Equation of a wave in Galilean space

Уравнение волны в галилеевом пространстве

Valery Timin

(December 4, 2019)

Russia, RME

The main task of this work is a formulaic description of the wave propagation process in Galilean space (GP). The cases of isotropic wave propagation in an absolute reference system (ASO), the equation of wave propagation in inertial-term reference frame (IDF), wave propagation from moving source in its own ISO, ASO and ISO observer. Questions of Doppler effect and aberration are considered. When considering these issues, it is assumed that the source of the wave is not a point object, but is the source of a monochromatic wave that fills all space. It is also assumed that the wave source time and distance are synchronized with the GP time and distance.

The word "Galileo"is often used in the work. It is this word – perhaps, the main thing in this work. Galilean space, Galilean standard, Galilean metric. The practical physical model for the application (use) of these words and phrases is a fixed continuous (air, liquid, solid) medium – ASO, in which the wave propagates, and where this "air" medium is located is an empty absolute Galilean space. In itself, this medium is not an absolute inertial frame of reference, it can nahzoditsya in a state of arbitrary motion in the GP. But for propagating waves as independent entities when embedded in Galilean space, this is the current Galilean ASO.

A wave in a continuous medium (ASO) of GP can propagate only with one certain speed – the speed of sound. Once the waves are defined as entities, they can be considered separately from its basis, to forget about the existence of the material basis for its existence, leaving only the essential points of this fact. They are the frequency and speed of wave propagation. In this case, the wave as an independent object itself determines the ASO. In addition to waves, there may be non-wave objects in it, the speed of movement of which is not limited to the speed of sound. But in this work they are not considered.

The word "relativistic"is hardly used. This is the next level of abstraction of the independent existence of the wave.

(Translated by Yandex Translator Яндекс–Переводчик)

Уравнение волны в галилеевом пространстве

Оглавление

Главной задачей этой работы является формульное описание процесса распространения волны в галилеевом пространстве (ГП). Рассмотрены случаи распространения изотропной волны в абсолютной системе отсчета (АСО), уравнение распространения волны в инерциальной системе отсчета (ИСО), распространения волны от движущегося источника в собственном ИСО, АСО и ИСО наблюдателя. Рассмотрены вопросы эффекта Доплера и аберрации. При рассмотрении данных вопросов предполагается, что источник волны не является точечным объектом, а является источником монохроматической, заполняющей все пространство, волны. Также предполагается, что время источника волны и расстояния синхронизированы с временем и расстоянием ГП.

В работе очень часто используется слово "галилеево". Именно это слово – пожалуй, главное в этой работе. Галилеево пространство, галилеев эталон, галилева метрика. Практической физической моделью для применения (использования) этих слов и словосочетаний является неподвижная сплошная (воздушная, жидкая, твердая) среда – АСО, в которой распространяется волна, а то, где находится эта "воздушная" среда, есть пустое абсолютное галилеево пространство. Само по себе эта среда не является абсолютной инерциальной системой отсчета, она может нахходится в состоянии произвольного движения в ГП. Но для распространяющихся волн как самостоятельных сущностей при вложении в галилеево пространство это настоящее галилеево АСО.

Волна в сплошной среде (АСО) ГП может распространяться только с одной определенной скоростью – скоростью звука. После того, как определены волны как сущности, их можно рассматривать отдельно от ее основы, забыть о существовании материальной основы для ее существования, оставив только существенные моменты этого факта. Ими являются частота и скорость распространения волны. В этом случае волна как самостоятельный объект само определяет АСО. Кроме волн, в ней могут существовать и не волновые объекты, скорость движения которых не ограничена скоростью звука. Но в данной работе они не рассматриваются.

Практически не используется слово "релятивистское". Это – следующий уровень абстракции самостоятельного существования волны.

1. Волновая метрика

В ГП возможны 4 (четыре) вида метрики, описывающие ее геометрические свойства в различных случаях. Это

1) 1–мерный промежуток времени $d\tau = dt$,
2) 3–мерное расстояние $dl^2 = dr^2$ и
3) 4–мерный интервал ds:

$$ds^2 = g_{ij}\, dq^i dq^j \to c^2 dt^2 - dr^2, \tag{1}$$

где c – скалярная скорость распространения фронта волны в этом пространственном направлении,

dt – прошедшее время,

dr – пройденное фронтом волны за время dt расстояние,

4) 4–мерная линейная метрика – волновая разность фаз $d\varphi$ (инвариант распространения гармонического монохромного волнового процесса в с.с.):

$$\begin{gathered} d\varphi = \omega_0 dt + \omega_i dr^i = \omega\left(c_0 dt + c_i dr^i\right), \\ d\varphi^2 = \omega^2 (c^2 dt^2 - dr^2). \end{gathered} \tag{2}$$

где ω – частота волны,

c_i – ковариантная скорость волны,

ω_i – ковариантная координатная скорость волны.

Несмотря на различные формы записи, все четыре формы "генетически" тесно связаны между собой.

2. Уравнение волны и ее параметры

Расстояние между любыми двумя точками ГП можно измерить, приложив галилеевы линейки между этими двумя точками в одно и то же галилеево время, а время – с помощью галилеевых часов (устройство этих эталонов не является задачей этой работы). Основное свойство эталонов – при любом движении из произвольной точки A в произвольную точку B эталон не изменяет своих свойств, совмещаясь с другими (такими же) эталонами, прошедшими другими путями. Основное свойство галилеевых эталонов – независимость их параметров от скорости с.о., в которой они используются. Основное свойство ГП – абсолютность времени инвариантность "плоскости" одновременности, что выражается в неизменности координаты "время" при галилеевых преобразованиях координат.

Волна формально является периодической функцией своего параметра. Процесс существования волн сам по себе обладает инвариантными параметрами. Ими являются фаза φ волны в произвольной точке ПВ, начальная фаза φ_0 в начале координат и количество волн n между любыми двумя точками ПВ. Разность фаз $\Delta\varphi$ непосредственно связана с количеством волн n:

$$\begin{gathered} \Delta\varphi = 2\pi n, \\ n = \frac{\varphi}{2\pi}. \end{gathered} \tag{3}$$

Функционально волна в однородно параметризованном пространстве–времени t "распространяется" в соответствии с гармоническим уравнением

$$A = \sin\varphi = \sin 2\pi n = \sin(2\pi\omega t + \varphi_s),$$
$$\varphi = 2\pi\omega t + \varphi_s, \qquad (4)$$
$$n = \frac{\varphi}{2\pi} = \omega t + \frac{\varphi_s}{2\pi}.$$

Физически параметр **фазы волны *n*** тесно связан с **временем *t*** и **частотой ω**: это количество волн, разделяющих два значения времени – начала и конца отсчета времени. А параметр φ тесно связан с определенным выше интервалом s (1) для одной координаты t:

$$c \cdot d\varphi = 2\pi\omega ds = 2\pi\omega dt, \qquad (5)$$

где ω – частота (не круговая!) волнового процесса. Параметр φ выступает в роли универсального параметра состояния. Физический смысл ее – закономерное упорядочение на множестве состояний "фаза" пространства.

В многомерном пространстве процесс распространения волн также связан с определенным направлением распространения фронта волны и соответствующими параметрами. При наличии пространственных координат произвольная свободная не изотропная волна в неограниченном бесконечном ГП распространяется и вдоль пространственных направлений в соответствии с гармоническим уравнением

$$A(t, r^i) = A_s \sin[\varphi + \varphi_s] = A_s \sin[2\pi(\omega_0 t + \omega_i r^i) + \varphi_s]:$$
$$= A_s \sin[2\pi\omega(c_0 t + c_i r^i) + \varphi_s]: \qquad (6)$$
$$\omega_0\omega^0 + \omega_i\omega^i = 0,$$
$$\omega_i = \omega_0 c_i.$$

в котором ω - скалярная частота волнового процесса,

ω_0 – временная ковариантная частота волнового процесса,

ω_i – пространственная частота или направляющий ковариантный вектор волнового процесса,

c_i – пространственная ковариантная скорость распространения волнового процесса.

Уравнение (6) учитывает одновременно движение и наблюдателя, и источника волны. Даже начальная фаза φ_s может быть линейной функцией от координат (t, r^i). Но даже это не изменяет форму уравнения: она остается ковариантной исходному уравнению (6).

Уравнение (6) также одновременно выражает закон Гюйгенса для распространяющейся волны: однофазная поверхность или фронт волны перпендикулярен к направлению своего движения.

3. Выбор модельного пространства

Физическое модельное пространство ПВ – сплошная среда со свойствами абсолютности АИСО, в котором распространяются гармонические волны. Физически уравнение (6) выражает закон распространения волны в пространстве–времени с АИСО.

Модельное математическое пространство, в котором все это определяется – галилеево пространство с выделенным АИСО. Вопрос о возможных значениях параметров (c_0, c_i) решается просто: предельные ограничения на c_0 и c_i должны сниматься – иначе теряется смысл введения гармонического уравнения (6): уравнение (6) вырождается. Параметры c_0, c_i фактически определяют метрику пространства–времени в волновых единицах – количество эталонных волн частотой 1 Гц на единицу координатной оси t и пространственного направления, соответствующего направлению распространения.

Дополнительным условием могло бы быть снятие ограничения единственности скорости c в произвольном направлении. Это означает, что в этом направлении могли бы быть организованы множество волн с разными скоростями распространения. Но снятие такого ограничения либо вообще приводит к снятию вопроса построения ПВ – к чему мы стремимся, либо к выбору приоритетного из всех c. К тому же есть способы логически безупречного обхода этого выбора. Оно заключается в дополнении пространственных направлений дополнительными "виртуальными", "невидимыми" для макроразмерной физики координатными направлениями. В современной физике эти направления могут быть циклическими с очень малыми радиусами. Возможны и другие интерпретации, маскирующие эти дополнительные направления, например, "бранные" или потенциальные.

В ортонормированной синхронизированной со скоростью распространения фронта волны с.к. $c_0 = |c_i| = c = 1$. Такой с.о. является АИСО, синхронизированное по эталонам с волновым АИСО. В случае произвольной параметризации ПВ оно может быть не нормированным, и не только в этом случае – но и при переходе просто в другое ортонормированное галилеево ИСО. При переходе в другое ИСО, как известно, наблюдается эффект Доплера.

С т.з. математики уравнение (6) есть скалярная функция от координат ПВ, а в качестве параметра скалярной функции имеем скалярное произведение некоторого вектора – вектора направления распространения $2\pi\omega(c_0, c_i)$ на координаты точки ПВ плюс произвольная начальная фаза, что представляет скалярную фазу гармонической функции. Раз это скалярное произведение, то у него есть метрический тензор, и операции поднятия – опускания индекса. Раз мы имеем в виду ГП, то разрешены только галилеевы преобразования координат. Раз мы в ней ввели метрику – то это галилеево метрическое пространство (ГМП). В дополнение к своим "законным" метрикам – "промежуток времени" и 3–мерное "расстояние". В метрическом ГП метрический тензор и другие тензоры преобразуются по правилам преобразования тензоров галилеева пространства – благо, что она вполне определена. И в ней определена операция поднятия–опускания индексов тензоров и скалярного произведения с использованием этого метрического тензора.

Волновые эталоны являются однородными и изотропными. И это свойство в любом пространстве выполняется автоматически: длина волны эталона, измеренная в любом направлении, равна самой себе, при любых физических движениях, перемещениях и математических преобразованиях координат. Т.е. она обладает свойствами эталона. То же самое относительно скорости распространения волны c. Даже если они на самом деле не изотропны и не однородны с т.з. других видов эталонов. Для появления не изотропности и не однородности необходимо "измерять" волновые параметры какими то другими, не волновыми, эталонами. Примером не изотропного ПВ для волны является ГП: галилеева скорость волны в ней подчиняется галилееву правилу закона сложения скоростей и скорость волны в разных ИСО в разных направлениях (в т.ч. противоположных) может быть различной. Но если не знать о существовании ГП – то мы об этом можем и не догадаться.

Это свойство может генетически переходить и к ПВ и проявляться в ее свойствах. Например, волновой эталон длины в ИСО является направленным эталоном, зависимым от направления распространения волны. Но есть способ проверки не изотропности для противоположных направлении вектора распространения собственными волновыми эталонами: сравнить эталоны длины в двух противоположных направлениях подсчетом количества противоположно направленных волн между одними и теми же выделенными точками. Это свойство позволяет выявить волновое АИСО. Но не всегда это свойство может сработать, и это свойство зависит от типа пространства. В ортонормированном АИСО волна распространяется изотропно, в котором $c = 1$ в любом направлении.

Уравнение (6) означает, что частота ω является универсальным параметром волны, определяющим взаимную скорость изменения волнового процесса во времени, c – универсальная фундаментальная скорость, параметр c_0 – ковариантная скорость ее распространения во временном направлении, c_i – ковариантная скорость ее распространения во всех возможных направлениях. В связи с тем, что все эти параметры включаются в обобщающий их ковариантный векторный параметр (c_0, c_i), все они изменяются при переходе в другое ИСО по правилам преобразования векторов. Преобразования координат r^i и векторов c^i и c_i (и тензоров) в ГП производятся в соответствии с формулами

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = r^i - v_п{}^i t. \end{cases}$$
$$\begin{cases} c'^0 = c^0, \\ c'^i = c^i - v_п{}^i c^0. \end{cases} \qquad (7)$$
$$\begin{cases} c'_0 = c_0 + c_i v_п{}^i, \\ c'_i = c_i. \end{cases}$$

где $v_п{}^i$ – скорость новой ИСО относительно исходной.

Частота ω остается инвариантным параметром в силу ее глобальной скалярности, а фаза φ_0, несмотря на свою скалярность, преобразуется по особым правилам, т.к. она зависит от точки начала координат. Есть еще один интересный параметр – 1 (единица), которая появляется в уравнениях. Иногда она связывается с параметром $c_0 = 1$ как невидимый мультипликативный множитель при параметре $t \sim c_0 t$ или как элемент $c_0 v^0$ и в таком случае она должна преобразовываться соответствующим способом.

4. Уравнение волны АИСО в ИСО ГП

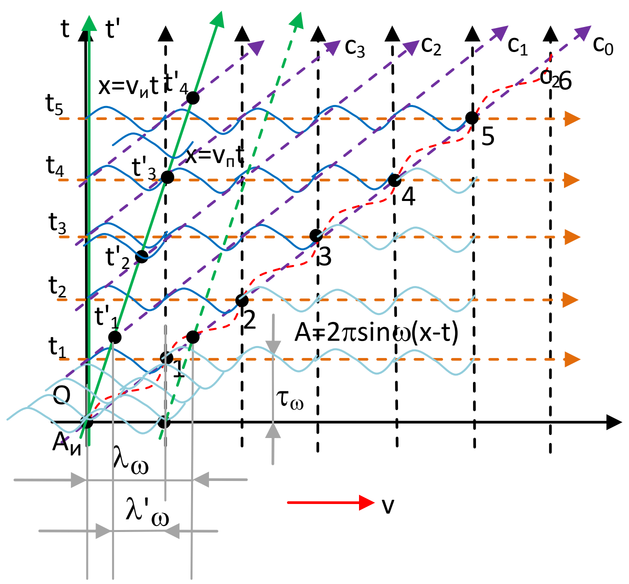

Рис. 1

Плоская одномерная бесконечная гармоническая волна от покоящегося источника $A_и$ в присутствии движущегося со скоростью $v_п{}^i$ приемника (ИСО). Для каждого момента условно показаны графики значения функции волны по оси *x*.

Уравнением изотропной волны в АИСО является уравнение (6). Движущийся приемник можно заменить на движущийся с той же скоростью ИСО. Для записи уравнения волны в с.о. ИСО мы должны учесть правила преобразования векторных параметров (7) к уравнениям (6). Также мы должны учесть "динамическое" изменение начальной фазы волны в ИСО. При наличии движущегося со скоростью $v_п{}^i$ наблюдателя (приемника) появляется дополнительный переменный источник к начальной фазе φ_0, связанный с движением начала координат ИСО (приемника). При равномерном движении ИСО (см. Рис. 1) начальная фаза (на линии $x = v_п{}^i t$) будет линейно зависеть от скорости и времени:

$$\begin{cases} \Delta t = 0, \\ \Delta r = vt, \\ \Delta\varphi_s = +2\pi\omega c_i v_п{}^i t. \end{cases} \qquad (8)$$

В результате получим следующие формулы преобразований уравнения распространения волны при переходе в ИСО (со штрихованными координатами), движущуюся со скоростью $v_п{}^i$:

$$
\begin{aligned}
(6) \to A(t, r'^i) &= A_s \sin\left[2\pi\omega\left(\left(c_0 - c_i v_\text{п}{}^i\right)t + c_i\left(r'^i + v_\text{п}{}^i t\right)\right) + 2\pi\omega c_i v_\text{п}{}^i t + \varphi_s\right] \to \\
&= A_s \sin\left[2\pi\omega\left(\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)t + c_i r'^i\right) + \varphi_s\right] \to \\
&= A_s \sin\left[2\pi\omega\left(\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)t + c_i{}' r^i\right) + \varphi_s\right] \to \\
&= A_s \sin\left[2\pi\omega\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)\left(t + \frac{c_i}{\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)} r'^i\right) + \varphi_s\right].
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Для частного случая изотропной волны в АИСО (9) уравнение волны в ИСО будет следующей:

$$
A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(1 + c_i v_\text{п}{}^i\right)\left(t + \frac{c_i}{\left(1 + c_i v_\text{п}{}^i\right)} r^i\right) + \varphi_s\right].
$$

Уравнения (9) говорят о том, что в ИСО (с т.з. приемника–наблюдателя) и частота, и скорость волны, и длина волны изменяются следующим образом.

$$
\begin{aligned}
\omega' &= \omega\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right), \\
c'_i &= \frac{c_i}{\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)}, \\
\lambda' &= \frac{c'_i}{\omega'} = \frac{c'_i}{\omega'} = \frac{c_i\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)}{\omega\left(c_0 + c_i v_\text{п}{}^i\right)} = \frac{c_i}{\omega}.
\end{aligned}
\tag{10}
$$

Эти уравнения выражают эффект Доплера по отношению к движущемуся со скоростью $v_\text{п}{}^i$ ИСО. Из (10) видно, что длина волны при этом не изменяется.

5. Движение ИСО перпендикулярно к направлению распространения волны

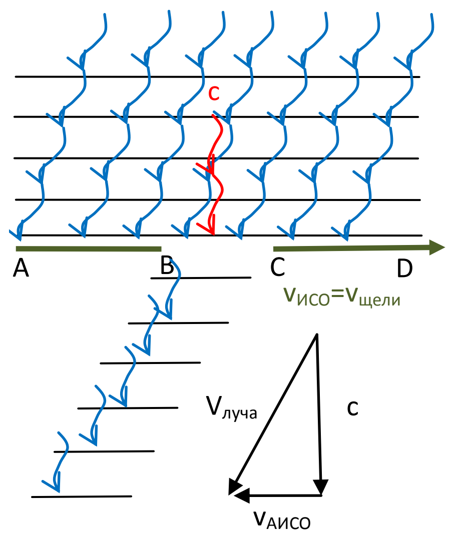

Рис. 2

Графическое изображение аберрации волн в движущемся ИСО. Волна движется в собственном АИСО (= ИСО источника).

При движении ИСО перпендикулярно к направлению распространения волны из (10) видно, что каких либо изменений с волной не происходит, т.к. $c_i v_\text{п}{}^i = 0$:

1) эффекта Доплера не будет наблюдаться: $\omega' = \omega$,

2) скорость волны (ковариантная) остается неизменной: $c'_i = c_i$,

3) длина волны остается неизменной: $\lambda' = \lambda$.

Но будет наблюдаться аберрация (я бы назвал – механическая)(Рис. 2), т.к. контравариантная скорость распространения волны подчиняется закону сложения скоростей (7) галилеева пространства:

$$
c'^i = c^i - v_\text{п}{}^i. \tag{11}
$$

Так отклоняются вертикально падающие капельки дождя по отношению к движущемуся автомобилю. Причем это верно при любой скорости $v_\text{п}{}^i \perp c^i$. При этом аберрации ковариантной скорости не происходит. Но такое возможно только в абсолютных пространствах типа галилеевых!

На Рис. 2 показан механизм образования эффекта аберрации. Здесь *ABCD* – бесконечная пластина с отверстием *BC*, движущаяся слева направо со скоростью $v_{ИСО}$. Черные тонкие горизонтальные линии условно соответствуют фронтам волн. Красная волнистая линия соответствует направлению движения фронта волны в соответствии с законом Гюйгенса со скоростью c_i. Синие волнистые линии моделируют направление движения волн c'^i в соответствии с (11). Через отверстие *BC* часть волн проходит из верхней полуплоскости в нижнюю. В результате визуально создается эффект "косого" движения "луча" после отверстия.

На Рис. 2 также можно увидеть еще один эффект движения перпендикулярного к направлению движения ИСО волны. Он заключается в том, что в ИСО получается видимость нарушения закона Гюйгенса при распространении луча волны – она как бы движется не перпендикулярно к фронту луча. Разрешение этого противоречия в том, что закон Гюйгенса в галилеевом пространстве работает только в с.о. АИСО. В ИСО кусок фронта волны распространяется так, как будто он находится в АИСО. Т.е. он не наследует скорость источника в ИСО, как ее наследуют галилеевы объекты – например, брошенные кем–то в ИСО перпендикулярно к направлению движения камни.

6. Уравнение волны в с.о. движущегося в ГП источника и ее параметры

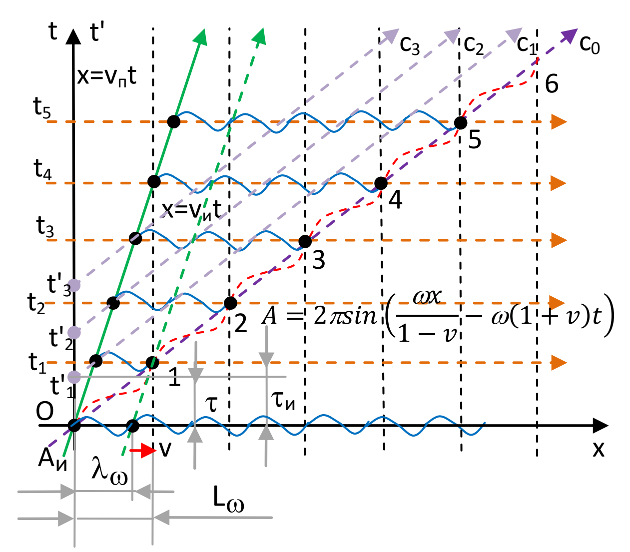

Рис. 3

Плоская одномерная бесконечная гармоническая волна от движущегося источника Аи. Для каждого момента условно показаны графики значения функции волны по оси *x*.

При равномерном движении источника в галилеевом пространстве изменяются скорость и плотность волны и в с.к. источника уравнение (6) должно быть записано в следующем виде (см. Рис. 3):

$$A'\left(t, r^i\right) = A_s \sin 2\pi\omega'\left(t' + c'_i r'^i\right) + \varphi'_s =$$
$$A'\left(t, r^i\right) = A_s \sin 2\pi\omega\left(t' + \frac{c_i}{1 + c_i v_и{}^i} r'^i\right) + \varphi'_s. \qquad (12)$$

В этом уравнении констатируются следующие факты (по сравнению с этими же параметрами в АИСО):

1) частота источника осталась без изменений: $\omega' = \omega_и = \omega$,

2) но соответствующая ей пространственная частота (плотность волн на единицу пространственной длины) c'_i

3) и соответствующая ей ковариантная скорость волны c'_i за счет эффекта Доплера изменились;

4) фаза волны не изменилась: $\varphi_s' = \varphi_s$,

но в с.о. АИСО появляется источник дополнительной переменной начальной фазы к $\varphi_s = -c'_i v_и{}^i t$ за счет смещения оси времени, влияющий на координатную частоту c_0. В силу приведенных соображений в с.к. АИСО уравнение (12) в запишется так:

$$A\left(t, r^i\right) = A_s \sin 2\pi\omega\left(t + \frac{c_i}{1 + c_i v_и{}^i}\left(r^i - v_и{}^i t\right)\right) + \varphi'_s =$$
$$= A_s \sin 2\pi\omega\left(t - \frac{v_и{}^i}{1 + c_i v_и{}^i} t + \frac{c_i}{1 + c_i v_и{}^i} r^i\right) + \varphi'_s = \qquad (13)$$

$$= A_s \sin 2\pi\omega\left(\frac{1}{1 + c_i v_{и}{}^i} t + \frac{c_i}{1 + c_i v_{и}{}^i} r^i\right) + \varphi'_s =$$

$$= A_s \sin 2\pi \frac{\omega}{1 + c_i v_{и}{}^i}\left(t + c_i r^i\right) + \varphi'_s.$$

7. Уравнение волны при движущихся источнике и приемнике относительно АИСО

А в с.к. ИСО наблюдателя, движущегося со скоростью $v_{п}{}^i$, кроме преобразований координат (7), добавится элемент смещения фазы $\varphi_s = -c'_i v_{п}{}^i t$ во времени:

$$A(t, r^i) = A_s \sin 2\pi \frac{\omega}{1 + c_i v_{и}{}^i}\left(t + c_i\left(r^i + v_{п}{}^i t\right)\right) + \varphi'_s =$$
$$= A_s \sin 2\pi \frac{\omega}{1 + c_i v_{и}{}^i}\left(\left(1 + c_i v_{п}{}^i\right)t + c_i r^i\right) + \varphi'_s = \tag{14}$$
$$= A_s \sin 2\pi\omega \frac{1 + c_i v_{п}{}^i}{1 + c_i v_{и}{}^i}\left(t + \frac{c_i}{1 + c_i v_{п}{}^i} r^i\right) + \varphi'_s.$$

Для частного случая изотропной волны в АИСО уравнение волны в АИСО будет следующей:

$$A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(t + c_i r^i\right) + \varphi_s\right]. \tag{15}$$

Для частного случая изотропной волны в АИСО уравнение волны в ИСО будет следующей:

$$A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(1 + c_i v_{п}{}^i\right)\left(t + \frac{c_i}{\left(1 + c_i v_{п}{}^i\right)} r^i\right) + \varphi_s\right]. \tag{16}$$

Для частного случая волны от движущегося источника уравнение волны в АИСО будет следующей:

$$A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(\frac{1}{1 + c_i v_{и}{}^i} t + c_i r^i\right) + \varphi_s\right]. \tag{17}$$

Для частного случая волны от движущегося источника волны в ИСО источника уравнение волны будет следующей:

$$A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(t + \frac{c_i}{1 + c_i v_{и}{}^i} r^i\right) + \varphi_s\right]. \tag{18}$$

Эти уравнения выражают эффект Доплера для движущихся со скоростью $v_{п}{}^i$ и $v_{и}{}^i$ в АИСО наблюдателя и источника волны.

8. Движение источника перпендикулярно к направлению распространения волны

При движении ИСО источника перпендикулярно к направлению распространяемой им волны каких либо изменений с волной не происходит, т.к. $c_i v_{п}{}^i = 0$ и эффекта Доплера не будет наблюдаться.

$$A(t, r^i) = A_s \sin 2\pi\omega \frac{1 + c_i v_{п}{}^i}{1 + c_i v_{и}{}^i}\left(t + \frac{c_i}{1 + c_i v_{п}{}^i} r^i\right) + \varphi'_s \rightarrow \tag{19}$$

$$A(t,r^i) = A_s \sin 2\pi\omega(1 + c_i v_{п}{}^i)\left(t + \frac{c_i}{1 + c_i v_{п}{}^i} r^i\right) + \varphi'_s \rightarrow$$

Из этого уравнения видно, что при движении источника перпендикулярно к направлению распространения волны от параметров источника остается только ее частота.

Сокращения и другие соглашения

(*) А – абсолютное, В – время, Г – галилеево, И – инерциальное, К – координаты, квантовая, М – механика, метрическое Н – ньютоново, неинерциальная, О – отсчета, относительности, общая, П – пространство, Р – релятивистская, С – система, специальная, Т – теория, тензоры, Ф – физика, Ч – частная,	АПВ – ПВ с абсолютным временем и пространством. АСО (АИСО) – абсолютная (инерциальная) система отсчета, ВП – волновое пространство, ГП – галилеево пространство, ИСО – инерциальная система отсчета – координатная с.о., полученная из исходного ортонормированным линейным преобразованием координат и тензоров (ЛПТК), ЛПТК – линейные преобразования тензоров и координат, МГП – метрическое галилеево пространство, ПВ – пространство–время, ПТК – преобразования тензоров и координат. СО, с.о. – система отсчета, СК, с.к. – система координат, (и.)т.д. – (и) так далее, (и.)т.п. – (и) тому прочие, в т.ч. – в том числе, т.з. – точка зрения.

1) *При использовании более чем одной буквы.
2) Выделение красным цветом в формуле может обозначать равный нулю элемент формулы или выражения.
3) По индексу в скобке типа "$_{(k)}$" или "$^{(k)}$" свертка не выполняется, но она привязана к соответствующему тензорному или другому индексу.

Литература

1. Гармоническая волна, https://ru.wikipedia.org/wiki/Гармоническая_волна (дата обращения: 14.11.2019).
2. Опыт Майкельсона [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Опыт_Майкельсона (дата обращения: 01.07.2019).
3. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : Наука, 1972. – 351 с.
4. Детлаф, А. А. Курс общей физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. Высшая школа, 2017. – 245 с.
5. Димитриенко Ю. И. Тензорное исчисление: Учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк.,

2001. – 575 с. 74.

6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: В 10 т. : т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с.
7. Тимин В. А. Эксперимент Майкельсона–Морли. URL: http://vixra.org/abs/1908.0574.
8. Тимин В. А. Уравнения распространения волн в различных пространствах. URL: http://vixra.org/abs/1908.0091.
9. Тимин В. А. Преобразования галилеевых тензоров. //Galilean Transformations of Tenzors, URL: http://vixra.org/abs/1907.0546.
10. Тимин В. А. The Equation of a Wave in Space of the Absolute Frame of Reference Уравнение волны в пространстве АСО. URL: viXra:1912.0007.

Мои работы

11. Тимин В. А. URL: http://vixra.org/author/valery_timin