

ФИЗИКА, МЕХАНИКА, ХИМИЯ

doi: 10.51639/2713-0576_2026_6_3_34

Научная статья

УДК 537.218, 531.51

ГРНТИ 29.05.33, 29.05.41

ВАК 1.3.3

Парадоксы энергии электростатического и гравитационного полей

Игорь Павлович Попов

ФГБУ ВО «Курганский государственный университет»,

Курган, Россия

ip.popow@yandex.ru

Аннотация

Установлено, что электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов не является парадоксальным. Электростатическое взаимодействие разноименных электрических зарядов является парадоксальным. Этот парадокс устранен. Гравитационное взаимодействие является неустранимо парадоксальным.

Ключевые слова: заряд, сфера, масса, тело, поле, энергия, работа, взаимодействие.

Введение

Потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаково и ОДНОИМЕННО заряженных сфер равна

$$U_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q^2}{r}, \quad (1)$$

где ϵ_0 – постоянная электрическая, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость, q – электрический заряд, r – расстояние между центрами сфер.

Потенциальная энергия разноименно заряженных сфер равна

$$U_2 = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q^2}{r}. \quad (2)$$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух одинаковых массивных круглых тел равна

$$U_3 = -\gamma \frac{m^2}{r}, \quad (3)$$

где γ – гравитационная постоянная, m – масса.

Представленные величины существенно характеризуют электростатическое и гравитационное поля. Эти величины естественным образом являются математически изоморфными.

Последнее замечание не распространяется на знаки величин, которые в любом случае имеют принципиальное значение.

Дальнейшее рассмотрение, так или иначе, связано со знаками энергий и имеет своей целью обнаружение связанных с ними (знаками) проблем энергии полей и их решения.

Постановка задачи

Не существует отрицательной массы [1-3], и скорость света – величина не комплексная. В этой связи энергия в соответствии со знаменитой формулой Пуанкаре

$$E = mc^2 \quad (4)$$

(E – энергия, c – скорость света) в принципе не может быть отрицательной, чего не скажешь о (2) и (3). Отрицательной может быть лишь разность энергий, но не сама энергия. Однако величины (2) и (3) не являются разностями энергий.²

В этом состоит ПЕРВЫЙ парадокс соответствующих полевых взаимодействий.

Но парадокс устранимый. Правильный выбор постоянных интегрирования этот парадокс устраняет [4, 5].

Задача исследования заключается:

- в установлении соотношений между потенциальной энергией взаимодействия, энергией поля и работой им совершаемой;
- в анализе энергетического баланса;
- в устранении выявляемых противоречий.

Метод

(на примере одноименных зарядов)

Плотность энергии электростатического поля равна

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \mathbf{E}^2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2} \left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2} \right)^2 = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 \varepsilon r^4}, \quad (5)$$

где $\mathbf{E}$ – напряженность электрического поля.

Энергия поля заряженной сферы радиуса a равна

$$W = \int_V w dV = \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 \varepsilon} \int_a^\infty \frac{4\pi r^2}{r^4} dr = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 \varepsilon} \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}, \quad (6)$$

где dV – элемент объема.

Энергия поля двух одинаковых заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$W_\infty = 2W = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}. \quad (7)$$

Энергия поля двух одинаково и одноименно заряженных сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна

² Энергия – это материальный ресурс (который стоит денег). Подобный другим материальным ресурсам, например, дровам. Минимальное количество дров в реальном мире (а не в бухгалтерских балансах) – 0 м³. Меньше (отрицательной величины) быть не может. Буквально так же, как не может быть отрицательных дров, не может быть и отрицательной энергии. Математиков, бухгалтеров и юристов отрицательные дрова не смутят (как и полтора землекопа). Физиков должны бы смутить.

$$W_0 = \frac{(2q)^2}{8\pi\epsilon_0\epsilon a} = \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0\epsilon a}. \quad (8)$$

$$W_0 = 2W_\infty. \quad (9)$$

При совершении полем работы A (при удалении зарядов) его энергия уменьшается

$$A_{0\infty} = W_0 - W_\infty = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon a} = W_\infty. \quad (10)$$

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаково и одноименно заряженных сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$U_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon a}. \quad (11)$$

При этом

$$U_0 = W_0 - W_\infty = A_{0\infty}. \quad (12)$$

Соотношения между потенциальной энергией взаимодействия U , энергией поля W и работой A не противоречат здравому смыслу и закону сохранения энергии. Другими словами, электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов [6] не является парадоксальным.

Полевое взаимодействие разноименных зарядов

Энергия поля двух одинаковых разноименно заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними совпадает с (7).

Энергия поля этих же сфер при нулевом расстоянии между их центрами равна нулю.

При совершении полем работы (при сближении зарядов) его энергия уменьшается

$$A_{\infty 0} = W_\infty - W_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon a} = W_\infty. \quad (13)$$

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух одинаковых разноименно заряженных сфер при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$U_\infty = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon a}. \quad (14)$$

При этом

$$U_\infty = W_\infty - W_0 = A_{\infty 0}. \quad (15)$$

Соотношения между потенциальной энергией взаимодействия U , энергией поля W и работой A не противоречат здравому смыслу и закону сохранения энергии.

Остается парадокс, связанный с отрицательной энергией (2).

Н.В. Он возник из-за того, что постоянная интегрирования при вычислении энергии волюнтаристски, бездоказательно и ошибочно принята равной нулю. В результате потенциальная энергия взаимодействия зарядов (хрестоматийная) при бесконечно большом расстоянии между ними стала равна нулю. В то время как в действительности она максимальна и равна (14). Ведь именно в этом положении работа (15), которую потенциально может совершить поле, является максимальной.

В [5] показано, что потенциальная энергия электростатического взаимодействия двух разноименно заряженных сфер равна

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_{1\pm}q_{2\mp}}{a_2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_{1\pm}q_{2\mp}}{r}, \quad r \geq a_1 + a_2, \quad a_2 \geq a_1. \quad (16)$$

При любых обстоятельствах $U \geq 0$.

Применительно к одинаковым сферам и равновеликим зарядам постоянная интегрирования совпадает с (14).

Парадокс отрицательной энергии устранен.

Гравитационное взаимодействие

Пусть два одинаковых существенно массивных неподвижных тела удерживаются на значительном расстоянии друг от друга, таком, что потенциальная энергия их взаимодействия пренебрежимо мала. В какой-то момент телам предоставляется свобода, и они очень медленно устремляются друг к другу. По мере сближения сила притяжения между ними возрастает, возрастает их ускорение и скорость. В конце пути их кинетическая энергия уже не является пренебрежимо малой, что недвусмысленно подтверждается деформацией тел при столкновении.

Из этого простого эксперимента следует, что в процессе сближения тела приобрели энергию, которой они не обладали до этого процесса [7].

В этой связи должно возникнуть недоумение – откуда же взялась существенная кинетическая энергия сближающихся тел, если изначально никакой энергии, по существу, не было?

В этом состоит ВТОРОЙ парадокс гравитационного взаимодействия (ПЕРВЫЙ – отрицательная энергия (3)).

Происхождение кинетической энергии. вариант первый (хрестоматийный)

На бесконечном удалении друг от друга двух массивных одинаковых круглых тел радиуса a потенциальная энергия их взаимодействия U_∞ равна нулю. При соприкосновении тел она равна

$$U_{a+a} = -\gamma \frac{mm}{a+a} = -0,5 \frac{\gamma m^2}{a}. \quad (17)$$

Кинетическая энергия при соприкосновении тел равна

$$K = 0,5 \frac{\gamma m^2}{a}. \quad (18)$$

Энергетический баланс

$$K = U_\infty - U_{a+a} = 0 - \left(-0,5 \frac{\gamma m^2}{a} \right) = 0,5 \frac{\gamma m^2}{a}. \quad (19)$$

Математиков в этом выражении ничто не смутит.

У физиков должен бы возникнуть дискомфорт в связи с тем, что положительная энергия, преобразованная в положительную же работу, извлечена из НИЧЕГО (из нуля)

Происхождение кинетической энергии. Вариант второй

В соответствии с [4] на бесконечном удалении друг от друга двух массивных одинаковых круглых тел радиуса a потенциальная энергия их взаимодействия U_∞ равна

$$U_\infty = 1,2 \frac{\gamma m^2}{a}. \quad (20)$$

При соприкосновении тел она равна

$$U_{a+a} = 0,7 \frac{\gamma m^2}{a}. \quad (21)$$

Кинетическая энергия (энергетический баланс)

$$K = U_\infty - U_{a+a} = 1,2 \frac{\gamma m^2}{a} - 0,7 \frac{\gamma m^2}{a} = 0,5 \frac{\gamma m^2}{a} \quad (22)$$

(ср. с (19)).

В этом варианте нет никакой мистики, и энергия из НИЧЕГО не возникает.

Парадокс,

связанный с отрицательной энергией (3), имеет абсолютно ту же причину, что и в случае разноименно заряженных сфер (2) (см. N.B.).

В [4] показано, что потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух круглых массивных тел равна

$$U = \frac{\gamma m_1 m_2}{a_2} \left(1,5 - 0,3 \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) - \frac{\gamma m_1 m_2}{r}, \quad r \geq a_1 + a_2, \quad a_2 \geq a_1. \quad (23)$$

При любых обстоятельствах $U \geq 0$.

Парадокс отрицательной энергии устранен.

Но это еще не все

Плотность энергии гравитационного поля вне тела радиуса a равна

$$w_2 = \frac{k}{2\gamma} g^2 = \frac{k}{2\gamma} \left(\gamma \frac{m}{r^2} \right)^2 = \frac{k\gamma m^2}{2r^4}. \quad (24)$$

Здесь k – безразмерный коэффициент, величина которого для целей настоящей работы не имеет никакого значения, g – напряженность гравитационного поля.

Энергия поля вне тела равна

$$W_2 = \int_V w_2 dV = \frac{k\gamma m^2}{2} \int_a^\infty \frac{4\pi r^2}{r^4} dr = 2\pi k\gamma m^2 \int_a^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{2\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (25)$$

Плотность энергии внутри тела равна

$$w_1 = \frac{k\gamma}{2r^4} \left(m \frac{r^3}{a^3} \right)^2 = \frac{k\gamma m^2 r^2}{2a^6}. \quad (26)$$

Энергия поля внутри тела равна

$$W_1 = \int_V w_1 dV = \frac{k\gamma m^2}{2a^6} \int_0^a r^2 4\pi r^2 dr = \frac{2\pi k\gamma m^2}{a^6} \int_0^a r^4 dr = \frac{2}{5} \frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (27)$$

Полная энергии гравитационного поля одного тела равна

$$W = W_1 + W_2 = 2,4 \frac{\pi k\gamma m^2}{a}. \quad (28)$$

Энергия поля двух одинаковых массивных круглых тел при бесконечно большом расстоянии между ними равна

$$W_{\infty} = 2W = 4,8 \frac{\pi k \gamma m^2}{a}. \quad (29)$$

Энергия поля этих двух тел при нулевом расстоянии между их центрами равна

$$W_0 = 2,4 \frac{\pi k \gamma (2m)^2}{a} = 9,6 \frac{\pi k \gamma m^2}{a}. \quad (30)$$

При совершении полем работы (при сближении тел из бесконечности до нуля) его энергия ДОЛЖНА УМЕНЬШАТЬСЯ.

А она УВЕЛИЧИВАЕТСЯ. Вдвое. Это ТРЕТИЙ парадокс гравитационного взаимодействия. И этот парадокс неустраним.

Обсуждение

Одноименные магнитные заряды $d\mu = Idl$ [8, 9], как и гравитационные, тоже притягиваются. Но там парадокс подобный третьему (увеличения энергии поля при совершении им положительной работы) не возникает из-за спасительного действия электромагнитной индукции, за счет которой магнитные заряды, а, следовательно, и энергия их поля уменьшаются.

Излишне говорить, что подобного механизма у гравитации нет.

Отрицательная энергия, разумеется, без внимания не оставалась [10]. Но практически всегда ее отрицательный знак принимался как вынужденный формализм.

Считалось, что за счет отрицательной энергии можно устранить неустранимый третий парадокс гравитационного взаимодействия.

Но, неустранимый парадокс, он потому и неустранимый, что устранить его нельзя. Ведь энергия отрицательной быть не может. И кинетическая энергия при столкновении тел из НИЧЕГО (нуля) возникнуть не может (второй парадокс).

Другими словами, попытка за счет отрицательной энергии разрешить третий парадокс необходимо порождает второй парадокс.

В настоящее время публикаций, посвященных разрешению третьего+второго парадокса, не выявлено.

Заключение

Электростатическое взаимодействие одноименных электрических зарядов НЕ ЯВЛЯЕТСЯ парадоксальным.

Электростатическое взаимодействие разноименных электрических зарядов ЯВЛЯЕТСЯ парадоксальным. Формула (16) этот парадокс устраняет.

Гравитационное взаимодействие является неустранимо парадоксальным.

Этот парадокс (третий+второй), как и большинство парадоксов, может оказаться продуктивным.

Последующие исследования планируется посвятить его разрешению, которое может пополнить сведения о природе гравитации.

Конфликт интересов

Автор статьи заявляет, что на момент подачи статьи в редакцию, у него нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Шацкий А.А., Новиков И.Д., Кардашев Н.С. Задача Кеплера и столкновения для тел с отрицательными массами // Успехи физических наук. 2011. Т. 181, № 4. С. 399-403.
2. Бобровницкий Ю.И. Отрицательные масса и упругость // Акустический журнал. 2012. Т. 58, № 1. С. 36.
3. Белоглазова С.Ю. Черный ящик с пульсирующим дефектом массы // Молодёжный вестник НФ БГТУ. 2026. Том 06. № 02 (22). С. 80-85. DOI: 10.51639/2713-0576_2026_6_2_80
4. Popov I.P. Full Account of the Energy of the Gravitational Field in Cosmology and Spacecraft Ballistics // Technical Physics. 2024. Vol. 69, No. 1. P. 53–56. DOI: 10.1134/S1063784224700300
5. Попов И.П. Расчет полной энергии электростатического поля // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Т. 2, № 392. С. 107–114. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-2-392-107-114
6. Павлов В.Д. Вариативность релятивистской скорости сближения объектов на основе данных Большого адронного коллайдера // Вестник НФ БГТУ: мехмат. 2024. Том 4, № 3 (15). С. 4–11. DOI: 10.51639/2713-0657_2024_4_3_4
7. Попов И.П. О взаимодействии пространства-времени с материальными объектами // Инженерная физика. 2024. № 10. С. 45–51. DOI: 10.25791/infizik.10.2024.1432
8. Попов И.П. A formalized method for finding real magnetic monopole and charge // Молодёжный вестник НФ БГТУ. 2025. Том 05. № 04 (20). С. 31-34. DOI: 10.51639/2713-0576_2025_5_4_31
9. Popov I.P. Theoretical and experimental discovery of the magnetic monopole and magnetic charge // Physics of Complex Systems. 2025. Vol. 6, No. 2. P. 110–115. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-2-110-115 EDN WCYYUP
10. Гриб А.А., Павлов Ю.В. Может ли энергия частиц быть отрицательной при отсутствии внешних полей? // Теоретическая и математическая физика. 2023. Т. 216, № 3. С. 504-518. DOI: 10.4213/tmf10453

Paradoxes of electrostatic and gravitational field energy

Igor Pavlovich Popov
Kurgan State University,
Kurgan, Russia
ip.popow@yandex.ru

Abstract

It has been established that the electrostatic interaction of like electric charges is not paradoxical. The electrostatic interaction of unlike electric charges is paradoxical. This paradox has been resolved. Gravitational interaction is irreducibly paradoxical.

Keywords: charge, sphere, mass, body, field, energy, work, interaction.