УДК 621.391 + 530.1 + 115.4

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ СО СВЕРХСВЕТОВОЙ СКОРОСТЬЮ В НЕОДНОРОДНОЙ ДИСПЕРГИРУЮЩЕЙ ЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ

Дубровин А.С., Хабибулина С.Ю.

ФКОУ ВПО «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний», Воронеж, e-mail: asd_kiziltash@mail.ru

Проанализировано возникновение релятивистских представлений о пространстве и времени из классической электродинамики. Скорость света в вакууме получила статус параметра метрики единого пространства-времени. Впоследствии концепция вакуума, как пустого пространства, была отвергнута, а понятие фазовой скорости волны в среде приобрело большое значение (в частности, после открытия излучения Вавилова-Черенкова). Эта скорость зависит не только от свойств среды, но и от параметров волны (дисперсия волн). Однако такое развитие классической электродинамики не оказало заметного влияния на развитие представлений о пространстве и времени. В статье выдвигается гипотеза о том, что вслед за вариацией фазовой скорости волны в среде следует говорить о вариации метрики пространства-времени в среде, одним из проявлений которой является возможность передачи информации в среде со скоростью, превышающей скорость света в вакууме. Для этого предлагается использовать пространственно-частотное разделение информационного сигнала, согласованное с однопараметрической неоднородностью диспергирующей линейной среды. Способ такого согласования рассмотрен на примере плазмы. Возможность передачи информации со сверхсветовой скоростью через неоднородную среду вообще и неоднородную плазму в частности мы выдвигаем в качестве гипотезы, требующей экспериментальной проверки, а ее подтверждение стало бы одним из подтверждений нашей гипотезы о гиперконтинууме.

Ключевые слова: пространство-время, частотная дисперсия, скорость света, плазма

INFORMATION TRANSFER WITH SUPERLIGHT SPEED IN THE INHOMOGENEOUS DISPERSIVE LINEAR MEDIUM

Dubrovin A.S., Khabibulina S.Y.

Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentionary Service, Voronezh, e-mail: asd_kiziltash@mail.ru

Article analyzes genesis of the relativistic notions about space and time from a classical electrodynamics. Light speed in vacuum received the status of parameter of the metric of space-time continuum. Subsequently the vacuum concept as empty space has been rejected, and the concept of phase velocity of the wave in a medium began to have great importance (in particular, after Cerenkov radiation discovery). This phase velocity depends not only on medium properties, but also from wave parameters (wave dispersion). However, such development of a classical electrodynamics not significantly affected on development of space and time notions. Article hypothesizes that except a variation of phase velocity of a wave in medium there is a space-time metric variation in medium. The metric variation proves in information transfer possibility in medium with the speed exceeding light speed in vacuum. For this, we suggest to use the spatially-frequency separation of an information signal harmonized with one-parametric heterogeneity of dispersive linear medium. Article views a method of such harmonization on a plasma example. Possibility of information transfer with superlight speed through an inhomogeneous medium in general and the inhomogeneous plasma in particular is our hypothesis. It requires experimental testing. Acknowledgement of this hypothesis is also one of acknowledgement of our hypothesis about hierarchical hypercontinual structure of world physical space-time. The metric of monochromatic wave is identical to the metric of space-time continuum. Then there will be a fundamentally new perspectives of development of the scientific and technical progress, earlier seeming unattainable, having removed a separate continuum restrictions (speed limits the speed of light in vacuum, rigidity of cause and effect chains of events etc.).

Keywords: space-time, frequency dispersion, light speed, plasma

Релятивистские представления о пространстве и времени возникли из достижений классической электродинамики к началу XX века. Скорость света в вакууме получила статус параметра метрики единого пространства-времени. Впоследствии концепция вакуума, как пустого пространства, была отвергнута, а понятие фазовой скорости волны в среде приобрело большое значение (в частности, после открытия излучения Вавилова-Черенкова). Эта скорость зависит не только от свойств среды, но и от параметров волны (дисперсия волн). Однако такое развитие классической электродинамики не оказало заметного влияния на развитие представлений о пространстве и времени. Целью статьи является выдвижение научной гипотезы о том, что вслед за вариацией фазовой скорости волны в среде следует говорить о вариации метрики пространства-времени в этой среде, одним из проявлений которой является возможность передачи информации в среде со скоростью, выше скорости света в вакууме.

Распространение плоской синусоидальной (монохроматической) бегущей волны описывается синусоидальной волновой функцией (осциллятором) прямоугольных декартовых пространственных координат $x \in \mathbb{R}$, $y \in \mathbb{R}$, $z \in \mathbb{R}$ и времени $t \in \mathbb{R}$ инерциальной системы отсчета (координатное и частотное представления здесь совпадают). Осциллятор может быть представлен в двух взаимно эквивалентных формах: вещественнозначной функции $\Phi(x, y, z, t)$ (вещественный осциллятор) и комплекснозначной функции $\Psi(x, y, z, t)$ (комплексный осциллятор). Если ось Ox коллинеарна волновому вектору, эти функции примут вид:

$$\Phi(x,y,z,t)=\Phi(x,t)=\mathrm{Re}\,\Psi(x,t)=A\cos(\omega t-k_x x+\phi), \quad (1)$$

$$\Psi(x,y,z,t)=\Psi(x,t)=C\exp\left(i\left(\omega t-k_x x\right)\right),\ \ C=A\exp(i\phi), \quad (2)$$

где $i=\sqrt{-1}$, A, C, ω, $k_x \neq 0$, $\varphi\in\mathbb{R}$ – амплитуда (может быть скалярной, векторной или спинорной в зависимости от выбора математического представления функций физического поля), комплексная амплитуда, круговая частота (ω > 0 для (1) и ω ≠ 0 для (2)), проекция волнового вектора на ось Ox и начальная фаза осциллятора, $|k_x| = k$ – его волновое число. Вектор скорости волны имеет проекцию $v_{px} = \omega/k_x \neq 0$ на ось Ox и модуль $v_p = \omega/k \neq 0$.

Описание распространения в линейной среде плоской полихроматической волны проблематично в координатном представлении, но очевидно в частотном представлении, имеющем две взаимно эквивалентные формы: форму вещественнозначной волновой функции $\varphi(x, t)$, определяемой надлежащей суперпозицией вещественных осцилляторов (1) с подходящими значениями параметров A, ω, k_x, φ, и форму комплекснозначной волновой функции $\psi(x, t)$, определяемой надлежащей суперпозицией комплексных осцилляторов (2) с подходящими значениями параметров C, ω, k_x, причем $\varphi(x, t) = \mathrm{Re}\,\psi(x, t)$. Если для всех таких осцилляторов $\omega/k_x \equiv \mathrm{const}$ (отсутствие частотной дисперсии), то эта константа имеет смысл проекции на ось Ox вектора скорости распространения волны, модуль же его равен ω/k_x.

При наличии же частотной дисперсии волны (случай диспергирующей волны) параметры каждого ее осциллятора связаны дисперсионным соотношением [13]

$$G(\omega,k_x)=0, \quad (3)$$

характеризующим конкретную среду и имеющим вещественные корни вида

$$\omega=W(k_x),\ \partial^2 W(k_x)/\partial k_x^2 \neq 0, \quad (4)$$

причем одному соотношению (3) могут удовлетворять различные функции $W(k_x)$, отвечающие различным модам, а диспергирующая волна, как единое целое, образуется суперпозицией всех возможных для (3) мод. В этом случае распространение волны описывается двумя скоростями (фазовой и групповой), проекция на ось Ox и модуль вектора которых равны $v_{px} = \omega/k_x$, $v_p = |v_{px}|$ и $v_{gx} = d\omega/dk_x$, $v_g = |v_{gx}|$. При этом величины v_{px}, v_p, v_{gx}, v_g для любой конкретной моды (4) являются значениями функций $v_{px}(k_x) = W(k_x)/k_x$, $v_p(k_x) = |v_{px}(k_x)|$, $v_{gx}(k_x) = dW(k_x)/dk_x$, $v_g(k_x) = |v_{gx}(k_x)|$ от k_x, но численнозначное измерение каждой скорости для волны в целом не имеет физического смысла.

Распространение в линейной среде плоской полихроматической диспергирующей волны может физически интерпретироваться, как соответствующая эволюция динамической физической системы, представляющей собой данную среду. Как и эволюция любой другой динамической физической системы, эволюция среды в данном случае однозначно определяется уравнениями движения и начальными условиями, причём уравнения движения задают закон эволюции системы во времени и пространстве. Система уравнений движения представляет собой для конкретной моды (4) уравнения, задающие граничные условия, и интегродифференциальное уравнение волны для комплекснозначной волновой функции $\psi(x, t)$ [13]

$$\frac{\partial\psi}{\partial t}(x,t)+\int_{-\infty}^{+\infty}K(\xi-x)\frac{\partial\psi}{\partial\xi}(\xi,t)\,d\xi=0, \quad (5)$$

ядро которого $K(x)$ представляет собой обратное преобразование Фурье функции $v_{px}(k_x)$, задающей дисперсионную кривую для данной моды:

$$K(x)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}v_{px}(k_x)\exp(ik_x x)\,dk_x. \quad (6)$$

При этом в силу (6) для фиксированной моды (4) задание интегродифференциального уравнения (5) и задание уравнения дисперсионной кривой

$$v_{px}=v_{px}(k_x) \quad (7)$$

эквивалентны для определения класса волн, то есть любому частному решению уравнения (5) отвечает дисперсионная кривая (7) и наоборот, любая комплекснозначная волновая функция, которой отвечает дисперсионная кривая (7), является частным решением (5). По крайней мере формально, любая комплекснозначная волновая функция, удовлетворяющая дисперсионному соотношению (3), разлагается в сумму по всем модам (4) комплекснозначных волновых функций, каждая из которых является частным решением соответствующего моде уравнения (5) и отвечает для той же моды дисперсионной кривой (7), соответствующей ядру (6), то есть распространение плоской полихроматической волны в линейной диспергирующей среде имеет частотное представление в виде суммы интегралов Фурье

$$\psi(x,t)=\sum_{m}\int_{-\infty}^{+\infty}F_m(k_x)\exp\left(i\left(W(k_x)t-k_xx\right)\right)dk_x \quad (8)$$

по всем модам m (4) для данного соотношения (3), где все комплексные амплитуды $F_m(k_x)$ подбираются так, чтобы удовлетворить заданным начальным и граничным условиям [13]. Особо выделим физически важный случай наличия двух мод $\omega = \pm W(k_x)$, различающихся знаком, тогда волновая функция (8) является суммой двух интегралов Фурье [13]:

$$\psi(x,t)=\int_{-\infty}^{+\infty}F_1(k_x)\exp\left(i\left(W(k_x)t-k_xx\right)\right)dk_x+$$

$$+\int_{-\infty}^{+\infty}F_2(k_x)\exp\left(i\left(-W(k_x)t-k_xx\right)\right)dk_x. \quad (9)$$

Фазовая скорость диспергирующей волны в линейной среде может быть сколь угодно велика, но скорость информационного сигнала в ней обычно считается равной групповой скорости, которая всегда ограничена скоростью света в вакууме, если только для данной волны понятие групповой скорости имеет точный смысл (предполагается, что спектр такого сигнала целиком лежит в некоторой полосе частот $[\omega_D;\omega_T]$) [2]. Именно полосовой, а не точечный характер спектра реального сигнала, способного нести информацию, ограничивает скорость сигнала скоростью света в вакууме (монохроматический сигнал не несет информации).

В результате такого рассмотрения вопроса передачи сигналов в диспергирующей среде и успехов теории относительности в науке укоренились представления о невозможности передачи информации со сверхсветовой скоростью. Однако, на наш взгляд, принципиальные теоретические возможности сверхсветовой передачи информации открываются при использовании пространственно-частотного разделения информационного сигнала, распространяющегося в неоднородной диспергирующей линейной среде.

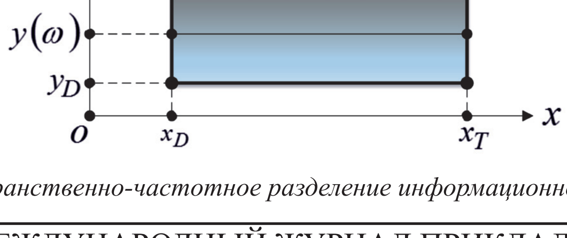
Неоднородность среды параметризуем одним числовым параметром, считая, что его значение возвращает известная функция круговой частоты плоской бегущей монохроматической волны и модуля фазовой скорости такой волны в среде с такой круговой частотой:

$$P=P(\omega,v_p). \quad (10)$$

Область среды (назовем ее рабочей областью), непосредственно используемая для передачи сигнала с пространственно-частотным разделением, изображена на рисунке в прямоугольной декартовой системе пространственных координат в проекции на плоскость xOy. Рабочая область имеет форму прямоугольника с вершинами $(x_D;y_D)$, $(x_D;y_T)$, $(x_T;y_D)$, $(x_T;y_T)$. Сигнал передается от своей начальной пространственной локализации, которой является отрезок $[(x_D;y_D), (x_D;y_T)]$, до конечной $[(x_T;y_D), (x_T;y_T)]$. Суть пространственно-временного разделения состоит в том, что каждая монохроматическая составляющая сигнала, характеризующаяся своим значением круговой частоты ω, пространственно разделяется с монохроматическими составляющими с другими ее значениями за счет того, что передается по своему индивидуальному маршруту – отрезку $[(x_D;y(\omega)); (x_T;y(\omega))]$, на всем протяжении которого параметр среды P имеет постоянное значение, определяемое из (10), где $y = y(\omega)$ – заданная строго возрастающая функция, например, линейная

$$y(\omega)=\left((y_T-y_D)\omega+y_D\omega_T-y_T\omega_D\right)/(\omega_T-\omega_D), \quad (11)$$

причем в любом случае $\omega_D \le \omega \le \omega_T$, $y(\omega_D)=y_D$, $y(\omega_T)=y_T$.



Пространственно-частотное разделение информационного сигнала

Такое согласование разделения маршрутов передачи монохроматических составляющих с характером неоднородности среды приводит к тому, что фазовые скорости всех монохроматических составляющих равны одному и тому же заранее заданному значению v_p, не зависящему от частоты. Для такого информационного сигнала понятие групповой скорости волны теряет свой привычный смысл, фазовая скорость волны не зависит от частоты и обретает смысл скорости передачи сигнала подобно случаю отсутствия дисперсии. Если v_p выбирается большей скорости света в вакууме c, то и скорость передачи информационного сигнала оказывается большей скорости света в вакууме. Рассмотрим в качестве примера однопараметрической линейной диспергирующей среды изотропную бесстолкновительную плазму.

Дисперсионное соотношение (3) примет вид [1]

$$\omega^2 - c^2 k_x^2 - \omega_p^2 = 0, \qquad (12)$$

где ω_p – плазменная частота. Величина ω_p определяется известным [1] равенством

$$\omega_p = \sqrt{e^2 N_e / (\varepsilon_0 m_e)}, \qquad (13)$$

где ε_0, e, m_e, N_e – электрическая постоянная, заряд и масса электрона, их концентрация.

Соотношению (12) отвечают две различающиеся знаком моды (4) и кривые (7):

$$\omega = \pm W(k_x) = \pm\sqrt{c^2 k_x^2 + \omega_p^2},$$

$$v_{px} = v_{px}(k_x) = \pm\sqrt{c^2 + \omega_p^2 / k_x^2}, \qquad (14)$$

поэтому волновая функция имеет вид (9), а интегродифференциальное уравнение волны (5) для обеих мод принимает единый вид дифференциального уравнения Клейна-Гордона

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}(x,t) - c^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}(x,t) + \omega_p^2 \psi(x,t) = 0. \qquad (15)$$

В качестве числового параметра неоднородности такой плазмы удобно выбрать концентрацию электронов, то есть $P = N_e$, тогда равенство (10) с учетом (12)–(14) примет вид:

$$N_e = P(\omega, v_p) = \varepsilon_0 m_e \left(1 - c^2 / v_p^2\right) \omega^2 / e^2. \qquad (16)$$

Используя этот параметр, можно описать, как рабочая область должна быть заполнена плазмой, чтобы информационный сигнал с пространственно-частотным разделением распространялся со скоростью v_p. Для этого удобно ввести функцию $N_e = N_e(x, y) = N_e(y)$, значение которой равно концентрации электронов (16) в точке (x, y) рабочей области. В любом случае эта функция не зависит от переменной x и строится по заданной функции пространственно-частотного разделения $y(\omega)$. Если $y(\omega)$ имеет линейный вид (11), то получим:

$$N_e(y) = \varepsilon_0 m_e \left(v_p^2 - c^2\right) \left((\omega_T - \omega_D) y + y_T \omega_D - y_D \omega_T\right)^2 / \left(e^2 v_p^2 (y_T - y_D)\right). \qquad (17)$$

Для вакуума ($N_e = \omega_p = 0$, $v_p = c$) уравнение (15) сводится к волновому. Оно описывает электромагнитное поле без дисперсии, естественная риманова геометрия которого является псевдоевклидовой с предельной скоростью движения, равной c [3, 7]. При $N_e > 0$ возникает дисперсия, и можно считать, что плоские монохроматические бегущие волны с разной частотой имеют псевдоевклидову естественную геометрию, различающуюся предельной скоростью движения, которая интерпретируется, как фазовая скорость волны. Далее можно отождествлять псевдоевклидову метрику волны данной частоты с метрикой пространственно-временного континуума, в котором распространяется эта волна, что согласуется с выдвинутой в [3] гипотезой об иерархической гиперконтинуальной структуре мирового физического пространства-времени. Понятие пространственно-временного гиперконтинуума впервые введено в [7] в результате совместного изучения алгебраической и геометрической структур коммутативных алгебр с единицей, элементами которых являются функции синусоидальных волн. Гипотеза является отправной точкой научных исследований, направленных на обобщение представлений о структуре пространства и времени в русле перехода от современной квантовой научной парадигмы к новой системной, одновременно конструктивно соединяющей в своих рамках непрерывность и дискретность, динамичность и статичность, а также глобальность и локальность [5]. Иерархичность гиперконтинуума ограничивает применимость общепринятого принципа геометризации в физике и связанных с ним идей симметрии в геометрии за счет введения в теоретическую физику идей иерархичности [6, 8–12, 14–15], эффективность которых уже апробирована нами в рамках информатики при создании эталонной модели защищенной автоматизированной системы (ЭМЗАС) и математического аппарата ЭМЗАС-сетей [4]. Возможность передачи информации со сверхсветовой скоростью через неоднородную среду вообще и неоднородную плазму согласно (16) – (17) в частности, мы выдвигаем в качестве гипотезы, требующей экспериментальной проверки, причем ее подтверждение стало бы одним из подтверждений гипотезы о гиперконтинууме.

Список литературы

1. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы: учеб. для физ. спец. университетов; под ред. А.А. Рухадзе. – М.: Высш. шк., 1988. – 424 с.

2. Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика. Дополнительные главы. – М.: Наука, 1980. – 504 с.

3. Дубровин А.С. Алгебраические свойства функций одномерных синусоидальных волн и пространство-время // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Физика. Математика. – 2013. – № 1. – С. 5–19.

4. Дубровин А.С. Модели и методы комплексного обеспечения надежности информационных процессов в системах критического применения: дис. … докт. техн. наук. – Воронеж, 2011. – 433 с.

5. Дубровин А.С. От эталонной модели защищенной автоматизированной системы к общей теории пространства-времени // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 7. – С. 37–41.

6. Дубровин А.С. Пространство-время и теоретическая физика: от идей симметрии в геометрии к идеям иерархичности в информатике // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – Часть 5. – С. 949–953.

7. Дубровин А.С. Пространство-время: от континуума к гиперконтинууму // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 7. – С. 42–45.

8. Дубровин А.С. Теоретико-групповое исследование гиперконтинуальных математических моделей // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2013. – № 1. – С. 71–76.

9. Дубровин А.С., Хабибулина С.Ю. От идеи Минковского о предустановленной гармонии между чистой математикой и физикой к идее о предустановленной гармонии между чистой математикой, информатикой и физикой // Журнал «Международный журнал экспериментального образования»: материалы Международной научной конференции «Фундаментальные исследования» 8–15 июня 2014 года, г. Акаба (Иордания). – 2014. – № 5. – Ч. 2. – С. 103–104.

10. Дубровин А.С., Хабибулина С.Ю. Принцип иерархичности в информатике и постулат постоянства скорости света в вакууме в теории относительности // Журнал «Современные наукоемкие технологии»: материалы международной научной конференции «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники» 20–26 октября 2014 года, г. Амстердам (Нидерланды). – 2014. – № 8. – С. 76–77.

11. Дубровин А.С., Хабибулина С.Ю. Принцип иерархичности в информатике и принципы физической относительности Галилея, Пуанкаре, Логунова // Журнал «Международный журнал экспериментального образования»: материалы Международной научной конференции «Фундаментальные исследования» 23–30 июля 2014 года, г. Истрия (Хорватия). – 2014. – № 5. – Ч. 2. – С. 137–139.

12. Дубровин А.С., Хабибулина С.Ю. Пространство-время и информатика: от критики континуума до критики принципа геометризации // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – Часть 4. – С. 714–718.

13. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977. – 622 с.

14. Dubrovin A.S. Application of the principle of hierarchy in computer science to representations about space-time in the theoretical physics // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2014. – № 1; URL: www.science-sd.com/456-24490.

15. Dubrovin A.S., Khabibulina S.Y. Space-time, the theoretical physics and the computer science: from geometry to criticism of the geometrization principle // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2014. – № 2; URL: www.science-sd.com/457-24642.