$ MeV // Phys. Rev. - 1990. - Vol. C41, No. 4. - P. 1435 - 1452.
- 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.
- 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.
- 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.
- Matsinos E., Rasche G. Analysis of the Low-Energy $\pi^- p$ Charge Exchange Data // Int. J. Mod. Phys. - 2013. - Vol. A28, No. 12. - P. 1350039.
- Alarcon J.M., Martin Camalich J., Oller J.A. Improved Description of the $\pi N -$ Scattering Phenomenology at Low Energies in Covariant Baryon Chiral Perturbation Theory // Ann. Phys. - 2013. - Vol. 336. - P. 413 - 461.
- 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)
- 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.
- 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.
- Yukawa H. On the Interaction of Elementary Particles // Proc. Phys. Math. Soc. Jap. - 1935. - Vol. 17. - P. 48 - 57.
- Hackenburg R.W. Neutron-Proton Effective Range Parameters and Zero-Energy Shape Dependence // Phys. Rev. - 2006. - Vol. C73, No. 4. - P. 044002.
- 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.
- 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.
- 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.
- Beringer J. et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics // Phys. Rev. - 2012. - Vol. D86, No. 1. - P. 010001.
- Shapiro I.S. The Interaction of Slow Antinucleons with Nucleons and Nuclei // Sov. Phys. Usp. - 1973. - Vol. 16, No. 2. - P. 173 - 184.
- Frauenfelder H., Henley E.M. Subatomic Physics. - Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1974. - 568 p.
- 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)
- 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. (Rus)
- Aleksandrov Yu.A. Fundamental Properties of the Neu-

- tron. - Oxford, UK: Clarendon Press, 1992. - 210 p.
32. *Miller G.A., van Oers W.T.H.* Charge Independence and Charge Symmetry. - arXiv:nucl-th/9409013, 1994. - 41 p.
33. *Sugie A.* The Effect of the Mass Difference between Charged and Neutral Pions on the Nuclear Force // *Prog. Theor. Phys.* - 1954. - Vol. 11, No. 3. - P. 333 - 334.
34. *Riazuddin.* On the Charge Independence of Nuclear Forces // *Nucl. Phys.* - 1956/57. - Vol. 2. - P. 188 - 191.
35. *Riazuddin.* Charge Dependent Effects on Scattering Lengths of np and pp Systems // *Nucl. Phys.* - 1958. - Vol. 7. - P. 217 - 222.
36. *Henley E.M., Morrison L.K.* n - n and n - p Scattering Lengths and Charge Independence // *Phys. Rev.* - 1966. - Vol. 141, No. 4. - P. 1489 - 1493.
37. *Ericson T.E.O., Miller G.A.* Charge Dependence of Nuclear Forces // *Phys. Lett.* - 1983. - Vol. B132, No. 1-3. - P. 32 - 38.
38. *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.
39. *Koch R., Pietarinen E.* Low-Energy πN Partial Wave Analysis // *Nucl. Phys.* - 1980. - Vol. A336, No. 3. - P. 331 - 346.
40. *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.
41. *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.

Надійшла 26.05.2016
Received 26.05.2016