Appendices to works on Galilean space

Приложения к работам о галилеевом пространстве

Valery Timin

(April 6, 2020)

Russia, RME

This work is used as a General application for other works on wave propagation in Galilean space.

The main task of this work is to solve General questions related to the propagation of waves in Galilean space. When considering this issue, it is assumed that the source of the wave is not a point object that propagates a spherical wave, but is the source of a monochromatic wave that fills the entire space. It is also assumed that the time of the wave source and distance are synchronized with the time and distance of the Galilean space.

Оглавление

1. Приложения к работам о галилеевом пространстве 2
   1. Сокращения и другие соглашения 2
   2. Что такое Наблюдатель в физике 3
   3. Эталон 5
   4. Свойства эталона 6
   5. Волновая метрика 7
   6. Уравнение волны и ее параметры 8
   7. В многомерном пространстве 9
   8. Выбор модельного пространства 11
   9. Литература 13

1. Приложения к работам о галилеевом пространстве

Эта работа используется как общее приложение для других моих работ, посвященных распространению волн в галилеевом пространстве.

Главной задачей этой работы является решение общих вопросов, связанных с распространением волн в галилеевом пространстве. При рассмотрении данного вопроса предполагается, что источник волны не является точечным объектом, распространяющим сферическую волну, а является источником заполняющей все пространство монохроматической 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, эфир) 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 АСО, она может находится 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. 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, ГПТК – галилеевы преобразования тензоров и координат, 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.

2. Что такое Наблюдатель в физике

В академическом словаре https://dic.academic.ru/.../наблюдатель "Кто такой наблюдатель?" растолковывается так:

Наблюдателем называют того, кто следит глазами за кем–либо или чем–либо, смотрит что–либо.

Наблюдателем называют того, кто профессионально следит за текущими событиями, чтобы дать им оценку и предсказать, что может произойти в будущем.

Наблюдатель — это человек, которого посылают наблюдать за каким–либо важным событием или ситуацией, особенно для того, чтобы проследить за тем, чтобы всё прошло как нужно.

Наблюдатель (исследователь, лаборант, экспериментатор и т.д.) в физике в широком бытовом смысле является человеком, окруженным приборами для измерения (возможно, описания) параметров физического эксперимента или результатов другого типа деятельности. Здесь наблюдатель вместе с приборами есть достаточно компактный ограниченный в размерах объект homo sapiens, регистрирующий результаты поставленных им экспериментов и интерпретирующий ее.

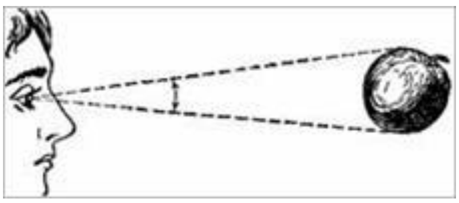

Рисунок 1.1

Вы думаете – это наблюдатель? Конечно – да. Но в физике Наблюдатель – это не обязательно "смотрящий", "наблюдающий", "присматривающий" человек.

И эта роль наблюдателя практически совпадает с вышеприведенным определением. Но почему "ЧТО"? Посмотрите на рисунок Рисунок 1.1. Данный рисунок вполне оправдывает вышеприведенные определения.

Но в физике это соответствует очень ограниченному подходу к пониманию того, что такое "наблюдатель". Такой "наблюдатель", конечно, является "КТО" и в силу ограниченной скорости и объема получения информации получает "искаженную" информацию. В частности, при изучении законов, развертывающихся в ИСО, "точечный" исследователь получает информацию не из ИСО, а из некоторого "изотропного" "видимого конуса одновременных для него событий". А это вовсе не ИСО. И здесь возможны проявления некоторых парадоксов. Например, возьмем эффект Доплера. При приближении источника света (или звука – что привычнее и более знакомо большинству людей) к наблюдателю частота получаемого сигнала повышается, при удалении – понижается. Некоторые "разумные наблюдатели" всерьез, реально интерпретируют это как реальное "ускорение и замедление скорости течения времени", путая и противопоставляя ее релятивистскому замедлению времени в движущихся ИСО. "Релятивистскому" означает при большой, приближающейся к скорости света, скорости движения тела.

Для меня "наблюдатель" – это само пространство с его абстрактной математической структурой и обобщенным познающим разумом, в которое входит как минимум система координат (или система отсчета) с определенными в ней (вложенными или неразрывно связанными с ней) изучаемыми "материальными" объектами, с "метрикой", определяющей их взаимодействие и движение, и, конечно, homo sapiens – тот, кто все это познает. А эффект Доплера не просто эффект по отношению к ограниченному бытовыми видимыми воочию смыслами наблюдателю, а эффект глобальный для всего пространства в целом и не заканчивающийся описанным выше эффектом. И в то же время в этом видимом эффекте также заключается его смысл.

В классической физике понятие "наблюдатель" практически не используется. Или он соответствует вышеприведенным определениям. Это связано с тем, что в ней роль наблюдателя тривиальна и практически соответствует ее бытовому понятию. Пожалуй, впервые понятие нетривиального "наблюдателя" появилось в мысленных (и не только) экспериментах и объяснениях теоретических положений специальной теории относительности Эйнштейна. Это связано с нестандартным, не бытовым взглядом на ее результаты. Многие положения прямо противоречат бытовым взглядам на эти же положения в классической механике. Например, на понятия одновременности и одноместности, относительность времени и пространства, массы и энергии и т.д. В ней понятие "наблюдатель" более соответствует ее эквивалентности некоторому ИСО, чем точечному объекту. Хотя картинки рисуют с образами "человека" или его "глазами.

Но больше всего и очень не тривиально понятие "наблюдатель" используется в квантовой механике. И это связано с существенным в квантовой механике моментом – влиянием "наблюдателя" с его "экспериментальными установками" на сам процесс, который они исследуют. По основной парадигме квантовой механики – что система может находиться одновременно в нескольких взаимоисключающих состояниях – в результате эксперимента получается вполне конкретный, и только один из возможных, результат. Дальнейшее исследование, продление эксперимента, невозможно в силу уничтожения свободного невозмущенного развития системы в результате измерения. Возможно только повторение эксперимента и получение статистически распределенной информации о возможных исходах эксперимента.

3. Эталон

Эталон – это средство, с помощью которой производится количественное сравнение сравнимых объектов физической реальности (см. Рисунок 1.2).

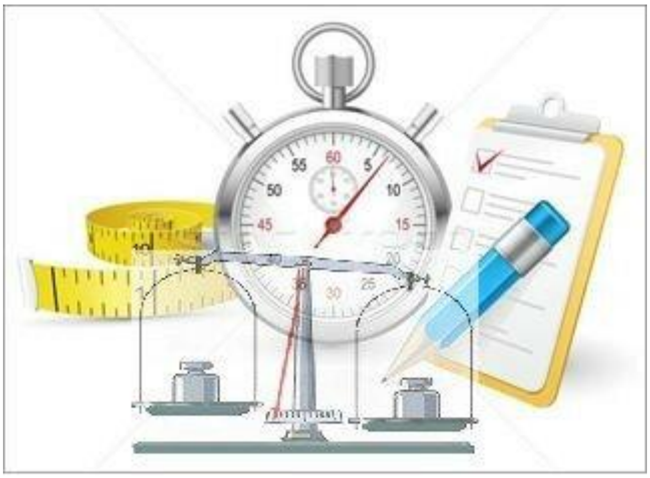

Рисунок 1.2

Часы, линейка, гири – наши основные эталоны

Все, что мы видим, слышим, ощущаем, в соответствии с нашим опытом можно измерить. Есть различные измеримые свойства: расстояния линейное и угловое, размеры, промежутки времени, скорость, вес (масса) тела, сила и сопротивление, громкость и частота звука, цвет светового излучения и т.д. Причем эти свойства обладают свойством математической упорядоченности и по отношению к конкретным объектам обладают свойством инвариантности (или по другому – повторяемости). Свойство упорядоченности позволяет сравнивать различные объекты между собой.

Таким образом, свойством нашего пространства, времени и материальных объектов (материи) является их сравнимость и на этой основе – измеримость. Абстрактно это говорит о том, что равные везде равны друг другу, и отношение "больше – равно – меньше "является инвариантом. Это говорит о том, что, например, атомы одного и того же вещества везде имеют один и тот размер и в одной и той же области пространства–времени атомы одного и того же вещества не могут отличаться друг от друга. И даже более: любые два атома одного и того же вещества в любой точке пространства–времени сравнимы и одинаковы. В квантовой механике даже тождественны.

Измерение происходит с помощью эталонов. Эталоны – это материальные объекты, с помощью которых производятся сравнения и измерения. Но сказать, что измерения параметров одних и тех же материальных объектов в разных точках пространства–времени с помощью произвольных эталонов даст один и тот же результат, нельзя. Если эталон выполнен из материи с теми же свойствами, что и измеряемый объект, результат будет одинаковым. Такое соотношение между свойствами эталона и вещества говорит о том, что материя все же может быть вторична, хотя единство "пространство–время–материя" в некоторых аспектах может и сохраниться. Например, если физически доступные эталон и материя обладают одинаковыми свойствами, свойство ее вторичности окажется недоступным для измерения.

Следствием сравнимости и измеримости является метричность пространства–времени. Эта понятие включает в себя три пространственных и одно временное направление. И метрические свойства этого пространства–времени тесно связаны со свойствами той материи, которую приняли в качестве эталона. Пространственная метрика – это метрика, связанная с размерами атомов и межатомными расстояниями в объемных объектах, состоящих из них. Метрика времени связана с периодическими процессами, в которых участвуют эти же атомы и объекты, из которых они составлены. Если свойства двух эталонов отличаются друг от друга, то и полученная с их помощью метрика пространства–времени–материи будет различной.

Существующие в настоящее время эталоны связаны со скоростью распространения фундаментальных взаимодействий, в частности, со скоростью распространения электромагнитных взаимодействий, в которой постулируется постоянство скорости ее распространения в вакууме. Эта скорость по определению в точности равна 299 792 458 м/с точно. Другая фундаментальная метрическая константа – это единица времени "секунда". Её величина устанавливается фиксацией численного значения частоты сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия–133 при температуре 0 К равным по определению в точности 9 192 631 770. И третья фундаментальная метрическая константа – это единица массы "килограмм". Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма в соответствии с 3–ей Конференцией по мерам и весам (1901г).

Замечание: в теоретической физике эталоном может выступать некое абстрактное математическое пространство, в которое вложена модель физического пространства. Но для этого свойства математического пространства должны соответствовать свойствам реального эталона. Минимум – метрическое соответствие. Область применения – теоретические модели и их практические применения. Примеры – евклидово пространство, пространство Минковского, риманово пространство.

Данные трактовки эталонов в соответствии с ОТО допускают, что метрика пространства–времени вполне может быть не евклидовым и даже может иметь очень сложную топологическую структуру с дырками, туннелями и другими "неоднородностями". И при этом оставаться (или не оставаться) локально однородным и изотропным.

В связи с эти можно выделить **два вида эталонов – математический (**или **теоретический) и физический (**или **практический)**.

4. Свойства эталона

1) Параметры, измеримые с помощью эталонов, должны обладать **свойством аддитивности** (интегрируемости). Для параметра длины это означает, что путем прикладывания нескольких эталонов или использования "линейки со штрихами" можно определить длину линейного объекта, не равного эталону. Соответственно для других эталонов существуют свои "линейки".

Геометрическими объектами модели физического пространства являются векторы и тензоры, проекции векторных параметров на направления (временное и пространственное) и их длина, а также площади и объемы, построенные на векторах. Через них определяется геометрия пространства. Материальные объекты сравниваются через их геометрические параметры и параметры силового взаимодействия их между собой, переведенные на язык математики. Материальные и геометрические структуры взаимосвязаны.

2) Наличие эталона предполагает, что при любых ее движениях, в т.ч. допустимых движениях с поворотом, **эталон не изменяется и после перемещения в конечное положение** при любом порядке перемещения с поворотами и без них эталон совмещается с другим эталоном, перемещавшимся другим путем. Это свойство эталона должно обеспечиваться законами природы. Считается, что эталоны одни и те же и на Земле, и на Солнце, и в любом другом месте Вселенной во все времена (в том смысле, что простым перемещением их можно совместить).

Замечание. Однонаправленность течения времени вносит свои коррективы в свойства эталона: мы ничего не можем сказать о том, что случится, если эталон перемещать обратно во времени.

3) Существование эталонов также предполагает, что **Пространство должно обладать дискретными свойствами**, т.е. должны существовать дискретные решения материальных уравнений пространства и времени. Это предполагает существование постоянных или инвариантных, неизменных материальных объектов и/или периодических процессов. А это

может предполагать также наличие в законах природы нелинейности – нелинейного пространства или нелинейных полей взаимодействия материи. Или свойства пространства и времени заранее должны быть проквантованы, как в квантовой механике, т.е. уже квантовые объекты должны обладать линейными (не обязательно) уравнениями состояния. Дискретные объекты могут быть определены и как топологические особенности пространства.

4) Понятия "наблюдатель" и "эталон" накладывают определенные ограничения на изучение Пространства. Изучать физическое пространство можно только методом сравнения средствами самого этого пространства, с помощью физических объектов (эталонов) этого пространства, и **пространство должно обладать свойствами, позволяющими эталонам быть эталонами**. Для этого пространство должно быть в определенном смысле однородным и изотропным. Это свойство позволяет совмещать эталон с объектами и производить измерения параметров объекта в различные времена в различных точках пространства и различно ориентированных в ней.

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.

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

$$d\varphi = \omega_0 dt + \omega_i dr^i = \omega\left(c_0 dt + c_i dr^i\right),$$
$$ds_\varphi = \frac{d\varphi}{\omega} = \frac{\omega\left(c_0 dt + c_i dr^i\right)}{\omega} = c_0 dt + c_i dr^i. \qquad (1.1)$$

4) 4–мерный интервал ds.

На основе формулы (1.1) вводится 4–мерное метрическое понятие "интервала", выражаемое формулой (1.3). Надо заметить, что интервал ds и разность фаз $d\varphi$ являются 4–мерными скалярами, и, следовательно, ни о какой абсолютности галилеевых "скаляров" dr и dt в ВП не может быть и речи: они будут относительными, зависимыми от применяемых волновых ИСО и фактически отсутствуют как скаляры.

Но насколько однозначно в соответствии определяются расстояния между точками пространства? Изотропных волн с разностью фаз (1.1) может быть множество – по частоте ω и количеству разных направлений k_i. И каждая из них каким либо образом "пройдет" через любые две точки ПВ. Даже для одной единственно выбранной "эталонной" частоты ω количество разных направлений k_i может быть множество. И каждая из них по изменению фазы покажет свое индивидуальное расстояние между этими точками. А расстояние может быть только одно, единственное и инвариантное. Решением может быть выбор максимального значения этого расстояния для всех возможных направлений, что соответствует условию коллинеарности направления волнового вектора k_i и направления на целевую точку r_i: $k_i \parallel r_i$. По законам линейной векторной алгебры для этого достаточно выбрать три базовых ортонормированных направления, разложить вектор r_i по этим векторам и вычислить ее метрическую длину L через скалярное произведение на себя:

$$L(O,r) = \sqrt{r_i r^i} = \sqrt{(r^i)^2} : t = \text{const.} \tag{1.2}$$

Но для этого надо организовать сетку из трех независимых эталонных волн. Методы линейной алгебры позволяют выбрать тройку таких направлений. Через них определяется интервал

$$ds^2 = g_{ij} dq^i dq^j \rightarrow c^2 dt^2 - dr^2, \tag{1.3}$$

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

dt – прошедшее время,

dr – пройденное фронтом волны за время dt расстояние,

Несмотря на различные формы записи и определенную их "относительность", все четыре формы "генетически" тесно связаны между собой через метрический тензор. Несмотря на тесную связь, метрики п.3) и п.4) могут иметь и вполне самостоятельное значение.

6. Уравнение волны и ее параметры

Волна формально является периодической функцией своего параметра (см. Рисунок 1.3). Функционально волна в однородно параметризованном пространстве–времени t "распространяется" в соответствии с гармоническим уравнением

$$\begin{gathered} A = \sin\varphi = \sin 2\pi n = \sin(2\pi\omega t + \varphi_s), \\ \varphi = 2\pi\omega t + \varphi_s, \\ n = \frac{\varphi}{2\pi} = \omega t + \frac{\varphi_s}{2\pi}. \end{gathered} \tag{1.4}$$

Здесь A – текущее значение "напряженности" поля в точке ПВ,

φ – фаза волны в ПВ,

φ_s – начальная фаза волны в начале координат ПВ,

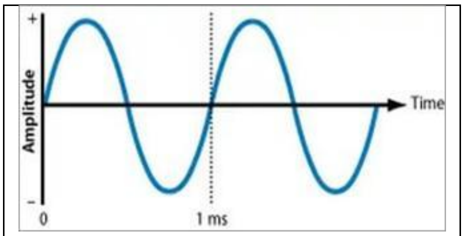

Рисунок 1.3

График синусоидальной волны

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

n – количество волн от начала координат до текущей точки ПВ.

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:

$$\Delta\varphi = 2\pi\omega\Delta t = 2\pi\Delta n. \tag{1.5}$$

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 (1.4) для одной координаты t:

$$cd\varphi = 2\pi\omega ds = 2\pi\omega dt. \tag{1.6}$$

7. В многомерном пространстве

процесс распространения волн связан дополнительно с определенным направлением распространения фронта волны и соответствующими параметрами.

Найдем вид функции $A(t, r)$ в случае плоской волны, предполагая, что колебания носят гармонический характер. Для упрощения направим оси координат так, что бы ось x совпадала с направлением распространения волны, а длина волны при частоте $\omega = 1$ была равна 1. Тогда

волновые поверхности будут перпендикулярны к оси x и поскольку все точки волновой поверхности колеблются одинаково, смещение A будет зависеть только от x и t:

$$A = A(t, x).$$

Пусть колебания точек, лежащих в плоскости $x = 0$, имеет вид

$$A(0, t) = A\sin 2\pi\omega t.$$

Найдем вид колебаний частиц в плоскости, соответствующей произвольному значению x. Для того чтобы пройти путь от плоскости $x = 0$ до плоскости с координатой x, волне потребуется время:

$$\tau = x/c.$$

c – изотропная скорость распространения фронта волны,

Следовательно, колебания частиц, находящихся в плоскости x, будут отставать по времени на τ от колебаний частиц в плоскости $x = 0$, т.е. уравнение колебаний точки, находящейся на расстоянии x от источника колебаний будет иметь вид:

$$A(x, y) = A\sin 2\pi\omega(t - \tau) = A\sin 2\pi\omega(t - x/c).$$

Итак, уравнение плоской волны запишется следующим образом:

$$A = A\sin 2\pi\omega(t - x/c). \tag{1.7}$$

Обратите внимание на знак "–" в этом уравнении.

При наличии нескольких пространственных координат r^i произвольная свободная не изотропная волна в неограниченном бесконечном ГП распространяется вдоль пространственных направлений в соответствии с гармоническим уравнением

$$A(t, r^i) = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(t - \frac{c^i}{c}\frac{r^i}{c}\right) + \varphi_s\right] = A_s \sin\left[2\pi\omega\left(t - \frac{c^i}{c^2} r^i\right) + \varphi_s\right]. \tag{1.8}$$

где c^i – ковариантные направление и скорость распространения волны,

φ_s – начальная фаза волнового процесса в начале координат.

Это уравнение называется уравнением бегущей волны.

Заменяя частное $-c^i/c^2$ на ковариантную скорость c_i (обратите внимание на знак "–"), получим эту же формулу с использованием ковариантной скорости:

$$A(t, r^i) = A_s \sin[2\pi\omega(t + c_i r^i) + \varphi_s]. \tag{1.9}$$

В общем виде эти уравнения должны быть записаны в виде

$$A(t, r^i) = A_s \sin[2\pi(\omega_0 t + \omega_i r^i) + \varphi_s],$$
$$\omega_0 \omega^0 + \omega_i \omega^i = 0. \tag{1.10}$$

в котором ω_0 – временная ковариантная частота волнового процесса,

ω_i – пространственная ковариантная частота (или направляющий вектор) волнового процесса,

Необходимо иметь в виду, что ковариантная скорость и частота не отражают реальную скорость и частоту. Анализируя вышеприведенные уравнения, можно сделать вывод, что частота ω и скорость c_i, несмотря на свою безиндексность, не являются скалярами или константами. Их роль более сложная, векторная. Типа масштабного множителя, зависящего от выбора эталона времени, длины и скорости волны.

При этом волновая разность фаз $d\varphi$ между любыми двумя точками ПВ в форме (1.10), определяемая скалярным выражением

$$d\varphi = 2\pi(\omega_0 + \omega_i dr^i), \tag{1.11}$$

является инвариантом распространения гармонического монохромного волнового процесса, которую можно принять как линейную метрику, а само уравнение (1.10) является скалярной функцией выражения этого факта.

На основе этой формулы вводится 4–мерное метрическое понятие "интервала". Для этого организуется 4 взаимно ортогональных волновых поля φ_n, и в качестве волновых координат берутся значения фаз этих 4–х полей в конкретной точке ПВ. При таком преобразовании координат ПВ "волновые" координаты получают индексы от 0 до 3 и перестают быть скалярами (оставаясь скалярами в прежней системе координат), трансформировавшись из "скаляров" в "координаты" с индексами. ПВ с волновыми полями в качестве метризующего фактора обладают естественными геометрическими свойствами – временем, длиной, свойствами параллельности и перпендикулярности. Если у такого ПВ найдутся (или окажутся) абсолютный эталон длины и времени, то волновые координаты по своей сути получат одновременно и свойства "абсолютности", и "относительности".

Для того, чтобы с увеличением значения координаты r^i фаза волны как координаты увеличивалась, необходимо, чтобы параметр ω_i имел реально положительное значение. Но для того, чтобы волна одновременно распространялась в направлении увеличения координаты, в соответствии с (1.7) необходимо иметь отрицательное значение ω_i, что соответствует отрицательному значению фазы. Но контравариантное(!) значение этой фазы с учетом поднятия/опускания индексов будет соответствовать знаку соответствующей координаты безусловно:

$$\varphi_0 = \varphi^0,\ \varphi_i = -\varphi^i.$$

На основе волновых координат можно определить сопряжение векторов галилеева пространства в смысле правомерности использования аппарата тензорного исчисления, частными случаями применения которой в галилеевом пространстве будут уравнения (1.10).

Уравнение (1.10) 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 (1.10).

Уравнение (1.10) также одновременно выражает закон Гюйгенса для распространяющейся волны: однофазная поверхность или фронт волны перпендикулярен к направлению своего движения. Это определяется тем, что фаза волны есть проекция координаты r^i точки на вектор направления c_i. Эта проекция предполагает, что существует перпендикулярная к направлению движения волны однофазная плоскость, называемая фронтом этой самой волны.

8. Выбор модельного пространства

Физическое модельное пространство ПВ – сплошная среда со свойствами абсолютности АИСО, в котором распространяются гармонические волны. Физически уравнение (1.10) 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 (1.10): уравнение (1.10) 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 (1.10) 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 (1.10) 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

$$\begin{cases} t' = t, \\ r'^i = r^i - v_{\text{п}}{}^i t. \end{cases}$$
$$\begin{cases} c'^0 = c^0, \\ c'^i = c^i - v_{\text{п}}{}^i c^0. \end{cases} \tag{1.12}$$
$$\begin{cases} c'_0 = c_0 + c_i v_{\text{п}}{}^i, \\ c'_i = c_i. \end{cases}$$

где $v_{\text{п}}{}^{i}$ – скорость новой ИСО относительно исходной.

Частота ω остается инвариантным параметром в силу ее глобальной скалярности, а фаза □$_0$, несмотря на свою скалярность, преобразуется по особым правилам, т.к. она зависит от точки начала координат. Есть еще один интересный параметр – 1 (единица), которая иногда 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 $1 = c_0 v^0$, и в таких случаях она должна преобразовываться соответствующим способом.

9. Литература

1. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : Наука, 1972. – 351 с.
2. Детлаф, А. А. Курс общей физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. Высшая школа, 2017. – 245 с.
3. Димитриенко Ю. И. Тензорное исчисление: Учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 2001. – 575 с. 74
4. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Бином, 2017. – 146 с.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: В 10 т. : т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с
6. 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),
7. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. М. : Наука, 1965. [Einstein A Ann. Physik 322 891 (1905)]
8. 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.
9. Тимин В. А. Эксперимент Майкельсона–Морли. URL: http://vixra.org/abs/1908.0574
10. Тимин В. А. Уравнения распространения волн в различных пространствах. URL: http://vixra.org/abs/1908.0091
11. Тимин В. А. Преобразования галилеевых тензоров. //Galilean Transformations of Tenzors, URL: http://vixra.org/abs/1907.0546
12. Тимин В. А. Equation of a Wave in Galilean Space //Уравнение волны в ГП. URL: viXra:1912.0089. 11 с.

Все мои работы:

13. Тимин В. А. http://vixra.org/author/valery_timin

Адрес данной работы:

–