



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-2-27-31>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 621.385.6

## ДИСПЕРСИЯ ВОЛН ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ. ВОЛНОВАЯ И КОРПУСКУЛЯРНАЯ ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЧАСТИЦЫ

А. А. КУРАЕВ, В. В. МАТВЕЕНКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 16.09.2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Исследована дисперсия волн пространства-времени, описывающих поведение квантовых частиц в средах, имеющих частоты собственных колебаний  $f_0$ . Определены фазовая и групповая скорости частиц. Описаны трансформация формы частицы из волновой в корпускулярную и обусловленный этой трансформацией эффект наблюдателя. Объяснена мгновенная передача фазовых состояний частиц в наблюдаемых явлениях телепортации и запутанности состояний квантовых частиц. Пояснены причины в различии наблюдаемых скоростей гравитационных волн.

**Ключевые слова:** волны пространства-времени, гравитационные волны, собственные частоты сред, дисперсия, фазовые скорости, эффект наблюдателя, телепортация, запутанные квантовые состояния.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Кураев, А. А. Дисперсия волн пространства-времени. Волновая и корпускулярная формы элементарной частицы / А. А. Кураев, В. В. Матвеев // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 2. С. 27–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-2-27-31>.

## SPACE-TIME DISPERSION OF WAVES. WAVE AND CORPUSCULAR FORMS OF ELEMENTARY PARTICLES

ALEXANDER A. KURAYEV, VLADIMIR V. MATVEYENKA

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 16.09.2022

**Abstract.** The article studies space-time dispersion of waves describing the behavior of quantum particles in media with eigenfrequencies  $f_0$ . The phase and group velocities of the particles are determined. The transformation of the shape of a particle from wave to corpuscular and the effect of the observer caused by this transformation are described. The instantaneous transfer of phase states of particles in the observed teleportation and involution phenomena of quantum particles states is explained. The discrepancy, observed in gravitational waves, velocities is explained.

**Keywords:** space-time waves, gravitational waves, media eigenfrequencies, dispersion, phase velocities, observer effect, teleportation, quantum states involution.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation.** Kurayev A. A., Matveyenka V. V. (2023) Space-Time Dispersion of Waves. Wave and Corpuscular Forms of Elementary Particles. *Doklady BGUIR*. 21 (2), 27–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-2-27-31> (in Russian).

## Введение

В [1] сформулирована волновая гипотеза пространства-времени. В ней разделяются физическое  $\vec{r}, \vec{t}$  и расчетное пространство-время  $\vec{R}, T$ , причем  $\vec{t}$  имеет векторную, а не скалярную форму. В системе  $\vec{R}, T$  сформулированы максвеллоподобные уравнения для физических компонент  $\vec{r}, \vec{t}$ , определены энергии пространства и времени, сформулирован закон сохранения для них, определены источники пространства-времени. Получены волновые уравнения для  $\vec{r}, \vec{t}$ . Волновой процесс, как и в электромагнитном поле волны, обусловлен превращением энергии  $\vec{r}$  в энергию  $\vec{t}$  и наоборот в течение цикла колебаний.

В [2] установлены основные законы излучения, рефракции и дифракции волновой компоненты пространства-времени, объяснены опыты по наблюдению обратного хода времени. В [3] отмечено, что волны де Бройля идентичны волнам пространства-времени, из чего следует, что элементарные частицы являются структурированными пакетами волн пространства-времени. В [4] рассмотрены особенности распространения волн пространства-времени в нелинейной среде, показатель преломления которой зависит от энергии  $\epsilon$  пакета волн (частицы):  $n(\epsilon) = n_0 + n_1(\epsilon)$ ,  $\epsilon = mc^2$  (где  $m$  – масса частицы;  $c$  – скорость света в вакууме). Показано, что траектория пробной частицы-волны искривляется с положительным радиусом кривизны относительно частицы-источника, что и определяет притяжение частиц – гравитацию. В [5] на основе гипотезы о волнах пространства-времени дано объяснение инверсии причинно-следственных связей, которая наблюдалась в опытах по генерации и приему сверхкоротких лазерных импульсов.

Таким образом, гипотеза о волнах пространства-времени и о представлении материальной частицы в форме волнового пакета оказалась полезной для объяснения механизма некоторых фундаментальных явлений. Но гипотеза превращается в теорию после открытия (регистрации) гравитационных волн 14 сентября 2015 года с помощью лазерного интерферометра LIGO [6]. Дело в том, что в соответствии с общей теорией относительности гравитационная волна – это волна кривизны пространства, т. е. пространственная компонента волны пространства-времени. Как указано выше, пространственная волна не может существовать без волны времени – энергия одной компоненты переходит в другую дважды за период колебания подобно тому, как это имеет место в электромагнитной волне – энергия магнитного поля и энергия электрического поля обмениваются в волне и в стоячем поле (пакете волн). При открытии гравитационных волн также обнаружен интересный факт: регистрируемая скорость волн по разным направлениям колеблется от 0,55 до 1,42 скорости света в вакууме. Такое возможно в отношении фазовой скорости волны, проходящей в дисперсной среде [7, 8]. Поэтому исследованию дисперсии волн пространства-времени и вытекающих из этого явления следствий, особенно в отношении элементарных частиц, посвящена настоящая статья.

## Дисперсия волн пространства-времени в неограниченной области

Как отмечалось выше, в теории волн пространства-времени [1–5] разделяются физическое  $\vec{r}, \vec{t}$  и расчетное  $\vec{R}, T$  пространство-время ( $\vec{t}$  – вектор,  $T$  – скаляр). Уравнения, определяющие  $\vec{r}, \vec{t}$  в расчетной системе  $\vec{R}, T$ , изоморфны уравнениям Максвелла для компонент электромагнитного поля  $\vec{H}, \vec{E}$ :

$$\text{rot } \vec{r} = \frac{\partial(\vec{k}_1 \vec{t})}{\partial T} - \vec{r}_0; \quad \text{rot } \vec{t} = -\frac{\partial(\vec{k}_2 \vec{r})}{\partial T} + \vec{v}_0, \quad (1)$$

где  $\vec{k}_1, \vec{k}_2$  – тензорные характеристики среды рассматриваемой области в отношении волн пространства-времени.

Показатели  $\vec{k}_1, \vec{k}_2$  аналогичны  $\vec{\epsilon}$  и  $\vec{\mu}$  в уравнениях Максвелла. Также в смысле изоморфизма  $\vec{r}, \vec{t}$  аналогичны  $\vec{H}, \vec{E}, \vec{r}_0, \vec{v}_0$ , имеют смысл источников вихрей  $\vec{r}, \vec{t}$ . Изменение энергии временной  $\epsilon_t$  и пространственной  $\epsilon_r$  компонент определяется, как в [1]:

$$\frac{\partial \epsilon_t}{\partial T} = \vec{t} \frac{\partial(\vec{k}_1 \vec{t})}{\partial T}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \epsilon_r}{\partial T} = \vec{r} \frac{\partial(\vec{k}_2 \vec{r})}{\partial T}. \quad (3)$$

Согласно (2), (3), закон сохранения энергии можно записать в виде

$$\vec{t} \frac{\partial(\vec{k}_1 \vec{t})}{\partial T} + \vec{r} \frac{\partial(\vec{k}_2 \vec{r})}{\partial T} = 0. \quad (4)$$

В общем случае  $\vec{k}_1 = \vec{k}_1(\vec{R}, T, f)$ ,  $\vec{k}_2 = \vec{k}_2(\vec{R}, T, f)$ , где  $f$  – частота волнового процесса. Для изучения дисперсии волн можно упростить задачу. Допустим,  $\vec{k}_1 = k_1(f)$ ,  $\vec{k}_2 = k_2(f)$ , т. е. можно считать среду распространения волн пространства-времени изотропной, однородной и постоянной во времени. Тогда с учетом системы (1) запишутся следующие волновые уравнения для  $\vec{t}$ ,  $\vec{r}$  в свободной от источников области ( $\vec{r}_0 = 0$ ,  $\vec{v}_0 = 0$ ):

$$\nabla^2 \vec{r} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial T^2} = 0; \quad \nabla^2 \vec{t} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{t}}{\partial T^2} = 0; \quad v^2 = \frac{1}{k_1 k_2}. \quad (5)$$

Уравнения (5) являются стандартной формой волнового уравнения для любого по физическому содержанию волнового процесса (в частности, электромагнитного),  $v^2 = 1/k_1 k_2$  имеет смысл фазовой скорости волны в свободном от источников изотропном однородном пространстве. В спектральной области, полагая  $\partial / \partial T = j\omega$ , из (5) получаем:

$$\nabla^2 \vec{r} + k^2 \vec{r} = 0; \quad \nabla^2 \vec{t} + k^2 \vec{t} = 0, \quad (6)$$

где  $k^2 = \frac{\omega^2}{v^2} = \omega^2 k_1 k_2$ .

Решение (6) имеет форму плоской волны вида

$$\vec{\Psi}(T, R) = \vec{A}(R) e^{j(\omega T - \vec{k}R)}. \quad (7)$$

В соответствии с [3],  $\vec{k} = \vec{P} / \hbar$ , где  $\vec{P}$  – импульс элементарной частицы;  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$  эрг·с – постоянная Планка. Уравнения (6) и вид их решений (7) для неограниченной области совпадают (если не расшифровывать смысл обозначений  $\vec{k}$ ) с аналогичными уравнениями и решениями для электромагнитных волн [7, 8]. Этой аналогией можно воспользоваться при исследовании волн пространства-времени.

Рассмотрим случай, когда в среде распространения волн существуют собственные колебания с частотой  $f_0$  ( $\omega_0 \approx 2\pi f_0$ ):

– при пространственной частоте  $f_0$  параметр  $k_1$  будет иметь вид

$$k_1 = k_{01} \left( 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \right) = k_{01} \left( 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \right);$$

– при временной частоте  $f_0$  параметр  $k_2$

$$k_2 = k_{20} \left( 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \right) = k_{20} \left( 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \right).$$

Либо в первом, либо во втором случае оказывается, что

$$k^2 = k_0^2 \left( 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \right) = k_1 k_2. \quad (8)$$

Форма дисперсионной зависимости  $\vec{k}$  в рассматриваемом случае непосредственно следует из уже подробно изученных аналогичных ситуаций в электродинамике при решении (6) в случае распространения в ионизированном газе, где роль  $\omega_0$  играет собственная круговая частота ионизированного газа (частота Ленгмюра)  $\omega_0 = \sqrt{\frac{e^2 N e}{\epsilon_0 m}}$  (где  $e$ ,  $m$  – заряд и масса электрона;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $Ne$  – электронная концентрация, эл/см<sup>3</sup>). Таким образом

$$k^2 = k_0^2 \left( 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \right),$$

где  $k_0 = \omega/c$ ;  $c$  – скорость света в вакууме;  $k = \omega/v_{\text{ф}}(f)$ .

Следовательно, фазовая скорость волны

$$v_{\phi} = c \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}}. \quad (9)$$

Необходимо отметить, что в дисперсионных средах описанного типа выполняется соотношение  $v_{\phi}v_{\Gamma} = c^2$ , где  $v_{\Gamma}$  – групповая скорость волны

$$v_{\Gamma} = c \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}}. \quad (10)$$

Полученные для  $v_{\phi}$  и  $v_{\Gamma}$  формулы можно применить при анализе некоторых наблюдаемых явлений.

### Трансформация формы частицы из волновой в корпускулярную. Эффект наблюдателя

Пусть распространение волны-частицы описывается решением (7) при форме записи  $\vec{k} = \vec{e}_0 k$ , где  $\vec{e}_0$  – направление движения волны. Тогда в соответствии с (8) при  $f > f_0$  фазовая скорость волны  $v_{\phi}$  остается действительной, и волновой процесс сохраняется, т. е. частица перемещается в форме волнового импульса. Но при  $f < f_0$  скорость  $v_{\phi}$  – мнимая, и волновой процесс невозможен, а частица становится тем более локализованной, чем менее  $f$  по сравнению с  $f_0$ . Распределение частицы в пространстве  $\vec{R}$  определяется как

$$e^{\left( \begin{array}{c} \frac{\omega}{c} R \\ \frac{\omega_0^2}{\omega^2} - 1 \end{array} \right)}.$$

То есть частица становится локализованной и приобретает корпускулярную форму. Описанное явление гипотетически может объяснить «эффект наблюдателя»: ненаблюдаемая частица ведет себя как волна, но при воздействии наблюдателя проявляет себя как корпускула. Если в процессе наблюдения его воздействие на среду создает в ней собственные колебания с частотой  $f_0$ , большей, чем частота частицы-волны, то происходит описанный выше процесс трансформации частицы-волны в частицу-корпускулу.

Может быть предложена и другая гипотеза: в среде для каждой  $i$ -й частицы-волны пространства-времени существует собственная частота колебаний  $f_{0i}$ . Причем  $f_{0i} < f_i$ , где  $f_i$  – частота  $i$ -й частицы. Акт наблюдения отнимает определенную энергию частицы, такую, что  $f_i$  уменьшается настолько, что  $f_{0i}$  становится больше ее. Тем самым форма частицы трансформируется в корпускулярную, что и наблюдается.

### Телепортация. Запутанные квантовые состояния

Телепортация, запутанные квантовые состояния – весьма необычные явления в мире квантовых частиц, механизм которых не имеет однозначного описания [9]. В статье не делалась попытка представить подобные описания. Следует обратить внимание только на одну сторону этих явлений – фазовые характеристики (фазы, частоты, поляризации) частицы или двух частиц передаются мгновенно на неопределенно большие расстояния. С точки зрения изложенных выше представлений это возможно исходя из (9) для фазовой скорости квантовой частицы при условии  $f = f_0$  и сохранении  $f_0$  во всей наблюдаемой области:  $v_{\phi} / f_0 \rightarrow f \rightarrow \infty$ . В то же время при  $f > f_0$  фазовая скорость  $v_{\phi}$  (9) больше скорости света, а групповая скорость  $v_{\Gamma}$  (10) – меньше  $c$ . Это и наблюдается при регистрации гравитационных волн [6].

### Заключение

Исследования дисперсии волн пространства-времени, описывающих поведение квантовых частиц в средах, имеющих частоты собственных колебаний, позволяют частично объяснить некоторые весьма сложные явления, такие как эффект наблюдателя, телепортацию и запутанные состояния квантовых частиц, различие скоростей гравитационных волн.

### Список литературы

1. Кураев, А. А. Изоморфизм и волновая гипотеза пространства-времени / А. А. Кураев // Доклады БГУИР. 2003. № 4. С. 13–16.
2. Кураев, А. А. Излучение, рефракция и дифракция волновой компоненты пространства-времени / А. А. Кураев // Доклады БГУИР. 2007. № 4. С. 181–184.
3. Кураев, А. А. Темная материя и волны пространства-времени / А. А. Кураев // Доклады БГУИР. 2010. № 7. С. 31–33.
4. Кураев, А. А. Волны пространства-времени в нелинейной среде. Гравитация / А. А. Кураев // Доклады БГУИР. 2011. № 6. С. 92–93.
5. Кураев, А. А. Флуктуации времени и инверсия причинно-следственных связей / А. А. Кураев // Доклады БГУИР. 2010. № 2. С. 115–116.
6. Abbot, V. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger // *Physical Review Letters*. 2016. Vol. 116, No 6. P. 5–16.
7. Кураев, А. А. Электродинамика и распространение радиоволн / А. А. Кураев, Т. Л. Попкова, А. К. Синицын. М.: Инфра-М, 2016. 424 с.
8. Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольский. М.: Физматлит, 1989. 288 с.
9. Баргатин, И. В. Запутанные квантовые состояния атомных систем / И. В. Баргатин, Б. А. Гришанин, В. Н. Задков // *Успехи физических наук*. 2001. Т. 171, № 6. С. 625–647.

### References

1. Kurayev A. A. (2003) Isomorphism and the Wave Hypothesis of Space-Time. *Doklady BSUIR*. (4), 13–16 (in Russian).
2. Kurayev A. A. (2007) Radiation, Refraction and Diffraction of the Wave Component of Space-Time. *Doklady BSUIR*. (4), 181–184 (in Russian).
3. Kurayev A. A. (2010) Dark Matter and Space-Time Waves. *Doklady BSUIR*. (7), 31–33 (in Russian).
4. Kurayev A. A. (2011) Waves of Space-Time in a Nonlinear Medium. *Gravity. Reports of BSUIR*. (6), 92–93 (in Russian).
5. Kurayev A. A. (2010) Time Fluctuations and Inversion of Cause-and-Effect Relationships. *Doklady BSUIR*. (2), 115–116 (in Russian).
6. Abbot V. P. et al. (2016) Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*. 116 (6), 5–16.
7. Kurayev A. A., Popkova T. L., Sinitsyn A. K. (2016) *Electrodynamics and Propagation of Radio Waves*. Moscow, Infra-M Publ. 424 (in Russian).
8. Nikolsky V. V., Nikolsky T. I. (1989) *Electrodynamics and Propagation of Radio Waves*. Moscow, Fizmatlit Publ. 288 (in Russian).
9. Bargatin I. V., Grishanin B. A., Zadkov V. N. (2001) Zutate Quantum States of Atomic Systems. *Advances in the Physical Sciences*. 171 (6), 625–647 (in Russian).

### Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

#### Сведения об авторах

**Кураев А. А.**, д. ф.-м. н., профессор, профессор кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Матвеенко В. В.**, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры вычислительных методов и программирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

#### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Тел.: +375 17 293-89-56  
E-mail: kurayev@bsuir.by  
Кураев Александр Александрович

#### Information about the authors

**Kurayev A. A.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Professor at the Information Radiotechnologies Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Matveyenka V. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Computational Methods and Programming Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

#### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki St., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
Tel.: +375 17 293-89-56  
E-mail: kurayev@bsuir.by  
Kurayev Alexander Alexandrovich