

## Сопоставление сильного ядерного и электрического дипольного взаимодействий

Валентина Ивановна Безденежных

Курганский государственный университет  
640020 Россия, г. Курган, ул. Советская, 63/4; e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Отмечено, что сильное взаимодействие характеризуется, в частности, пятью свойствами: силы являются притягивающими; силы являются существенно короткодействующими; силы не зависят от электрических зарядов нуклонов; силы зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов; взаимодействие обладает свойством насыщения. Указанное описание является феноменологическим. Целью работы является сопоставление характера сильного и дипольного электрического взаимодействий. Диполи являются в целом электрически нейтральными, однако на расстояниях сопоставимых с их плечами локальные силы притяжения и отталкивания не компенсируют друг друга, что обуславливает короткодействующий характер их взаимодействия и объясняет выбор диполей для обсуждения аналогий с сильным взаимодействием.

*Ключевые слова:* сильное взаимодействие, нуклон, спин, насыщение, ядро, протон, нейтрон, дейтрон, электрон, диполь.

**DOI:** 10.54965/1609-3143-2025-31-4-36-43

### Введение

Сильное взаимодействие [1–3] характеризуется, в частности, пятью свойствами.

1. Силы являются притягивающими.
2. Силы являются существенно короткодействующими [4, 5].
3. Силы не зависят от электрических зарядов нуклонов [6].
4. Силы зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов.
5. Взаимодействие обладает свойством насыщения.

Указанное описание является феноменологическим.

Целью работы является обсуждение аналогий между сильным взаимодействием и взаимодействием электрических диполей в рамках пяти перечисленных особенностей.

Подобный подход был положен в основу самой первой – капельной модели ядра (1936; Н. Бор и Я.И. Френкель), которая трактует ядро как каплю электрически заряженной несжимаемой жидкости (с плотностью, равной ядерной).

Этот подход был достаточно продуктивным (получена полуэмпирическая формула для энергии связи нуклонов в ядре и объяснен механизм ядерных реакций), что является мотивом для поиска других моделей.

Задачей работы является установление характерных особенностей взаимодействия электрических диполей и сравнение их с особенностями сильного взаимодействия.

Диполи являются в целом электрически нейтральными, однако на расстояниях сопоставимых с их плечами локальные силы притяжения и отталкивания не компенсируют друг друга, что обуславливает короткодействующий характер их взаимодействия и объясняет выбор диполей для моделирования взаимодействия похожего на сильное. Тем более, что в последнее время активизировались поиски электрического дипольного момента легких ядер.

### Короткодействующие силы притяжения

Если у диполей есть лишь вращательные степени свободы, то по очевидным причинам они займут антипараллельное положение с равными диагоналями (рис. 1).

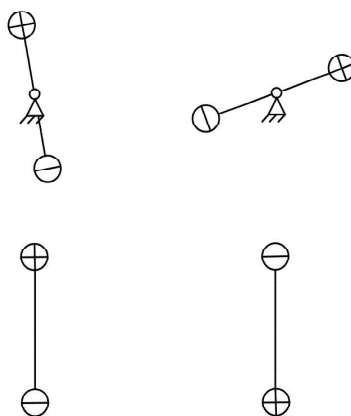


Рисунок 1. Диполи.

Плечо диполей –  $d$ . Расстояние между ними –  $r$ . Заряды –  $q$ .

Разноименные заряды диполей притягиваются с силой

$$F_1 = 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Одноименные заряды диполей отталкиваются с силой

$$F_2 = -2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + d^2)}.$$

Суммарная сила взаимодействия диполей является ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ

$$\begin{aligned} F_d(r) &= F_1 + F_2 = 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} - 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (r^2 + d^2)} = \\ &= 2 \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{r^2 + d^2} \right), \end{aligned} \tag{1}$$

В то же время потенциальная энергия взаимодействия двух нуклонов ПРИБЛИЖЕННО равна

$$U_n(r) \approx -k \frac{\exp(-r/r_0)}{r},$$

где  $k$  – константа сильного взаимодействия,  $r_0$  – размер атомного ядра.

Сила притяжения нуклонов ПРИБЛИЖЕННО равна

$$\begin{aligned} F_n(r) &= \frac{dU_n(r)}{dr} \approx k \frac{\exp(-r/r_0)}{rr_0} + k \frac{\exp(-r/r_0)}{r^2} = \\ &= k \frac{\exp(-r/r_0)}{r} \left( \frac{1}{r_0} + \frac{1}{r} \right). \end{aligned}$$

На рис. 2 и 3 представлены  $F_d(r)$  и  $F_n(r)$ . Пространственные и энергетические масштабы проявления этих двух сил существенно разные. Величиной, характерной для нуклонных взаимодействий, является  $DW \sim 10$  МэВ, проявляющаяся на расстояниях  $\sim 10^{-15}$  м, тогда как электрическое дипольное взаимодействие проявляет себя на молекулярных масштабах  $\sim 10^{-10}$  м и характерные энергии такого взаимодействия порядка 1–10 эВ.

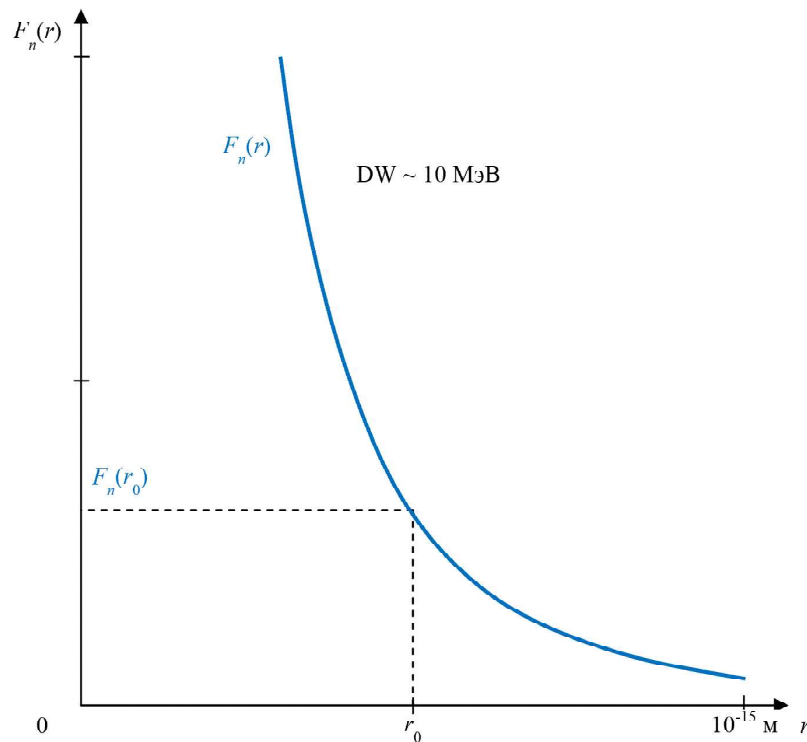


Рисунок 2. Сила притяжения нуклонов.

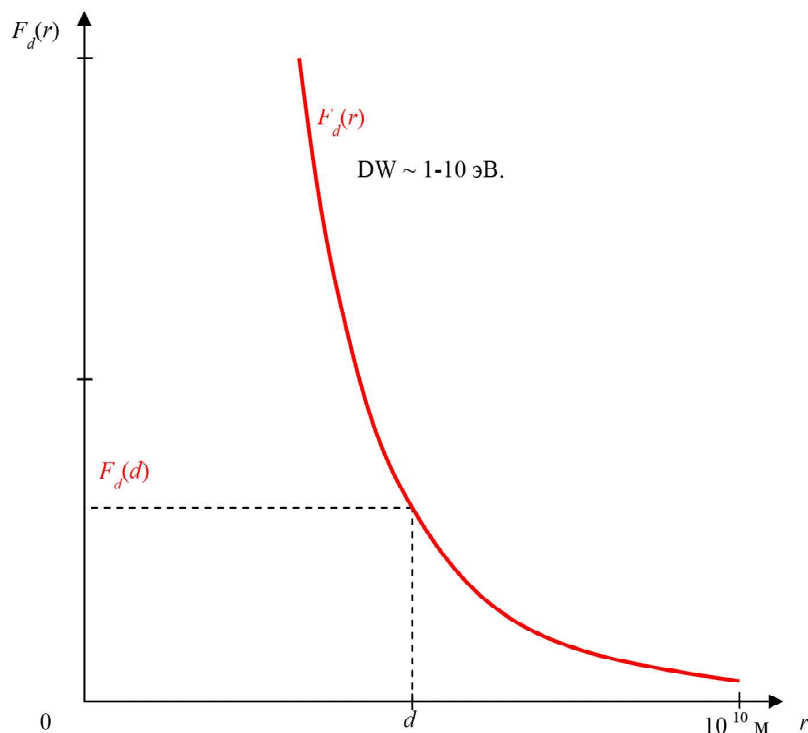


Рисунок 3. Сила взаимодействия диполей.

Почти идеальное совпадение формы графиков (с учетом различий пространственных и энергетических масштабов) свидетельствует о перспективности дипольной модели сильного взаимодействия.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет первые два свойства сильного взаимодействия, а именно: силы являются притягивающими и существенно короткодействующими.

### Независимость от электрических зарядов нуклонов

В связи с тем, что ядерные силы несопоставимо больше электромагнитных, для рассматриваемой дипольной модели выполняется условие  $-q \gg e$ , где  $e$  – заряд электрона.

Поэтому уменьшение отрицательных зарядов обоих диполей или одного диполя на ОДИН заряд электрона практически не повлияет на величину силы (1).

Диполи (диполь) в этом случае являются формальными аналогами протонов [7, 8] (равнозарядные диполи являются формальными аналогами нейтронов [9, 10]).

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет третье свойство сильного взаимодействия, а именно: силы не зависят от электрических зарядов нуклонов.

### **Зависимость от взаимной ориентации спинов нуклонов**

На рис. 1 видно, что диполи сохраняют антипараллельное положение, при котором только и возможно существование силы притяжения (1) между ними, исключительно при одинаковом направлении их вращения в плоскостях перпендикулярных рисунку (роторы совпадают друг с другом и прямой, соединяющей середины диполей). При всякой другой ориентации вращения постоянная сила притяжения (1) не возникает.

Нейтрон и протон притягиваются и образуют дейтрон только тогда, когда их спины параллельны друг другу.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет четвертое свойство сильного взаимодействия, а именно: силы зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов.

### **О свойстве насыщения**

Пространственно-геометрические свойства диполей вкупе с короткодействующим характером сил их притяжения не предоставляют им возможности взаимодействовать с большим числом других диполей. Лишь с самыми непосредственными соседями. Подобно тому, как шахматный король может ходить лишь на смежные с ним поля.

Таким образом, дипольная модель удовлетворительно объясняет пятое свойство сильного взаимодействия, а именно: оно обладает свойством насыщения.

### **Выводы**

Представлена аналогия между сильным ядерным и дипольным электрическим взаимодействиями, в рамках которой обсуждаются пять свойств сильного взаимодействия. Следует подчеркнуть, что в работе не ставится цели моделировать собственно взаимодействие нуклонов или теоретически обосновать единство сильного и электромагнитного взаимодействий. Сопоставление двух видов сил, проведенное в работе, может быть полезно как методический прием, позволяющий сосредоточить внимание исследователей на этой теме.

### **Литература**

1. Демидченко В.И., Масляева Г.Н. Ядерные силы. Квантовые числа // Физическое образование в ВУЗах. – 2018. – Т. 24, № 1. – С. 65-75.
2. Иванов М.Я. О классической теории единого силового поля с моделированием близкого и дальнего взаимодействия // Физическое образование в ВУЗах. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 43-61. DOI: 10.54965/16093143\_2022\_28\_1\_43.

3. *Кондратьев Е.Ф., Устинов Н.В.* Потенциал, который открыл Ф.Э. Нейман // Физическое образование в ВУЗах. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 33-44.
4. *Гладун А.Д., Игошин Ф.Ф., Ципенюк Ю.М.* Вычисление магнитных моментов легких ядер по результатам измерений их G-факторов методом ядерного магнитного резонанса // Физическое образование в ВУЗах. – 2006. – Т. 12, № 4. – С. 63-75.
5. *Синдоров Б.А., Аликуло С.С., Бекмирзаев Р.Н., Зарубин П.И., Маматкулов К.З.* Фрагментация релятивистских радиоактивных ядер  $^{10}\text{C}$  в ядерной фотоэмульсии // Физическое образование в ВУЗах. – 2016. – Т. 22, № S1. – С. 69-71.
6. *Синдоров Б.А., Аликулов С.С., Бекмирзаев Р.Н., Султанов М., Маматкулов К.З.* Свойства центральности СС-соударений при 4,2 ГЭВ/с на нуклон // Физическое образование в ВУЗах. – 2016. – Т. 22, № S1. – С. 72-74.
7. *Мамасолиев З., Эштулатов Н., Шарипов З., Туратов Х., Бекмирзаев Р., Маматкулов К.* Сравнение множественности протонов и заряженных пионов в столкновениях N12C и P12C при 4,2 ГЭВ/с // Физическое образование в ВУЗах. – 2021. – Т. 27, № S4. – С. 8-11. DOI: 10.54965/16093143\_2021\_27\_S4\_8.
8. *Мустафаева М., Болиев Х., Абдувахабов Х., Халбутаев Ш., Бекмирзаев Р., Маматкулов К.* Сравнение некоторых кинематических характеристик протонов в столкновениях N12C и P12C при 4,2 ГЭВ/с // Физическое образование в ВУЗах. – 2021. – Т. 27, № S4. – С. 21-23. DOI: 10.54965/16093143\_2021\_27\_S4\_21.
9. *Головин Н.П.* Нахождение потока нейтронов с помощью многогруппового метода для реактора Брест-300 ОД // Физическое образование в ВУЗах. – 2018. – Т. 24, № S1. – С. 141с-143с.
10. *Юрин К.О.* Регистрирующая электроника установки для регистрации атмосферных нейтронов проекта УРАН // Физическое образование в ВУЗах. – 2016. – Т. 22, № S1. – С. 94-95.

## Comparison of Strong Nuclear and Electric Dipole Interactions

Valentina Ivanovna Bezdeneshnykh

*Kurgan State University,  
640020, Kurgan, Sovetskaya St., 63/4, Russia;  
e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru*

Received November 16, 2025

PACS21.30.–x

It is noted that the strong interaction is characterized, in particular, by five properties: the forces are attractive; the forces are essentially short-range; the forces are independent of the electric charges of the nucleons; the forces depend on the mutual orientation of the nucleon spins; the interaction has the property of saturation. This description is phenomenological. The aim of the work is to compare the nature of strong and dipole electrical interactions. Dipoles are generally electrically neutral; however, at distances comparable to their arms, local attractive and repulsive forces do not compensate each other, which determines the short-range nature of their interaction and explains the choice of dipoles for discussing analogies with strong interactions.

*Keywords:* strong interaction, nucleon, spin, saturation, nucleus, proton, neutron, deuteron, electron, dipole.

### References

1. *Demidchenko V.I., Maslyayeva G.N.* Nuclear forces quantum numbers // *Physics education in universities.* – 2018. – Vol. 24, No. 1. – P. 65-75.
2. *Ivanov M.Ya.* On the classical theory of a unified force field with modeling of close and long-range interactions // *Physics education in universities.* – 2022. – Vol. 28, No. 1. – P. 43-61. DOI: 10.54965/16093143\_2022\_28\_1\_43.
3. *Kondratiev E.F., Ustinov N.V.* Potential discovered by F.E. Neumann // *Physics education in universities.* – 2004. – Vol. 10, No. 3. – P. 33-44.
4. *Gladun A.D., Igoshin F.F., Tsipenyuk Yu.M.* Calculation of magnetic moments of light nuclei based on the results of measurements of their G-factors by the nuclear magnetic resonance method // *Physics education in universities.* – 2006. – Vol. 12, No. 4. – P. 63-75.
5. *Sindorov B.A., Alikulo S.S., Bekmirzaev R.N., Zarubin P.I., Mamatkulov K.Z.* Fragmentation of relativistic radioactive nuclei  $^{10}\text{C}$  in nuclear photoemulsion // *Physics education in universities.* –

2016. – Vol. 22, No. S1. – P. 69-71.
6. *Sindorov B.A., Alikulov S.S., Bekmirzaev R.N., Sultanov M., Mamatkulov K.Z.* Centrality properties of CC collisions at 4.2 GEV/s per nucleon // *Physics education in universities.* – 2016. – Vol. 22, No. S1. – P. 72-74.
  7. *Mamasoliev Z., Eshpulatov N., Sharipov Z., Turatov Kh., Bekmirzaev R., Mamatkulov K.* Comparison of the multiplicity of protons and charged pions in N12C and P12C collisions at 4.2 GeV/s // *Physics education in universities.* – 2021. – Vol. 27, No. S4. – P. 8-11. DOI: 10.54965/16093143\_2021\_27\_S4\_8.
  8. *Mustafayeva M., Boliev H., Abduvakhobov H., Khalbutaev Sh., Bekmirzaev R., Mamatkulov K.* Comparison of some kinematic characteristics of protons in N12C and P12C collisions at 4.2 GeV/s // *Physics education in universities.* – 2021. – Vol. 27, No. S4. – P. 21-23. DOI: 10.54965/16093143\_2021\_27\_S4\_21.
  9. *Golovin N.P.* Finding the neutron flux using the multigroup method for the Brest-300 OD reactor // *Physics education in universities.* – 2018. – Vol. 24, No. S1. – P. 141c-143c.
  10. *Yurin K.O.* Registration electronics of the installation for registration of atmospheric neutrons of the URAN project // *Physics education in universities.* – 2016. – Vol. 22, No. S1. – P. 94-95.