ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 531.5+530.145
DOI 10.5281/zenodo.15212043
Научная статья

ГРАВИТАЦИОННОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК КВАНТОВАЯ ЗАПУТАННОСТЬ И ИХ ТЕНЗОРНЫЕ ТИПЫ

GRAVITATIONAL AND ELECTRIC INTERACTIONS AS QUANTUM ENTANGLE AND THEIR TENSOR TYPES

ГУЦ АЛЕКСАНДР КОНСТАНТИНОВИЧ,
доктор физико-математических наук, профессор,
Сочинский государственный университет.

GUTS ALEXANDER KONSTANTINOVICH,
Doctor of Physics and Mathematics, professor,
Sochi State University.

Исследуются гравитационное и электрическое взаимодействия, представленные формулами Ньютона и Кулона соответственно. Приводится вид этих формул, выраженный через квантовую запутанность тяготеющих или заряженных тел. Показано, что для согласования с общей теорией относительности и электродинамикой для запутанности следует использовать соответствующий тип тензора в знаменателе приводимых формул: для гравитации – это симметричное тензорное поле, а для электричества – антисимметричное. В случае использования антисимметричного тензора для гравитации получаемая формула совпадает с формулой Ньютона, а в случае симметричного тензора формула отличается от формулы Ньютона на микроскопических расстояниях, что вполне ожидаемо. Квантовый характер предложенных формул подтверждается рядом экспериментов, устанавливающих запутанность в случае тяготеющих тел.

Gravitational and electrical interactions presented by the formulas of Newton and Coulomb, respectively, are investigated. The form of these formulas expressed through quantum entanglement of gravitating or charged bodies is given. It is shown that for consistency with the general theory of relativity and electrodynamics for entanglement it is necessary to use the corresponding type of tensor in the denominator of the given formulas: for gravitation it is a symmetric tensor field, and for electricity it is an antisymmetric one. In the case of using an antisymmetric tensor for gravity, the resulting formula coincides with Newton's formula, and in the case of a symmetric tensor, the formula differs from Newton's at microscopic distances, which is quite expected. A number of experiments establishing entanglement in the case of gravitating bodies confirms the quantum nature of the proposed formulas.

Ключевые слова: *формула Ньютона, формула Кулона, запутанность, тип тензорного поля.*

Key words: *Newton's formula, Coulomb's formula, entanglement, type of tensor field.*

Природа гравитации, о которой предпочитал не говорить Ньютон, в случае общей теории относительности объясняется искривлением пространства-времени. Однако неясным остается характер дальнодействия гравитационного и электрического взаимодействий. В статьях [1; 2] автором были предложены формулы Ньютона и Кулона для гравитационного и электрического взаимодействий, представленные в форме, говорящей о наличии соответственно квантовой запутанности тяготеющих масс и квантовой запутанности электрических зарядов.

Известная формула Кулона для зарядов:

$$F = k\frac{|Q||q|}{r^2}. \tag{1}$$

где r – это расстояние между центрами заряженных тел с зарядами Q и q может быть переписана в виде:

$$F = k\frac{|Q||q|}{||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_Q\rangle\otimes|r_q\rangle - |r_q\rangle\otimes|r_Q\rangle)||^2}, \tag{2}$$

поскольку, как показывают вычисления,

$$r^2 = ||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_Q\rangle\otimes|r_q\rangle - |r_q\rangle\otimes|r_Q\rangle)||^2.$$

Здесь $\boldsymbol{r_Q}, \boldsymbol{r_q}$ – радиус-векторы центров зарядов в пространстве, которое рассматриваем как 3-мерное векторное пространство $\boldsymbol{V}$, тензоры $\boldsymbol{r_Q}\otimes\boldsymbol{r}_q, \boldsymbol{r_q}\otimes\boldsymbol{r_Q}$ – элементы пространства $\boldsymbol{V}\otimes\boldsymbol{V}$, в обозначениях квантовой механики записываемые как $|r_Q\rangle\otimes|r_q\rangle$ и $|r_q\rangle\otimes|r_Q\rangle$ соответственно. В знаменателе формулы (2) стоит квадрат нормы пространства $\boldsymbol{V}\otimes\boldsymbol{V}$ неразложимого (запутанного) элемента этого тензорного произведения векторных пространств.

Фактически, мы считаем запутанными заряженные тела с зарядами Q и q. Неразложимость элемента $\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_Q\rangle\otimes|r_q\rangle - |r_q\rangle\otimes|r_Q\rangle)$ проверяется с помощью критерия из [3, с. 31]. Следовательно, формула (2) сразу постулирует мгновенный способ передачи кулоновского взаимодействия, указывая тем самым на квантовую природу электричества.

Аналогично формула Ньютона:

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \tag{3}$$

между двумя тяготеющими телами, имеющими соответственно массу M и m, где r – это расстояние между центрами масс этих тел, переписывается как:

$$F = G\frac{Mm}{||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle - |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)||^2}, \tag{4}$$

поскольку:

$$r^2 = ||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle - |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)||^2.$$

Таким образом, и в случае гравитации мы постулирует мгновенный способ передачи гравитационного взаимодействия, указывая на квантовую природу гравитации.

Как видим, взаимодействия задаются соответственно тензорами:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_Q\rangle\otimes|r_q\rangle - |r_q\rangle\otimes|r_Q\rangle) \text{ и } \frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle - |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle),$$

которые являются антисимметричным тензорами f_{ik} и g_{ik} соответственно. В самом деле, если векторы $\boldsymbol{r_X}$ и $\boldsymbol{r_x}$ разложить по базису $\boldsymbol{e}_1, \boldsymbol{e}_2, \boldsymbol{e}_3$ в рассматриваемом 3-мерном пространстве $\boldsymbol{V}$:

$$\boldsymbol{r}_X = \sum_i y_i \boldsymbol{e}_i \text{ и } \boldsymbol{r}_x = \sum_j x_j \boldsymbol{e}_j,$$

то:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_X\rangle\otimes|r_x\rangle - |r_x\rangle\otimes|r_X\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{i,j}(y_i x_j - x_i y_j)\boldsymbol{e}_i\otimes\boldsymbol{e}_j = \sum_{i,j} f_{ij}\boldsymbol{e}_i\otimes\boldsymbol{e}_j$$

и:

$$f_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{i,j}(y_i x_j - x_i y_j)$$

– антисимметричный тензор, как при *X*=*Q*, *x*=*q*, так и при *X*=*M*, *x*=*m*. Если в первом случае антисимметрия созвучна с антисимметричностью тензора электромагнитного поля $F_{\mu\nu}$ в электродинамике, то во втором случае антисимметрия не коррелирует с симметричностью метрического тензора $g_{\mu\nu}$, описывающего гравитационное поле в общей теории относительности Эйнштейна.

Однако, если вместо (4) взять для силы гравитации формулу:

$$F = G\frac{Mm}{||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle + |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)||^2}, \tag{5}$$

то получаем уже симметричный тензор:

$$f_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{i,j}(y_i x_j + x_i y_j),$$

который ассоциируется с метрическим тензором g_{ij}. При этом, по-прежнему, можно говорить о природе гравитации как о дальнодействии посредством запутанности тяготеющих масс. Более того, *различие знаменателей формул (2) и (5) говорит об том, что электрическое взаимодействие отлично от гравитационного*, чего мы не могли утверждать, имея формулы (2) и (4).

Осталось вычислить:

$$||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle + |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)||^2.$$

Возьмем векторы $\boldsymbol{r}_{M,}\boldsymbol{r}_m$ так, что $\boldsymbol{r}_M = (0,0,1)$, $|\boldsymbol{r}_M| = ||r_M\rangle| = a$ (эталонный вектор), а вектор $\boldsymbol{r}_M$ и вектор $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_m - \boldsymbol{r}_{M,}$ перпендикулярны. Тогда:

$$cos \measuredangle (\boldsymbol{r}_M, \boldsymbol{r}_m) = \frac{a}{||r_M\rangle|}.$$

Вычисляя знаменатель в (5), получаем

$$||\frac{1}{\sqrt{2}}(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle + |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)||^2 =$$
$$= \frac{1}{2}[(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle + |r_m\rangle\otimes||r_M\rangle\rangle, |r_M\rangle\otimes|r_m\rangle + |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle)] =$$
$$= \frac{1}{2}[(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle, |r_M\rangle\otimes|r_m\rangle) + (|r_m\rangle\otimes|r_M\rangle, |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle) +$$
$$+(|r_M\rangle\otimes|r_m\rangle, |r_m\rangle\otimes|r_M\rangle) + (|r_m\rangle\otimes|r_M\rangle, |r_M\rangle\otimes|r_m\rangle)] =$$
$$= \frac{1}{2}[(|r_M\rangle, |r_M\rangle)(|r_m\rangle, |r_m\rangle) + (|r_m\rangle, |r_m\rangle)(|r_M\rangle, |r_M\rangle) +$$
$$+(|r_M\rangle, |r_m\rangle)(|r_m\rangle, |r_M\rangle) + (|r_m\rangle, |r_M\rangle)(|r_M\rangle, |r_m\rangle)] =$$
$$= \frac{1}{2}\left[2||r_m\rangle|^2||r_M\rangle|^2 + 2|(|r_m\rangle, |r_M\rangle)|^2\right] = (1 + cos^2 \measuredangle (\boldsymbol{r}_M, \boldsymbol{r}_m))||r_m\rangle|^2 =$$
$$= (1 + \frac{a^2}{||r_m\rangle|^2})||r_m\rangle|^2 = (a^2 + ||r_m\rangle|^2 = r^2 + 2a^2,$$

где мы применили теорему Пифагора, согласно которой $||r_m\rangle|^2 = a^2+r^2$.

Из вычислений следует, что формула (5) принимает вид:

$$F = G\frac{Mm}{r^2+2a^2}, \tag{6}$$

отличный от формулы Ньютона (3). Однако в пользу приемлемости формулы (6), можно заметим, что

– во-первых, число $2a^2$ в знаменателе – это размерная величина [см] в системе СГС, которая в принципе может быть сколь угодно малой по сравнению с реально измеряемой величиной *r* расстояния между тяготеющими массами;

– а, во-вторых, в отличие от закона Кулона, который справедлив до размеров элементарных частиц, закон Ньютона на малых расстояниях может иметь знаменатель отличный от r^2. Такое возможно в общей теории относительности. Например, в случае метрики Шварцшильда вместо формулы Ньютона имеем следующую формулу:

$$F = G\frac{Mm}{r^2\sqrt{1-\frac{r_g}{r}}} \approx G\frac{Mm}{r^2-\frac{r_g}{2}r}.$$

Поэтому незначительное усложнение формулы Ньютона, в принципе не имевшего представления (и опытных данных) о том, какова сила гравитации между частицами на микроскопическом расстоянии друг от друга или в сильных гравитационных полях, и постулирующего ее на основании современных ему эмпирических данных, касающихся только макротел и макроскопических расстояний, совсем не удивляет, и, в общем-то, ожидаемо.

Вопрос, насколько предложенные нами формулы (2), (4), (5) соответствуют физической реальности? Ответ должен быть дан физиками-экспериментаторами.

И таковые ответы имеются. Так в работе [4] авторы заявили, что они показали в результате экспериментов, «что две близлежащие массы – как захваченные, так и высвобожденные — могут запутываться в результате гравитационного взаимодействия». Аналогичные исследования проделали авторы статей [5-7].

Иначе говоря, эксперименты показали, что гравитационное взаимодействие проявляется как квантовое запутывание, о чем и говорят формулы (4) и (5), учитывающие в должной мере, как показано, тензорный тип рассматриваемых взаимодействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуц А.К. Моделирование кулоновского взаимодействия и ньютоновской гравитации посредством запутанности // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов XII Международной научной конференции (Омск, 14 марта 2025 г.). Омск: Издательство Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского, 2025. С. 88-90.
2. Гуц А.К. Гипотеза Уилера о топологической природе электрических зарядов, запутанность зарядов и кротовые норы // Eurasian Scientific Conference: сборник статей II Международной научно-практической конференции (Пенза, 28 февраля 2025 г.). Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2025. 206 с. С. 9-11.
3. Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю. Алгебраический аппарат квантовой информатики. МГУ: Факультет ВМК, 2016. 56 с.
4. Krisnanda T., Tham G.Y., Paternostro M., Paterek T. Observable quantum entanglement due to gravity / T. Krisnanda [et al.] // Quantum Information. 2020. Vol. 6. 12 p.
5. Qvarfort S., Bose S., Serafini A. Mesoscopic entanglement through central–potential interactions // npj Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2020. Vol. 53. pp. 235501.
6. Continuous-Variable Entanglement through Central Forces: Application to Gravity between Quantum Masses / A. Kumar [et al.]. URL: https://arxiv.org/abs/2206.12897 (дата обращения: 08.04.2025).
7. Probing Modified Gravity with Entanglement of Microspheres / A. Kumar [et al.]. URL: https://arxiv.org/pdf/2306.14938 (дата обращения: 08.04.2025).

Поступила в редакцию: 09.04.2025
Принята в печать: 07.05.2025