

Galilean space and the Doppler effect

Галилеево пространство и эффект Доплера

Valery Timin

Creative Commons Attribution 3.0 License

(April 6, 2020)

Russia, RME

In Galilean space 3 (three) metrics describing its geometrical properties in various cases are possible. These are 1) 1-dimensional time interval, 2) 3-dimensional distance and 3) 4-dimensional wave interval. The main question of this work is: will we be able to determine some geometry by wave standards? Suppose there are two researchers (hereinafter-the objects "researcher", "observer", "experimenter" - identify: this is homo sapiens): can we measure the distance between them? Is it possible to measure the mutual velocity and its direction? And is it possible to synchronize his watch with mine? And what is clock synchronization? And in General – is there a synchronization problem? Are there inertial frames of reference outside absolute frames of reference? Is it possible to use wave standards of one ISO in other ISO and how do they differ?

The word "Galileo" is often used in the work. This word is the main thing in this work. Galilean space, Galilean standard, Galilean metric. Other main word-combinations are connected with the word "wave" - wave in Galilean space, Galilean wave space, wave standard, wave metric. Etc.

The practical physical model for the application (use) of these words and phrases is the fixed air medium in which the wave propagates, and where this "air" medium is located is the empty absolute Galilean space. In itself, this medium is not an absolute inertial frame of reference (hereinafter - AISO), but for propagating waves as independent entities it is a real AISO. A wave in a medium in Galilean space can propagate only with one specific velocity – the speed of sound. Once the waves are defined as entities, they can be viewed separately from its basis, forget about the existence of the material basis for its existence, leaving only the essential points of this fact. In this case, the wave as an independent object itself determines the AISO. Despite the possibility of independent groundless consideration of the existence of the wave, there is a risk of the existence of this basis.

In addition to waves, non-wave objects can exist in it, the speed of movement of which is not limited to the speed of sound. 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](#))

1. Оглавление

1. Галилеево пространство и эффект Доплера.....	2
1. Метрики галилеева пространства.....	2
2. Волновая метрика галилеева пространства.....	3
3. Волны в ГП. Постановка вопросов	5
4. Доплеровский эффект и альтернатива выбора АИСО	7
5. Локализация ИСО в АИСО	10
6. Взаимный доплеровский эффект и скорость	12
7. Поперечный эффект Доплера. Абберрация. Закон Гюйгенса.....	17
2. Сокращения и другие соглашения	20
3. Литература	21
8. Мои работы.....	21

1. Галилеево пространство и эффект Доплера

В ГП возможны 3 (три) метрики, описывающие ее геометрические свойства в различных случаях. Это 1) 1-мерный промежуток времени, 2) 3-мерное расстояние и 3) 4-мерный волновой интервал. Главный вопрос этой работы: сможем ли мы определить какую-то геометрию волновыми эталонами? Рассмотрены вопросы эффекта Доплера, aberrации и их использование для локализации в АИСО (далее - АИСО) и взаимной локализации. Предположим, имеются два исследователя (далее – объекты "исследователь", "наблюдатель", "экспериментатор" – отождествляем: это homo sapiens): можно ли измерить расстояние между ними? Можно ли измерить взаимную скорость и ее направление? И можно ли синхронизировать его часы с моими? И что такое синхронизация часов? И вообще – есть ли проблема синхронизации? Существуют ли инерциальные системы отсчета вне абсолютных систем отсчета? Можно ли волновыми эталонами одной ИСО пользоваться в других ИСО и чем они отличаются?

В работе очень часто используется слово "галилеево". Именно это слово – главное в этой работе. Галилеево пространство, галилеев эталон, галиллева метрика. Другие главные словосочетания связаны со словом "волна" - **волна в галилеевом пространстве**, галилеево волновое пространство, волновой эталон, волновая метрика. И т.д.

Практической физической моделью для применения (использования) этих слов и словосочетаний является неподвижная воздушная среда, 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, но для распространяющихся волн как самостоятельных сущностей это настоящее АИСО. Волна в среде в галилеевом пространстве 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. В этом случае волна как самостоятельный объект само определяет АИСО. Несмотря на возможность самостоятельного безосновного рассмотрения существования волны, есть риск существования этой основы.

Кроме волн, в ней могут существовать и не волновые объекты, скорость движения которых не ограничена скоростью звука. Практически не используется слово "релятивистское". Это – следующий уровень абстракции самостоятельного существования волны.

1. Метрики галилеева пространства

В произвольно параметризованном пространстве через метрику определяется расстояние между произвольными ее точками. В частности, между бесконечно близкими точками расстояние может быть определено через линейные и билинейные скалярные функции от координат:

$$\begin{aligned} ds &= g_i dq^i, \\ ds^2 &= g_{ij} dq^i dq^j. \end{aligned} \quad (1.1)$$

В ГП возможны 3 (три) различные по своим свойствам метрики, описывающие ее геометрические свойства в различных случаях. Из них две независимые метрики, совместно определяющие абсолютную метрику галилелева пространства, и одна не абсолютная.

- 1) Линейная метрика $d\tau = dt$ – время на мировой линии м.т., определяет собственную метрику ГП со свойствами однородности и изотропности, независимую от мировой линии:

$$d\tau = g_0 dt \quad (1.2)$$

или

$$d\tau^2 = g_{00}dt^2,$$

- 2) и 3–мерная метрика $dl^2 = dr^2$, которая определяет метрику 3–мерного подпространства ГП. Собственно она определяет 3–мерное расстояние между двумя точками 3–пространства в один и тот же момент времени. Ее полезность определяется тем, что 3–мерное подпространство является инвариантным, базовым, понятием, т.к. не изменяется при преобразованиях координат, и сама по себе однородна и изотропна:

$$dl^2 = dr^2: t = \text{const.} \quad (1.3)$$

В ГП эта метрика соответствует координатному времени t . Метрика $d\tau$ является инвариантной метрикой и определена между любыми точками пространства, независимо от галилеевых преобразований координат. Но метрика dl^2 определена только на плоскости одновременности $\tau = \text{const}$.

Эти два типа метрик в этой работе отдельно рассматривать не будем. А будем рассматривать ее в связи с описанием волновых явлений и связанной с этим волновой метрикой, точнее, волновым АИСО в ГП. Но отмечу: существование метрики в любом модельном пространстве в физическом плане предполагает существование технических, физических средств для их реализации. Эти средства должны обладать теми же свойствами, что и модельные метрически измеримые объекты рассматриваемого модельного пространства. Или должны иметь обоснование своей изменчивости.

2. Волновая метрика галилеева пространства

- 3) Кроме двух предыдущих чисто галилеевых метрик, приведенных выше и подчиняющихся принципу относительности (однородность и изотропность), в ГП может существовать еще одна метрика – метрика АИСО. Это билинейная невырожденная метрика

$$ds^2 = c^2dt^2 - dr^2. \quad (1.4)$$

Физическим аналогом реализации этого типа метрики является выделенная с.о. "сплошная среда". Ее выделенность проявляется в том, что скорость распространения волн "с" в условно покоящейся среде численно одна и та же в любом направлении. Такая с.о. является АИСО – абсолютной инерциальной с.о. для волн. Буква "И" может говорить о ее материальности. Для АИСО характерно то, что для фронта распространяющейся в ГПВ волны всегда и везде выполняется уравнение

$$c^2dt^2 - dr^2 = 0. \quad (1.5)$$

Целесообразность введения данной метрики в общем то прикладная и определяется тем, что в сплошной среде фронт волны возмущения распространяется именно с этой постоянной скоростью "с" и координаты фронта этой волны в любой момент времени с момента своего возникновения определяются именно этим ковариантным "метрическим" условием.

Это изотропное метрическое условие в ГП, выделяющая некоторое ИСО как выделенная АИСО. Основная особенность ее в том, что в этой с.о. существует скалярный параметр "фундаментальная скорость" "с". Все другие ИСО в этом смысле являются не изотропными: "фундаментальная скорость" "с" в них зависит от направления.

При переходе в ИСО ГП наблюдается эффект абсолютности – скорость распространения волны меняет свое значение и становится зависимым от направления (не изотропным), подчиняясь аддитивному закону сложения скоростей в ГП.

$$c' = c - v. \quad (1.6)$$

Как следствие, отсюда можно сделать вывод, что и время распространения волны между двумя точками будет зависеть от скорости ИСО.

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c'}. \quad (1.7)$$

Но есть еще одно фундаментальное свойство волны – не существует других волновых процессов с другими скоростями распространения. Ну разве что подчиняющихся другим независимым физическим принципам своего формирования, проявляющимся параллельно в этом же пространстве.

Кроме "прикладного" значения, у этой метрики при c , равной скорости распространения волны, имеется и фундаментальное для всей физики значение. Это скорость света.

На основании равенства (1.4) для любых двух точек пространства в этом АИСО определен метрический тензор (1.8). Причем скорость " c " является фундаментальной характеристикой ГП с волновой АИСО. Далее в работе значение этого параметра принимается равным 1. Для скорости это соглашение заключается в подмене для пространственных координат $r^i \rightarrow r^i/c$ и для скорости $v^i \rightarrow v^i/c$. В матрично-тензорном виде эта метрика будет представлена в виде:

$$g_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

На основании этой метрики между любыми точками пространства определена, но при определенных условиях – а именно, при нахождении в АИСО – операция сопряжения векторов и операция поднятия–опускания индексов:

При переходе в ИСО ГП псевдоединичный диагональный ковариантный метрический тензор g_{ij} (1.8) не сохраняет свою структуру, кроме своей симметрии:

$$g'_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - v_0^n v_0^m E_{nm} & -v_0^n E_{nj} \\ -E_{im} v_0^m & -E_{ij} \end{pmatrix} \rightarrow \quad (1.9)$$

$$g'_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - v^2 & -v_{0j} \\ -v_{i0} & -\delta_{ij} \end{pmatrix}.$$

Учитывая, что $v^i = -v_{i0}$, эти уравнения можно записать через скорость штрихованного ИСО:

$$g'_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - v^2 & v \\ v & -E_{ij} \end{pmatrix}. \quad (1.10)$$

(см. Timin V.A. Galilean Transformations of Tensors, URL: <http://vixra.org/abs/1910.0602>) А это означает, что в движущейся с.о. (ИСО) в ГП псевдометрика, определенная в одной из ИСО – а именно, в АИСО – изменяет значения своих элементов, что с точки зрения метрики АИСО означает переход в не ортонормированную с.о. из изначально ортонормированной с.о. АИСО: ее детерминант равен 1. Но этот тензор не является единичной диагональной матрицей и след ее не равен 2! НО! Возможно, есть другое – не галилеево – пространство, в которой это не так. По законам линейной алгебры, для любой метрики существует преобразование координат, диагонализующее ее. И для нашей метрики это не обязательно тождественно обратное преобразование. Но это уже о другом.

Далее я намеренно буду использовать как модельную "звуковую волну" и "фундамен-

тальную скорость ее распространения" (или просто "волновую" волну) $c \sim 340$ м/с, а не световую, в качестве посредника в изучении и получении информации об окружающем мире. Цель – более доступно и выпукло обозначить проблему познания внешнего "волнового" мира доступными средствами и понятиями. В известной нам физике вместо "скорости звука" выступает фундаментальная скорость распространения взаимодействий $c \sim 3 \cdot 10^8$ м/с и соответствующая ей метрика, и появляется проблема невосприятия нетривиальных метрических отношений.

3. Волны в ГП. Постановка вопросов

Формулы метрики (1.4), (1.5), (1.8) определены в определенной, выделенной с.к., которую можно назвать "абсолютной" с.о. или АИСО, связанный с распространением волн в с.с. Ее смысл в том, что существует некоторый "конус инвариантности", и этот конус остается физическим инвариантом в любой другой с.к. Физически это множество точек пространства, в которых может оказаться объект, движущийся со скоростью "с", отправленный с вершины конуса. Таким объектом является фронт волны (звука, света), движущийся с постоянной скоростью "с" от точки испускания.

Здесь возможны два варианта использования этого факта.

1. **Это просто фронт волны**, каждый элемент которой движется независимо от других в пространстве, равноправный с другими, но со своим особым свойством движения (1.5), в котором могут находиться и другие не волновые м.о., движущиеся с любой другой произвольной скоростью. Пример такой системы – воздушное пространство на поверхности Земли, в котором распространяются звуковые волны с постоянной скоростью звука, а также движутся другие объекты не волновой природы – люди, автомобили, сверхзвуковые самолеты – причем с произвольной не ограниченной скоростью звука скоростью. Воздушная среда в этом случае выступает как АИСО. Она и сама одновременно объект.

Особенностью движения фронта волны является независимость движения каждого элемента от других в соответствии с законом Гюйгенса. И в коллективном движении всех элементов волны проявляется другой закон движения – волна в АИСО(!) распространяется перпендикулярно к своему фронту со скоростью c . Если уравнение гармонической волны определяется уравнением

$$A = \sin\varphi(t, r),$$

а ее распространение в ПВ - гармоническим уравнением

$$A = \sin 2\pi\omega\left(t - \frac{kr}{c}\right),$$

то фронт волны определяется как множество одновременных точек с одной и той же фазой $\varphi = kr = \text{const}$ при $t = \text{const}$ (в данном случае фронт движется вправо).

2. А если **есть только звуковая волна** – и больше ничего? Ни автомобиля, ни ракет, ни поверхности Земли, ни звездного неба. Сплошной воздух – везде и всюду. И не просто воздух. А есть только **1) волны, фронт волны, волновой луч, волновой пучок, распространяющийся с постоянной скоростью c** , и **2) устойчивый волновой объект определенной формы и размеров** как материальный объект. И есть взаимодействие между этими звуковыми волновыми объектами.

Какая метрика существует в этом пространстве? В первом случае существует простая галилеева метрика – dt и dl , позволяющая иметь абсолютное одномерное время и инвариантную плоскость одновременности – привычное нам 3–мерное пространство. А инвариант (1.5) – просто инвариант для фронта звуковой волны, одного из множества м.о, и звуковая волна

не применяется как основной и единственный инструмент для измерений или даже вовсе не применяется. Время и расстояние измеряются галилеевыми эталонами, которые имеют способность принимать и передавать информацию с бесконечной скоростью, по крайней мере, в сравнении со скоростью звука.

Во втором случае такого эталона (и метрики) нет. Вопрос: есть ли связь между галилеевым пространством и волновым процессом?

Что такое устойчивый волновой объект? В данном выше контексте ее можно определить так.

Устойчивый – это значит, с постоянными во времени и пространстве пространственными параметрами: длиной, шириной, глубиной и внутренней структурой. И даже траекторий. Это значит, что возможно существование **эталонной звуковой волны** определенной частоты и источник этой эталонной звуковой волны, с помощью которого однозначно определяются волновые эталоны длины и времени. С помощью этого эталонного объекта можно организовать процесс изучения через измерение объектов Физической Природы сравнением с этим эталоном и определить геометрию волнового пространства. **А если есть две геометрии со своими параметризациями, то есть и соответствующие преобразования между ними.** И это преобразование должно быть линейным.

Что можно сделать с помощью только этих "звуковых" волновых эталонов?

Есть волны сами по себе. Есть и другие объекты.

А может быть есть и сверхзвуковые самолеты, и другие не волновые объекты. А взаимодействовать можем только звуком. И видеть можем только звуком. И измерять можем только звуком. Что мы увидим? Что мы измерим?

Опять же, находясь в ГП и используя галилеевы эталоны, можно выделить некоторую "абсолютную с.о.", в которой скорость звуковых волн не зависит от направления. Используя волновой эталон в состоянии покоя в этом абсолютном пространстве, мы можем провести все измерения в этой абсолютной с.о. и этим эталоном наравне с "галилеевым". При этом мы можем выбрать (синхронизировать) волновые эталоны так, чтобы получить те же результаты в галилеевом АИСО в состоянии покоя, в статике. Но что будет, если мы перейдем в ИСО? Здесь можно гарантировать, что результаты, получаемые "галилеевым" эталоном, не изменятся. Но гарантировать эти же результаты относительно волновых эталонов по сравнению с галилеевыми мы не можем. Можно ли волновыми средствами выделить эту абсолютную с.о.? Можно подумать, что можно – всего лишь надо измерить скорость звуковых волн в разных направлениях. Но можно ли выяснить, какая скорость звука в каждом направлении? Сами волны мы "видим", но "среду" ее распространения в форме "абсолютной с.о." мы не "видим". Для такой возможности необходимо "чувствовать" основу – абсолютную с.о. пространства, взаимодействовать с ней. Есть же в конце концов объекты не волновой природы – например, автомобили, камни в конце концов. Они испытывают сопротивление при движении в среде. Но предположим, что и сопротивления среды нет. Если бы у нас была такая возможность, **мы смогли бы измерить собственную скорость в АИСО и локализовать себя в ней**, привязаться к АИСО. Привязаться – означает измерить собственную скорость относительно АИСО и расстояния (локализацию) до других объектов. А это все делается измерениями.

Чем, какими инструментами мы можем располагать для измерений? Если мы сами галилеевы объекты, а не волновые, то можем воспользоваться галилеевыми эталонами, выраженными в длинах галилеевых объектов, и, в принципе, мы должны быть способны измерить галилеевы объекты и параметры волны – это соответствует временной и пространственной метрикам ГП. Это с нами происходит на Земле. В воздухе.

А если мы волновые объекты "твердой среды", в которой перемещаться (распростра-

няться?) могут только волны звука? Хотя нет – в них могут быть дефекты, которые в принципе могут передвигаться с очень маленькой скоростью. Следовательно, в твердой среде галилеевы объекты могут присутствовать и даже волны на них могут рассеиваться. Но перемещаться они не могут. А если и дефектов нет?

А если **галилеевы эталоны** принципиально недоступны и все, что вижу – **вижу только посредством звуковых волн**? С помощью звукового зрения отраженных и интерферирующих (в т.ч. нелинейно) звуковых волн, посредством локации, как летучие мыши. Ну а если я сам "волновой объект"? Я не автомобиль, не самолет, не камень, а – волна. Я – ветер, ограниченная стоячая волна. Но я локализован, дискретен, разумен и могу измерять и делать выводы из этого. Какая–то локализованная и хорошо организованная (по каким причинам – не уточняется). Единственное, что я могу видеть, чувствовать и измерить – определяется понятиями "частота" и "длина волны" (точнее, "количество длин волн в пространстве или периодов во времени"), которые, возможно, согласованы с этими же понятиями с т.з. условного АИСО–шника в состоянии покоя. Процесс измерения для меня определяется через "звуковую волновую локацию", "обмен звуковыми сигналами" и измерение параметров этих звуковых (отраженных или обменных) волн.

Суть **процесса измерения расстояний** заключается в определении (подсчете) количества длин волн определенного выше волнового эталона, укладываемых на длине (ширине, глубине) объекта. Суть **процесса измерения промежутка времени** заключается в определении (подсчете) количества колебаний волн определенного выше эталона за измеряемый промежуток времени. Из этого процесса измерения можно сделать вывод, что в процессе измерения информация получается именно со скоростью распространения волнового процесса.

Зависит ли результат измерения от состояния движения эталона/объекта измерения?

Если бы мы находились в ГП и производили измерения с помощью волн, то однозначно сказали бы, что "да". Хотя бы потому, что существует доплеровский эффект. И оно зависело бы от скорости и направления движения. Но мы бы всегда имели возможность скорректировать результаты измерений, используя галилеевы эталоны в ГП. Но галилеевых эталонов у нас нет. У нас есть только длина волны и ее продолжительность в этих же самых единицах.

Главный вопрос: сможем ли мы определить какую–то геометрию со своими волновыми эталонами? Предположим, имеются два исследователя: можно ли измерить расстояние между ними? Можно ли измерить взаимную скорость и ее направление? И можно ли синхронизировать его часы с моими? С АИСО–шными? И что такое синхронизация часов? И вообще – есть ли проблема синхронизации? Существуют ли ИСО вне АИСО? Можно ли моими эталонами пользоваться в других с.о.?

Ответ простой: волновое пространство с волновыми эталонами длины и времени с волновыми ИСО существуют. Вопрос связи с галилеевым пространством и ее эталонами кроется в ответе на вопрос о взаимной синхронизации их эталонов.

4. Доплеровский эффект и альтернатива выбора АИСО

Для расчета Доплеровского эффекта важно рассмотреть вопрос синхронизации волнового процесса с галилеевыми. **Определим синхронизацию волновых процессов (и эталонов) в галилеевом пространстве** следующим образом. В состоянии покоя они синхронизованы естественным образом через длину волны и продолжительность одного такта частоты источника волны эталонной частоты, что в принципе означает дополнительно изотропность скорости волны в любом направлении. Также постулируем абсолютность времени: время по галилеевым эталонам совпадает с временем в волновых эталонах. **Это не просто предположение – это значит, что все технические средства, основанные как на галилеевых эталонах, так и на волновых явлениях – реально отсчитывают одно и то же время в со-**

стоянии любого движения. Для волновых источников эталонной частоты это означает, что в состоянии любого движения длительность формирования одного периода волны не изменяется по галилеевым часам. Причиной такой синхронизации может быть прямая зависимость волновых эталонов времени от галилеевых, но не будем уточнять этот момент. Примем это как постулат. В земных условиях для звуковых волн этот постулат вполне справедлив.

Волновые эталоны длины, как отмечено выше, синхронизированы естественным образом через длину волны в АИСО. Но в состоянии движения, как показывает опыт, частота и длина волны не совпадают с их галилеевыми значениями в АИСО. И волновой эталон длины при этом не остается абсолютным. А галилеевы эталоны при этом остаются неизменными. Проявляется эффект Доплера.

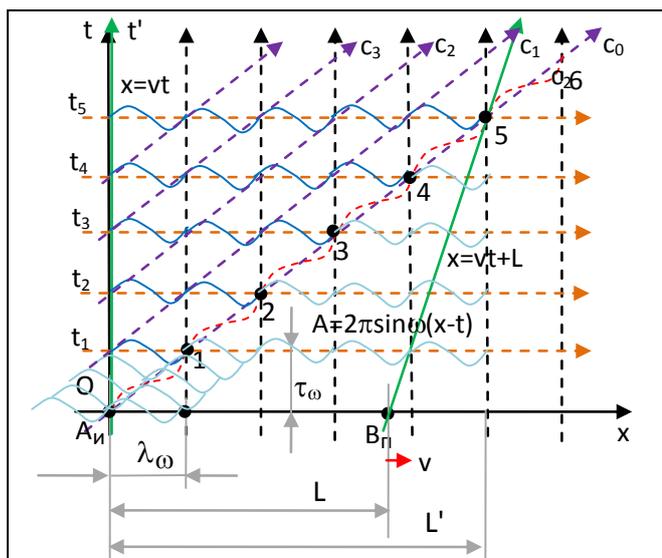


Рисунок 1.1

Эффект Доплера при движущемся эталонном приемнике B_n и покоящемся источнике A_n . Частота, измеряемая приемником, и другие параметры волны зависят только от скорости приемника v_n .

Еще один фактор абсолютности времени проявляется при формировании волны и имеет причиной конечные размеры объектов, формирующих волну. Синхронное формирование волны таким объектом означает, что все точки ее одновременно в соответствии с абсолютным временем формируют одну и ту же или контролируемую по абсолютным часам фазу волны. Если волну формирует точечный объект – вопросов нет. Если волну формирует не точечный (линейный, плоский объект или пространственный) объект – то все ее точки синхронно по абсолютным часам формируют одну и ту же или контролируемую по абсолютным часам фазу волны. Пример: двумерная пластина (диффузор громкоговорителя) колеблется в воздушной среде перпендикулярно к своей плоскости, причем эти колебания происходят по всей ее поверхности одновременно, т.е. синхронно.

Замечу: реальные волновые часы могут и не соответствовать этим часам: широко

известный пример – СТО. Ну а синхронизация волновых эталонов с галилеевыми необходима в данной главе для их независимого применения, безотносительно к тому, существуют или нет галилеевы эталоны, и в конечном счете, возможно ли исключительно по ним выявить АИСО.

Эффект Доплера в ГП с т.з. движения волны в ПВ в форме уравнения $A = \sin(\omega(t - vx/c^2))$ с различными свойствами эталонов подробно рассмотрены в статье [Timin V. A. Wave Propagation Equations in Spaces with Different Metrics // Уравнения распространения волн в различных пространствах, URL: <http://vixra.org/abs/1908.0091>]. Он заключается в том, что движущийся со скоростью v измерительный прибор B измерит частоту волнового процесса от источника A , отличающуюся от ее частоты в АИСО, в которой она распространяется изотропно (Ошибка! Источник ссылки не найден.). Под "волновым процессом от источника" здесь понимается периодический волновой процесс, распространяющийся при положительном значении направления ее распространения (скорости) по направлению оси координат x . Это равносильно расположению источника бесконечно далеко со стороны с меньшими значениями координаты x по сравнению с координатой приемника.

Для рассмотрения и изучения эффекта Доплера расположим приемник справа, а источник бесконечно далеко слева, ось движения волны направим вправо. Рассчитаем для движущегося со скоростью $v_{\text{п}}$ приемника изменение частоты, длины волны и других параметров для одномерного случая по отношению к покоящемуся (слева) в АИСО источнику волн при $c = 1$ равно (см. Таблица 1.2, Рисунок 1.1). Основным моментом здесь является скорость волны относительно приемника: $c_{\text{п}} = c - v_{\text{п}}$:

Таблица 1.1

С т.з. источника	С т.з. приемника	(1.11)
$c_{\text{и}} = c = 1,$	$c_{\text{п}} = c - v_{\text{п}},$	
$\omega_A = \frac{\omega c_{\text{и}}}{c} = \omega,$	$\omega_B = \frac{\omega c_{\text{п}}}{c} = \omega \left(1 - \frac{v_{\text{п}}}{c}\right),$	
$\tau_A = \frac{1}{\omega},$	$\tau_B = \frac{1}{\omega_B} = \frac{c}{\omega(c - v_{\text{п}})},$	
$\lambda_A = \frac{c_{\text{и}}}{\omega} = \frac{c}{\omega},$	$\lambda_B = \frac{c_{\text{п}}}{\omega_B} = \frac{(c - v_{\text{п}})}{\omega \left(1 - \frac{v_{\text{п}}}{c}\right)} = \frac{c}{\omega}.$	

Из Таблица 1.2 видно, что с т.з. приемника изменились измеряемая приемником частота получаемого сигнала, длительность волны и ее скорость от А до В. Длина волны не изменилась. Скорость хода часов не изменилась – по условию галилеевой синхронизации. Здесь

$\omega = \omega_A$ – частота передатчика (соответствует галилеевой частоте),

ω_B – частота, измеренная приемником,

$c_{\text{и}}, c_{\text{п}}$ – скорости волны с т.з. источника и приемника,

λ_A, λ_B – длины волн, измеренные источником и приемником по галилеевым эталонам ($c = 1$),

τ_A, τ_B – длительность одной волны.

А для движущегося в АИСО передатчика по отношению к покоящемуся (справа) приемнику в том же направлении измеренные параметры волны будут равны (см. Таблица 1.2, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**):

Таблица 1.2

В условном АСО	С т.з. источника	С т.з. приемника	(1.12)
c	$c_{\text{и}} = 1 - v_{\text{и}}$	$c_{\text{п}} = c = 1$	
$\omega_{\text{АСО}} = \omega(1 + v_{\text{и}})$	$\omega_A = \omega$	$\omega_B = \omega \frac{1}{1 - \frac{v_{\text{и}}}{c}}$	
$\tau_{\text{АСО}} = \frac{1}{\omega_{\text{АСО}}} = \frac{1}{\omega(1 + v_{\text{и}})}$	$\tau_A = \frac{1}{\omega}$	$\tau_B = \frac{1}{\omega_B} = \frac{1 - \frac{v_{\text{и}}}{c}}{\omega}$	

$\lambda_{\text{ИСО}} = \frac{c}{\omega_B} = \frac{c - v_{\text{И}}}{\omega}$	$\lambda_A = \frac{c_{\text{И}}}{\omega} = \frac{c - v_{\text{И}}}{\omega}$	$\lambda_B = \frac{c}{\omega_B} = \frac{c}{\omega \frac{1}{1 - \frac{v_{\text{И}}}{c}}} = \frac{c - v_{\text{И}}}{\omega}$
-------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В Таблица 1.2 не совсем ожидаемым оказалось то, что длина волны не зависит от скорости

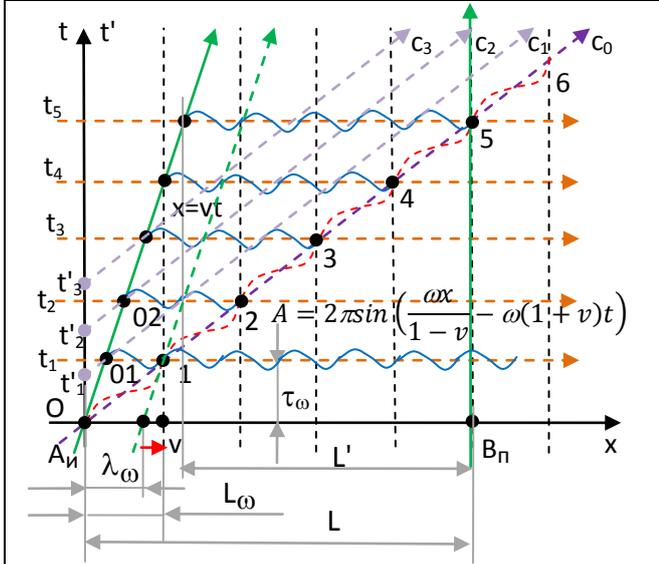


Рисунок 1.2

Эффект Доплера при движущемся эталонном источнике $A_{\text{И}}$ и покоящемся приемнике $B_{\text{П}}$. Частота, измеряемая приемником, и другие параметры волны зависят только от скорости источника волны $v_{\text{И}}$.

приемника. Ожидалось, что $\lambda' = c/\omega' \neq \lambda$. Действительно, было бы логично, что если приемник движется вправо, а волна его догоняет, то никак не сможет догнать его за один период и/или длину волны источника. При стремлении скорости приемника к скорости волны это расстояние все более и более удаляется и стремится к бесконечности. На Рисунок 1.2 это соответствует длине L' . Но эта длина соответствует всего лишь расстоянию между разновременными точками, поэтому оно не отражает длину волны.

Напомню: частота источника ω в ГП с эталонами, синхронизированными с галилеевыми абсолютными, не зависит от ее состояния движения. Для движущегося источника волн такая синхронизация означает, что независимо от скорости начало фронтов каждой волны формируются в моменты времени

$$t_n = n/\omega + t_0,$$

где t_0 – время начала формирования первой волны, а координата точки формирования волны линейно зависит перемещается от времени:

$$x_n = n \cdot \tau_{\omega} \cdot v.$$

И длина волны зависит только от скорости передатчика. Поэтому длина волны определяется по формуле, не зависящей от скорости приемника:

$$\lambda = c/\omega.$$

Комплексный эффект будет равен

$$\omega'_{AB} = \omega \frac{1 - v_{\text{П}}}{1 - v_{\text{И}}}. \quad (1.13)$$

5. Локализация ИСО в АИСО

Можно ли эффект Доплера использовать для собственной локализации в АИСО? Локализацию источника в АИСО можно определить, воспользовавшись формулой галилеевой длины волны λ от движущегося источника (1.12):

$$\lambda_A = \frac{c_{\text{И}}}{\omega} = \frac{c - v_{\text{И}}}{\omega} \rightarrow v_{\text{И}} = c - \lambda_A \omega. \quad (1.14)$$

Для этого надо иметь галилееву линейку для возможности измерения галилеевой длины вол-

ны. Но линейки у меня нет, и единственное, что я могу сделать для этого – это измерить частоту ω_B или ω_{AB} с помощью используемого мною волнового эталонного частотомера.

Из (1.11) и (1.12) можно однозначно определить соответственно скорость приемника относительно покоящегося передатчика или скорость передатчика относительно покоящегося приемника по отношению частот:

$$\begin{aligned} v_{\text{п}} &= \left(1 - \frac{\omega_B}{\omega}\right) c, \\ v_{\text{и}} &= \left(\frac{\omega}{\omega_B} - 1\right) c. \end{aligned} \tag{1.15}$$

или через длительность периода волны из (1.12):

$$\begin{aligned} v_{\text{п}} &= c \left(1 - \frac{\tau_B}{\tau}\right), \\ v_{\text{и}} &= c \left(1 - \frac{\tau}{\tau_B}\right). \end{aligned} \tag{1.16}$$

Из уравнения (1.13) видно, что для того, чтобы определить собственную скорость $v_{\text{п}}$, надо знать скорость источника $v_{\text{и}}$, и наоборот:

$$\begin{aligned} v_{\text{п}} &= 1 - \frac{\omega'_{AB}(1 - v_{\text{и}})}{\omega}, \\ v_{\text{и}} &= 1 - \frac{\omega(1 - v_{\text{п}})}{\omega'_{AB}}. \end{aligned} \tag{1.17}$$

Но чтобы воспользоваться этими формулами, необходимо знать, кто – источник или передатчик – находятся в состоянии покоя в АИСО. Действительно, из формул (1.14) – (1.17) видно, что в них недостаточно параметров для определения скорости исследователя в АИСО. В них для этого необходимо знать, кто из них – приемник или передатчик – находятся в состоянии покоя относительно АИСО. В (1.17) для решения поставленной задачи можно принять значение одной из скоростей за известное, что означает, что этот исследователь находится в соответствующем состоянии движения относительно АИСО, вполне можно вычислить другую скорость относительно этого АИСО. Но остается альтернатива выбора "главного АИСО-шного" исследователя: их столько, сколько исследователей!

Таким образом, из измерений временных параметров эталонной волны приемником (частота, период), генерируемой движущимся источником, невозможно определить ни абсолютную, ни относительную скорости объектов – приемника и источника.

Напомню: эти формулы получены для волн галилеева пространства с использованием галилеевых абсолютных эталонов времени и длины. И еще существенные замечания: 1) время (и частота) эталонных источника и приемника волн волнового пространства также синхронизированы с галилеевым эталоном времени. Как следствие, моменты времени формирования начал фронтов источником не зависят от ее скорости. 2). А вот галилеева длина волны в каждый момент абсолютного времени определяется частотой и скоростью источника волн. и в данном случае не является абсолютной, потому что место формирования новой волны постоянно смещается со скоростью движения источника (см. Рисунок 1.2, точки O и O, 01 и 1, 02 и 2).

Т.к. в АИСО в состоянии покоя все эталоны являются равноправными и взаимно синхронизированными, то я могу предположить и принять, что **в отсутствие моей "связи" (или локализации) с галилеевым АИСО, в моей собственной с.о. (ИСО) мой волновой**

эталон также остается эталоном – эталоном частоты, времени и длины. Для меня! Других эталонов у меня нет. И галилеевых эталонов длины вблизи меня тоже не просматривается. Но для этого я должен постулировать, что используемый мною эталон остается эталоном и в состоянии движения. Пусть даже динамически изменяющимся, но одним и тем же в состоянии одного и того же движения. При этом я не знаю, как соотносятся (синхронизируются) мои эталонные источник и приемник с абсолютными эталонами АИСО в движении. Но я знаю, что они синхронизированы между собой в состоянии взаимного покоя. Это знание не позволяет мне выделить эту АИСО, но я знаю, что наши часы синхронизированы.

Для справки: в нашем физическом пространстве и в рассматриваемом пространстве в системе единиц СИ эта скорость "с" точно равна 299 792 458 м/с. Эталон секунды соответствует 9192631779 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Как видно, используемый нами эталон является волновым. В соответствии с этим определением эталонов длины и времени я могу пользоваться только этими же определениями в любой другой ИСО, т.к. у меня нет других "реперов", идентифицирующих галилеево выделенное АИСО. **И скорость распространения волн в любой сопутствующей мне ИСО могу принять за фундаментальную константу и обозначить "с".**

В системе звуковых эталонов в воздухе это будет около 331 м/с, в воде около 1500 м/с, в железе – 5850 м/с (с твердыми средами имеется известная проблема – скорости продольных и поперечных волн различаются, а в жидких и особенно в газовых средах поперечной волны нет). Даже несмотря на зависимость АИСО-шной скорости звука от температуры, давления, плотности и даже материала. И это мое ощущение подтверждается следующим эффектом (см. следующий параграф), и мой эталон могут принять и применять все другие покоящиеся и не покоящиеся относительно меня исследователи для определения собственной скорости относительно меня, сравнивая с собственными.

6. Взаимный доплеровский эффект и скорость

Пусть оба исследователя используют один и тот же галилеев волновой эталон частоты. Вопрос: возможно ли измерить их **взаимную лучевую скорость** и скорость в АИСО, **используя взаимный доплеровский эффект** (см. выше)? При этом необходимо допустить, что технически возможно подсчитать количество длин волн между двумя исследователями и измерить разность частот двух сигналов: раз есть возможность создать волновой эталон, то это допущение тоже можно считать доказанным.

Для решения данной задачи в АИСО мы рассмотрим случай двух движущихся с одинаковой скоростью v источников и приемников A и B , облучающих друг друга волной определенной эталонной частоты ω в одномерном пространстве (см. Рисунок 1.3):

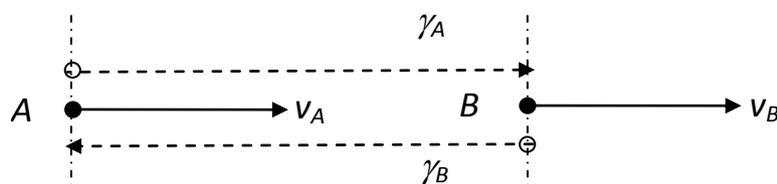


Рисунок 1.3

Схема обмена эталонными сигналами между двумя движущимися исследователями в АИСО эталонами АИСО.

A и B – два исследователя, движущиеся в одну сторону с одинаковыми скоростями, γ_A и γ_B – два эталонных сигнала от исследователя A в сторону B и от исследователя B в сторону A .

Случай одинаковых скоростей.

Предположим такую ситуацию. Есть два исследователя на расстоянии L друг от друга. И есть два эталонных галилеевых источника и приемника волн A и B , движущихся с одинаковыми скоростями $v_A = v_B = v$. **Исследователь A посылает сигнал в сторону приемника B** – и наоборот. Скорость волны $c = 1$. При посылке волны частотой ω от A к B сигнал в АИСО на стороне условно неподвижного приемника приобретет частоту ω_A из-за эффекта Доплера:

$$\omega_A = \omega \frac{1}{(1 - v)}. \quad (1.18)$$

Длина волны, прошедшее время и количество уместившихся волн между A и B определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \lambda_{AB} &= \frac{1 - v}{\omega}, \\ T_{AB} &= \frac{L}{(1 - v)}, \\ n_{AB} &= \frac{\omega L}{(1 - v)}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Напомню: для измерения длины волны необходима галилеева линейка. При приеме волны частотой ω_A от A к B в системе АИСО приемник B из-за обратного эффекта Доплера измерит частоту ω_{AB} :

$$\omega_B = \omega_{AB} (1 - v) = \left(\omega \frac{1}{(1 - v)} \right) (1 - v) = \omega. \quad (1.20)$$

Точно такой же сигнал получит и приемник на стороне A **при посылке такого же сигнала от B** , только изменятся знаки "-" на "+". Отраженный от B сигнал на приемнике A будет иметь частоту

$$\omega'_A = \omega'_B (1 + v) = \left(\omega \frac{1}{(1 + v)} \right) (1 + v) = \omega. \quad (1.21)$$

Длина волны, прошедшее время и количество уместившихся волн между B и A определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \lambda_{BA} &= \frac{1 + v}{\omega}, \\ T_{AB} &= \frac{L}{(1 + v)}, \\ n_{BA} &= \frac{\omega L}{(1 + v)}. \end{aligned} \quad (1.22)$$

Мы видим, что с точки зрения исследователя АИСО приемники получают сигналы той же частоты, что посылали источники. И это абсолютно верно и с точки зрения исследователей A и B в их собственном ИСО. Оба исследователя могут сделать вывод: их взаимная скорость равна нулю. Но смогут ли они определить свою скорость относительно АИСО? Конечно, нет – с какой бы скоростью они ни двигались, измеренная ими частота сигнала останется неизменной, эталонной.

Но есть еще три параметра – длина волны, время распространения волны и количество

волн между A и B в разных направлениях в соответствии с (1.19) и (1.22) отличаются друг от друга. Можно ли их применить для локализации A и B в АИСО? Ранее в предыдущем параграфе при рассмотрении одностороннего распространения волны мы определили, что по длине волн мы это не можем сделать. Но в данном случае при двустороннем распространении волны это вполне возможно. Галилееву длину волн мы, конечно, не сможем измерить, но их отношение – вполне (1.23).

$$k = \frac{\lambda_{AB}}{\lambda_{BA}} = \frac{1 - v}{1 + v} \rightarrow$$

$$v = \frac{1 - k}{1 + k}. \quad (1.23)$$

Также мы можем подсчитать количество волн туда и сюда, и по их отношению найти скорость в АИСО:

$$\frac{n_{AB}}{n_{BA}} = \frac{1 + v}{1 - v} \rightarrow$$

$$v = \frac{n_{AB} - n_{BA}}{n_{AB} + n_{BA}}. \quad (1.24)$$

Также мы можем подсчитать частоту биений суперпозиции встречных волн и по их значениям также найти скорость в АИСО.

Здесь необходимо сделать замечание: расчеты сделаны в абсолютных эталонах галилеева пространства и синхронизированных с ним волновых эталонах, без учета возможных релятивистских эффектов. При учете релятивистских эффектов в формулах (1.18) - (1.21) с т.з галилеева наблюдателя изменится частота источника ω : $\omega \rightarrow \omega_p$. С т.з. исследователей A и B их собственные частоты в их собственных волновых эталонах останутся без изменений.

Случай разных скоростей.

Рассмотрим общий случай разных скоростей v_A и v_B . В результате вычислений по предыдущей же схеме для наблюдателя B получим следующий результат:

$$\omega'_B = \omega_A(1 - v_B) = \omega \frac{1}{(1 - v_A)}(1 - v_B) = \omega \frac{1 - v_B}{1 - v_A}. \quad (1.25)$$

Разрешим уравнение (1.25) относительно скорости v_A и v_B :

$$v_A = 1 - \frac{\omega}{\omega'_B}(1 - v_B),$$

$$v_B = 1 - \frac{\omega'_B}{\omega}(1 - v_A). \quad (1.26)$$

Из (1.26) видно, чтобы определить скорость другого объекта, необходимо знать свою скорость v_B в АИСО, и наоборот. Но мы ее не знаем, следовательно, (1.26) напрямую не работает. Но, предположив, что мы относительно АИСО имеем определенную скорость, например $-v_B = 0$, мы вполне можем определить состояние (конфигурацию) объектов волнового пространства. А собственную скорость мы можем определить в эксперименте "одинаковых скоростей" (1.24).

Одновременно мы можем определить и взаимную скорость. Из (1.25) имеем:

$$\begin{aligned}
 \omega'_B &= \omega \frac{1 - v_B}{1 - v_A} \rightarrow \\
 \omega'_B &= \omega \frac{(1 - v_B + v_A - v_A)}{(1 - v_A)} = \\
 &= \omega \left(1 - \frac{v_B - v_A}{1 - v_A}\right) = \omega \left(1 - \frac{\Delta v}{1 - v_A}\right) \rightarrow \\
 \Delta v &= \frac{1 - \frac{\omega'_B}{\omega}}{1 - v_A}.
 \end{aligned} \tag{1.27}$$

Здесь тоже необходимо знать свою скорость. Но при $v_A \rightarrow 0$ отношение частот будет близко к единице и результат будет вполне вменяемым и измеримым:

$$\Delta v = 1 - \frac{\omega'_B}{\omega}. \tag{1.28}$$

Более выпукло и понятно это утверждение следует из следующего приближения:

$$\begin{aligned}
 \frac{\omega'_B}{\omega} &= \frac{1 - v_B}{1 - v_A} \sim (1 - v_B)(1 + v_A) = \\
 &= 1 - v_B + v_A - v_A v_B = \\
 &= 1 - \Delta v - v_A v_B \rightarrow \\
 \Delta v &= 1 - \frac{\omega'_B}{\omega} - v_A v_B \rightarrow \\
 \Delta v &\sim 1 - \frac{\omega'_B}{\omega}.
 \end{aligned} \tag{1.29}$$

Результат эксперимента в обратном направлении даст:

$$\omega'_A = \omega_B (1 + v_A) = \omega \frac{1}{(1 + v_B)} (1 + v_A) = \omega \frac{1 + v_A}{1 + v_B}. \tag{1.30}$$

Если вместо второго прибора (**B**) использовать зеркало, на стороне **A** получим:

$$\begin{aligned}
 \omega'_A &= \omega'_B \frac{\omega'_A}{\omega} = \left(\omega \frac{1 - v_B}{1 - v_A}\right) \left(\frac{\omega}{\omega} \frac{1 + v_A}{1 + v_B}\right) = \omega \frac{1 - v_B}{1 - v_A} \cdot \frac{1 + v_A}{1 + v_B} = \\
 &= \omega \frac{1 - v_B + v_A - v_A v_B}{1 - v_A + v_B - v_A v_B} = \omega \frac{(1 - v_A v_B) - (v_B - v_A)}{(1 - v_A v_B) + (v_B - v_A)} = \\
 &= \omega \frac{c' - \Delta v}{c' + \Delta v}; c' = 1 - v_A v_B.
 \end{aligned} \tag{1.31}$$

С помощью зеркала эффект получается двойным. Из (1.31) можно точно вычислить скорость v_B при известном v_A :

$$\begin{aligned}
 &\rightarrow \omega'_A(1 - v_A + v_B - v_A v_B) = \omega(1 + v_A - v_B - v_A v_B) \rightarrow \\
 &\omega'_A(1 - v_A) + \omega'_A v_B(1 - v_A) = \omega(1 - v_A) - \omega v_B(1 + v_A) \rightarrow \\
 &\omega'_A(1 - v_A) - \omega(1 - v_A) = -v_B(\omega'_A(1 - v_A) + \omega(1 + v_A)) \rightarrow \\
 &v_B = -\frac{\omega'_A(1 - v_A) - \omega(1 - v_A)}{\omega'_A(1 - v_A) + \omega(1 + v_A)} = -\frac{(\omega'_A - \omega)(1 - v_A)}{\omega'_A(1 - v_A) + \omega(1 + v_A)}; \\
 &v_B = \frac{\omega - \omega'_A}{\omega'_A - \omega \frac{1+v_A}{1-v_A}}.
 \end{aligned} \tag{1.3 2}$$

Из (1.31) также получается более красивое выражение для относительной скорости:

$$\begin{aligned}
 &\rightarrow \omega'_A(c' + \Delta v) = \omega(c' - \Delta v) \rightarrow \\
 &\omega'_A \Delta v + \omega \Delta v = \omega c' - \omega'_A c' \rightarrow \\
 &\Delta v = c' \frac{\omega - \omega'_A}{\omega + \omega'_A}.
 \end{aligned} \tag{1.3 3}$$

При малых скоростях наблюдателей "скоростной" коэффициент c' можно приравнять единице с ошибкой порядка произведения скоростей наблюдателей:

$$\rightarrow \Delta v = 1 \cdot \frac{\omega - \omega'_A}{\omega + \omega'_A}. \tag{1.3 4}$$

С лучевой скоростью в одномерном пространстве мы разобрались. С направлением в более чем одномерном пространстве сложнее. Если имеются только два исследователя, то невозможно измерить тангенциальную скорость и ее направление в пространстве – не с чем ее сравнивать: любые направления эквивалентны, и вращение с.о. может не детектироваться. Но для этого имеется **принцип Маха: бесконечно удаленные тела находятся всегда на одном и том же направлении, независимо от их взаимного лучевого и тангенциального движения.** Таким образом, тангенциальную скорость взаимного движения можно определить на фоне бесконечно удаленных тел. Зная расстояние между исследователями и угловую скорость тангенциального движения, можно измерить реальную скорость тангенциального движения.

Расстояние можно определить и по параллаксу направления на объект.

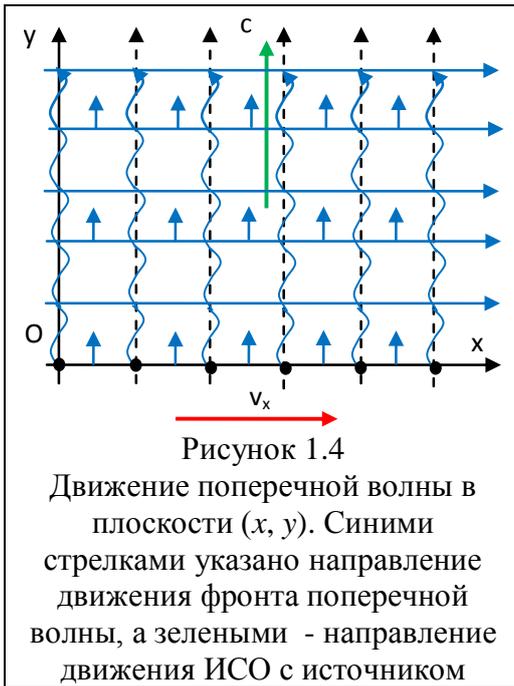
Выводы.

Главные выводы:

1) в галилеевом пространстве в одностороннем эксперименте с волновыми эталонами, синхронизированными абсолютно, невозможно определить абсолютную скорость ИСО относительно АИСО из-за недостатка информации.

2) в галилеевом пространстве в двустороннем эксперименте с волновыми эталонами, синхронизированными абсолютно, возможно определить абсолютную скорость ИСО относительно АИСО.

7. Поперечный эффект Доплера. Аберрация. Закон Гюйгенса



Поперечный эффект Доплера рассматривается (или может иметь место) при движении источника со скоростью v в некотором направлении и одновременном формировании волн в поперечном к направлению движения направлении. Положения фронтов поперечных волн при этом оказываются параллельными оси координат x , а движение фронта волны происходит в направлении оси y со скоростью c . На [Рисунок 1.4](#) дана схема распространения бесконечно широкой волны в поперечном направлении в предположении справедливости закона Гюйгенса для распространения волны. В соответствии с этим законом фронт волны с каждой точки зарождения в АИСО представляет собой расширяющуюся окружность (сферу). Но при полной интерференции всех отдельных волн **фронт бесконечной волны**, распространяющейся от прямой линии Ox , даже движущейся со скоростью v_x , представляет собой эту же прямую линию, движущуюся со скоростью c в направлении y . Поэтому поперечного эффекта Доплера

для галилеевой волны не имеется. Следовательно, все параметры этой волны остаются неизменными: ни частота, ни длина волны, ни период не изменяются. Угла аберрации (изменении положения фронта волны, точнее, угла ее наклона к оси x) наблюдаться не будет.

Но наблюдается еще один эффект: в любой ИСО, движущейся как на [Рисунок 1.4](#) с произвольной скоростью, скорость распространения волны в перпендикулярном направлении остается неизменной и равной предельной скорости волны. А это противоречит галилеевой аддитивности скорости волны в ГП.

Но для **не широкой волны (луча)**, источником которой является отрезок AB ([Рисунок 1.5](#)) конечной длины, ситуация несколько другая. Угла аберрации (изменении положения фронта волны) также наблюдаться не будет. Но сам луч, несмотря на это, для галилеева наблюдателя визуально изменит траекторию своего движения. Это кардинально отличается от движения брошенного "источником" камня, наследующего импульс источника в направлении движения. Такое поведение луча равносильно присутствию "механического" отстающего угла аберрации со значением φ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{v}{c}, \quad (1.35)$$

где v – абсолютная скорость в АИСО. Она верна и для источника, и для наблюдателя.

Примерно такую форму имеют волны от движущейся по воде лодки. При этом, несмотря на то, что луч смещается визуально влево, фронт волны остается параллельным оси x . неподвижный в АИСО наблюдатель в этом случае не увидит этой "механической" аберрации независимо от движения источника. Но подвижный наблюдатель эту аберрацию будет наблюдать.

Эффекта Доплера здесь также не будет. Но будет побочный "геометрический" эффект скорости звука: скорость движения "головы" c'_y луча от движущегося источника в АИСО(!) будет больше изотропной скорости $c_y = c$ волны в этой же АИСО. А это противоречит принятому постулату галилеевой аддитивности скорости волны.

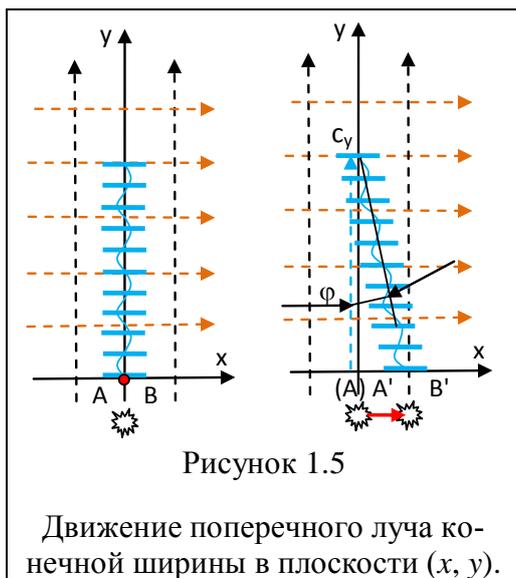


Рисунок 1.5

Движение поперечного луча конечной ширины в плоскости (x, y).

От точечного источника волны картина несколько другая. Для звука в воздухе от точечного источника такой механизм распространения волны по Гюйгенсу создает множество концентрических невидимых сферических волновых поверхностей фронтов волн со сдвинутыми центрами (см. Рисунок 1.6 - далее). Здесь A – начальное положение источника звука, A' – новое положение источника звука, C - наблюдатель, $c_y = c$ – скорость звука в (почти перпендикулярном) направлении к наблюдателю C, c_y – эффективная скорость звука в перпендикулярном направлении, v_x – скорость источника звука. Покоящемуся наблюдателю C кажется, что звук идет не с того места, где находится визуально наблюдаемый источник звука (A'), а несколько позади (голубая линия со стрелкой от центра концентрической окружности A, достигшей наблюдателя). Угол "абберации" φ здесь определяется по формуле (1.36). Пример – звук от летящего высоко самолета.

$$\sin \varphi = \frac{v_x}{c}. \quad (1.36)$$

Обратите внимание на геометрическое отличие в уравнениях (1.35) и (1.36) по **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

При этом при всем эффект Доплера будет присутствовать. Но не линейный по скорости, а квадратичный.

$$\omega_{\text{п}} = \omega \frac{v_c}{c} = \omega \frac{\sqrt{c^2 - v_x^2}}{c} = \omega \sqrt{1 - \left(\frac{v_x}{c}\right)^2}, \quad (1.37)$$

Из этих объяснений видно, что перпендикулярные волны на Рисунок 1.4 и Рисунок 1.5 не

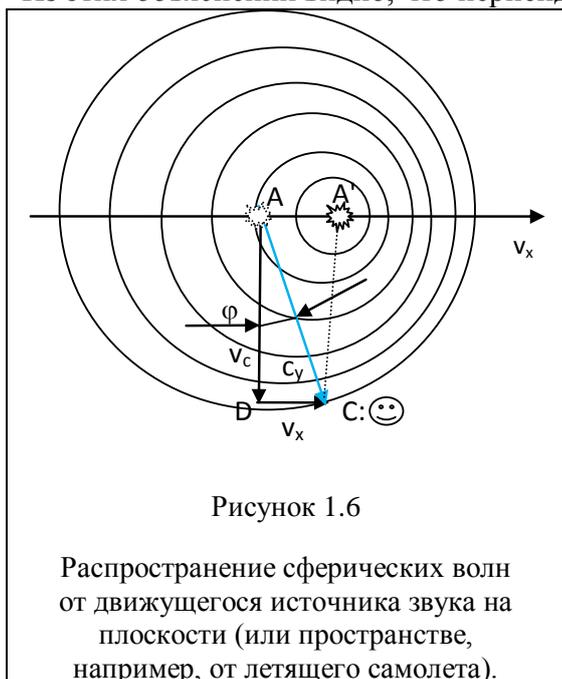


Рисунок 1.6

Распространение сферических волн от движущегося источника звука на плоскости (или пространстве, например, от летящего самолета).

наследуют от источника волны продольного импульса и/или скорости (и других материальных параметров) в своем движении. А по Рисунок 1.6 такого вывода сделать нельзя. Это, конечно, не так, но это с первого не глубинного взгляда. На Рисунок 1.6 наблюдаемый участок фронта волны уже изначально имеет определенное не перпендикулярное к направлению движения источника направление движения. К тому же по Рисунок 1.6 наблюдается вполне "релятивистский" поперечный доплеровский эффект.

Общие выводы относительно эффекта Доплера и абберации:

1) Невозможно определить галилеевы пространственные, временные и скоростные параметры чего бы то ни было посредством измерения пространственных и временных параметров свободной не синхронизированной волны как эталона.

2) Невозможно определить ни абсолютную, ни относительную скорости в результате измерений одностороннего изменения частоты от доплеровского эффекта синхронизированной эталонной волны из-за недостатка информации об источнике. Синхронизация волнового эталона осуществляется в ГП в состоянии покоя относительно АИСО.

3) Если выполнена синхронизация и известна одна из скоростей в АИСО, то по эффекту Доплера возможно определить и другую. Предполагая собственную скорость нулевой, можно определить и другую скорость.

4) По параметрам распространения волны "туда" и "обратно" в системе двух исследователей вполне возможно определить скорость относительно АИСО и локализовать себя в АИСО.

5) При наличии бесконечно удаленных объектов в системе одного исследователя возможно применить принцип Маха и определить свою скорость относительно бесконечно удаленных объединенных общей статистикой объектов по доплеровскому эффекту или каких-то средних статистических параметров бесконечной среды окружения, определив ее неоднородность по направлениям. Например, реликтовое излучение. Но никакой 100%-ной гарантий, что бесконечно удаленные объекты в среднем определяют АИСО, нет: в принципе они все могут находиться в состоянии движения относительно реального АИСО. Все дело в точности измерений. Например, Земля вращается – это видно по движению звезд. С другой стороны, поверхность Земли неподвижна, если не смотреть на звезды: мы же это вращение не замечаем? ну разве что специально поставленным экспериментом. А если быть еще более точным, то Земля вращается вокруг Солнца, и это заметно по абберрации положения звезд на небе. И далее – Солнце вращается вокруг центра нашей Галактики, Галактики вращаются в пределах своих Метагалактик, и т.д.

6) Для поперечных волн дополнительно к продольному эффекту Доплера возможны существование поперечных эффектов – ситуативных абберрации, увеличения скорости луча волны по сравнению с изотропной или наоборот – ее неизменности в противоречии с аддитивным законом сложения скоростей в ГП, и поперечного эффекта Доплера в различных случаях. Все эти три эффекта зависимы от формы волны и поэтому могут быть восприняты противоречиво (или сделаны противоречивые выводы).

2. Сокращения и другие соглашения

(*) А – абсолютное, В – время, Г – галилеево, И – инерциальное, К – координаты, квантовая, М – механика, метрическое, магнитное, Н – ньютоново, неинерциальная, О – отсчета, относительности, общая, П – пространство, Р – релятивистская, С – система, специальная, Т – теория, тензоры, Ф – физика, Ч – частная, Э – электро-, электрическая,	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, ЭМВ – электромагнитная волна, (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 одинаковым верхнему и нижнему индексам производится свертка (суммирование) соответствующих элементов (по правилу Эйнштейну).
- 4) По индексу в скобке типа " $_{(k)}$ " или " $^{(k)}$ " свертка не выполняется, но она привязана к соответствующему тензорному или другому индексу "функционально".
- 5) Формат ссылок на формулы: **(nn)**, где nn – номер формулы. При необходимости указания на конкретную строку формулы применяется формат **(nn):n**, где n – номер строки формулы, начиная с 1 (единицы), причем эта нумерация продолжается и на дальнейшие не нумерованные формулы и их строки.

3. 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. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Бином, 2017. – 146 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: В 10 т. : т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с
8. Малыкин Г. Б. , Паралоренцевские преобразования, УФН, 179:3 (2009), 285–288; Phys. Usp., 52:3 (2009), 263–266 // Полный текст: [PDF файл](#) (899 kB) (дата обращения: 05.07.2019),
9. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. М. : Наука, 1965. [Einstein A Ann. Physik 322 891 (1905)]
10. Чепик А. М. Сходство и различие СЭТ и СТО. [Электронный ресурс] : http://redshift0.narod.ru/Rus/Stationary/Absolute/Absolute_Principles_4.htm (дата обращения: 16.07.2019), // Нижний Новгород, e-mail: redshift0@narod.ru.
11. Тимин В. А. Эксперимент Майкельсона-Морли. URL: <http://vixra.org/abs/1908.0574>
12. Тимин В. А. Уравнения распространения волн в различных пространствах. URL: <http://vixra.org/abs/1908.0091>
13. Тимин В. А. Преобразования галилеевых тензоров. //Galilean Transformations of Tenzors, URL: <http://vixra.org/abs/1907.0546>

8. Мои работы

My other works Мои другие работы	: http://vixra.org/author/valery_timin
-------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

Электронный адрес данной работы:

<http://vixra.org/abs/1911.0098>