

Michelson–Morley Experiment

Valery Timin

Creative Commons Attribution 3.0 License

(version 6 from October 23, 2019)

Russia, RME

(с дополнениями и исправлениями замеченных ошибок и неточностей. Добавлены новые разделы).

The Michelson–Morley experiment is devoted to the experimental measurement of the anisotropy of the velocity of light propagation on The earth's surface. Since at that time it was believed that space is Galilean and it is filled with ether, and light is distributed in it as in AIRS in accordance with the additive law of addition of velocities in Galilean space, it was possible to determine the speed of the Earth relative to the "ether" and the direction of motion of the Solar system in cosmic space. But the result, as we know, is negative. Rose "ethereal wind" was isotropic, Toch–it–zero. Why didn't the theory coincide with the experiment?

In the orthonormal wave space of the Einstein SRT, the coordinates are tied in each individual IRS to the quantities of waves from the reference source resting in it that fit perfectly in space and time. But whatever coordinate system is adopted, the number of waves on the trajectory will not depend on it. And the phases of the waves returning from the Michelson–Morley installation route will coincide invariably in any wave IRS. But only with wave standards. Not Galilean Absolutes! If we had Galilean absolute standards, we would see the world differently. At least–if not with eyes, ears, nose, tongue, hands (tactile) and other available sensory organs—at least in physical experiments. But it is not necessary to hope for it – all real standards are subordinated to electromagnetic, weak, strong and gravitational

with finite, equal to speed of light in vacuum, to interactions. And these are the same waves again.

(Translated by Yandex Translator [Яндекс–Переводчик](#))

Опыт Майкельсона–Морли посвящен экспериментальному измерению анизотропии скорости распространения света на поверхности Земли. Т.к. в то время считалось, что пространство является галилеевым и оно заполнено эфиром, а свет распространяется в ней как в АИСО в соответствии с аддитивным законом сложения скоростей в галилеевом пространстве, то предполагалось возможным определить скорость Земли относительно "эфира" и направление движения Солнечной системы в космическом пространстве. **Но результат, как известно, отрицательный. Роза "эфирного ветра" оказалась изотропной, точнее – нулевой.** Почему теория не совпала с экспериментом?

В ортонормированном волновом пространстве СТО Эйнштейна координаты привязаны в каждом отдельном ИСО к условно укладываемым в пространстве и времени количествам волн от покоящегося в ней эталонного источника. Но какая бы ни была принята координатная система, количество волн на траектории не будет зависеть от нее. И фазы возвращающихся с маршрута установки Майкельсона–Морли волн будут совпадать неизменно в любом волновом ИСО. Но только с волновыми эталонами. Не галилеевыми абсолютными! Если бы у нас имелись галилеевы абсолютные эталоны, мир мы увидели бы другим. По крайней мере – если не глазами, ушами, носом, языком, руками (тактильными) и другими доступными чувствующими органами – хотя бы в физических экспериментах. Но надеяться на это не приходится – все вещественные эталоны подчинены электромагнитному, слабому, сильному и гравитационному с конечной, равной скорости света в вакууме, взаимодействиям. А это – опять же те же самые волны.

Эксперимент Майкельсона–Морли

Оглавление

Галилеево пространство и абсолютные эталоны.....	7
Экспериментальная установка ММ.....	7
Эксперимент ММ в галилеевом пространстве.....	9
Движение в параллельном "эфирному ветру" направлении.....	9
Движение в перпендикулярном направлении.....	12
Специфика постановки эксперимента.....	13
Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с галилеевыми абсолютными эталонами длины и времени.....	15
Волновое пространство и волновые эталоны.....	21
Виды эталонов.....	21
Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с глобальными волновыми эталонами длины и времени.....	27
Координатная сетка.....	32
Распространение луча света в перпендикулярном к движению установки направлении.....	39
Распространение луча света в перпендикулярном к движению установки направлении в галилеевом пространстве.....	41
Распространение луча света в перпендикулярном направлении в галилеевом пространстве с волновыми эталонами длины и времени.....	48
Объяснение эксперимента ММ в СТО.....	55
Варианты пространств с волновыми эталонами.....	60
Релятивистские координаты.....	62
Дорелятивистские координаты.....	64
Координаты Тангерлини.....	65
Галилеевы координаты.....	67
Литература.....	69
Мои работы.....	69

Опыт Майкельсона–Морли (далее – ММ) посвящен экспериментальному измерению анизотропии скорости распространения света на поверхности Земли. Т.к. в то время считалось, что пространство является галилеевым и оно заполнено эфиром, а свет распространяется в ней как в АИСО в соответствии с аддитивным законом сложения скоростей в галилеевом пространстве, то предполагалось возможным определить скорость Земли относительно "эфира" и направление движения Солнечной системы в космическом АИСО. Замечу, что слова "АИСО" галилеева пространства, абсолютные и волновые эталоны являются ключевыми для анализа результата опыта ММ.

Этот вопрос вызывает большой интерес в среде физиков и сегодня, потому что ответ на него не очевиден и в пространствах с различной геометрией и скоростью получения информации, а также с использованием эталоном с различными свойствами, ответ может быть различным. Геометрия реального пространства определяется ее физическими эталонами, а в теоретической физике – ее абстрактной математической метрикой, повторяющей свойства эталонов. Например, в галилеевом пространстве, в котором возможно движение м.о. с произвольной скоростью, скорость получения информации стремится к бесконечности. И в ней должны существовать два абсолютных эталона – длины и времени.

Кроме движения м.о. с произвольной скоростью, в пространстве возможно также и волновое движение, скорость распространения фронта волны которой конечна. В галилеевом пространстве с бесконечной скоростью получения информации можно однозначно получить информацию о скорости распространения фронта волны c простым опытом по формуле вычисления скорости по известному расстоянию L и времени распространения Δt :

$$c = \frac{L}{\Delta t}, \quad (1)$$

причем этим способом можно получить скорость фронта волны в любом направлении. В том мире, в котором мы живем, эта формула прекрасно работает с любыми волновыми движениями. Но оказалось, не со всеми. Эксперимент ММ показал, что свет распространяется в любом направлении в любой с.о. с одной и той же скоростью $c \sim 3 \cdot 10^8$ м/с.

В пространстве, в котором нет абсолютных эталонов, возможно существование только эталонов на основе не абсолютных эталонов длины и времени на основе волновых движений. Следовательно, и сами параметры волновых движений можно будет измерять только сравнением с другими волновыми процессами. А основными волновыми параметрами являются длина и временная продолжительность определенного количества волн эталонного периодического процесса в вакууме (в "эфире"?). В свете этого скорость распространения света не может зависеть ни от направления, ни от скорости с.о., потому что они должны быть измерены с помощью этой же световой волны или по крайней мере связаны с ней через электромагнитные взаимодействия. В опыте ММ еще питали надежду, что это не так и "твердые" м.о. не являются "волновыми" объектами, а являются галилеевыми объектами.

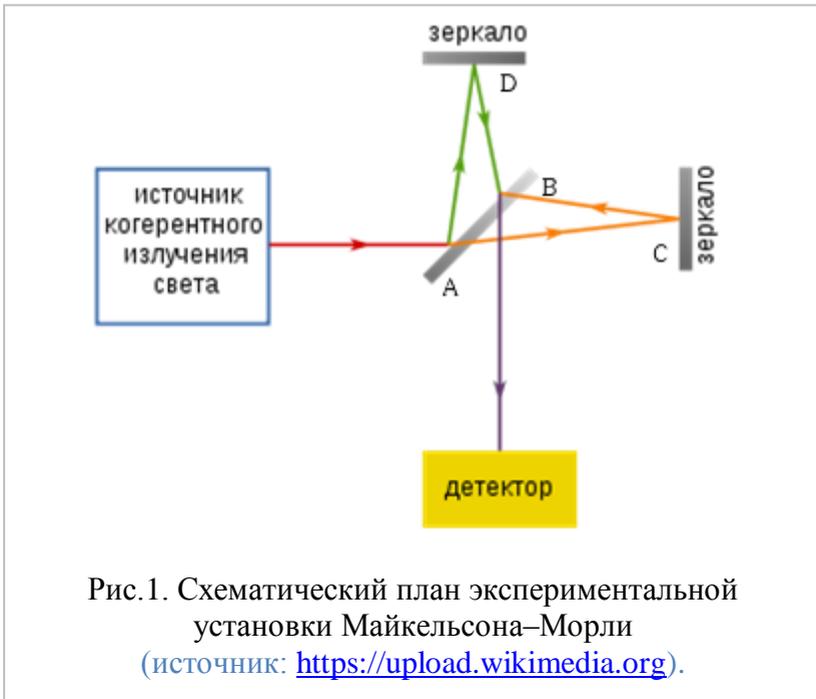
Современные практические эталоны, используемые в технике и физике, как раз являются такими. Международный комитет мер и весов в 1967 г. принял **новое определение секунды**, которая получила название АТОМНОЙ СЕКУНДЫ, – это время, в течение которого совершается $9'192'631'770$ переходов между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при температуре абсолютного нуля по шкале Кельвина. **Метр** определяется как длина пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ с. Из этого следует, что в системе СИ скорость света в вакууме принята равной 299792458 м/с.

А. Эйнштейн в своей работе “К электродинамике движущихся сред” указывал, что распространению принципа относительности на оптику и электродинамику содействовали “неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно “светоносной среды”. Многие физики считают, что появление специальной теории относительности (СТО) А. Эйнштейна было следствием объяснения отрицательного результата именно опыта ММ, в котором, как полагают, вопрос о движении Земли относительно эфира был поставлен в наиболее прямой форме. Эта версия укоренилась в литературе, в частности, в учебной: очень удобно методически выводить СТО из опыта ММ.

Галилеево пространство и абсолютные эталоны

Экспериментальная установка ММ

Цель опыта ММ заключалась в определении скорости "эфирного ветра", обусловленного движением Земли относительно эфира – гипотетической среды, заполняющей, все мировое пространство и свободно проходящей сквозь любые вещества и среды: твердые тела, жидкости, газы. В настоящее время точность опытов позволяет найти относительные отклонения изотропности скорости света в 10^{-18} , Однако на этом уровне никаких отклонений не найдено. Опыты ММ являются эмпирической основой принципа инвариантности скорости света, входящего в общую теорию относительности (ОТО) и специальную теорию относительности (СТО). Схематически установка для проведения такого опыта приведена на [Рис.1](#). Этой экспериментальной схемой воспользовались ученые конца XIX – начала XX веков Майкельсон и Морли. Суть опыта заключается в следующем. Монохроматический луч света от источника когерентного источника, пройдя через собирающую линзу, попадает на полупрозрачное зеркало (AB), наклоненное под углом 45 градусов, где разделяется на два луча, один из которых движется перпендикулярно направлению предполагаемого движения прибора относительно эфира, другой — параллельно этому движению. На одинаковом расстоянии L от полупрозрачного зеркала (AB) установлены два плоских зеркала — C и D . Лучи света, отражаясь от этих зеркал, снова падают на зеркало (AB), частично отражаются, частично проникают сквозь него и попадают на экран (детектор).



На детекторе формируются интерференционные волны, по отклонениям которых от некоторого нормального положения определяют скорость "эфирного ветра". Если интерферометр покоится относительно эфира, то время, затрачиваемое первым и вторым лучами света на свой путь, одинаково, и в детектор попадают два когерентных луча в одинаковой фазе. Следовательно, возникает интерференция, и можно наблюдать центральное светлое пятно на интерференционной картине, характер которой определяется соотношением форм волновых фронтов обоих пучков. Если же интерферометр движется относительно эфира, то время, затрачиваемое лучами на свой путь, оказывается разным.

Опыт ММ принципиально был направлен на то, чтобы подтвердить (или опровергнуть) существование мирового эфира посредством выявления «эфирного ветра» (или факта его отсутствия). Опыты ММ и многочисленные современные опыты с

высокой точностью показали, что "эфирного ветра" нет и, следовательно, во всех предыдущих случаях времена должны совпадать.

Эксперимент ММ в галилеевом пространстве

(с использованием расчетного материала
https://ru.wikipedia.org/wiki/Опыт_Майкельсона)

Посмотрим, как происходит движение света, точнее, время движения света, в представлении как классической волны, в простейшем случае при движении от точки *A* до точки *B* и обратно. Это движение может быть разделено на два принципиально различных случая – 1) в состоянии покоя и 2) в состоянии движения относительно эфира. В каждом из этих случаев можно выделить еще три подслучая: а) движение "туда", б) движение "обратно", с) движение "туда и обратно". В галилеевом абсолютном пространстве каждый из этих случаев не только вычисляется теоретически, но и экспериментально измеримо. В не абсолютном пространстве это может быть и не так – в каждой с.о. свои эталоны длины и времени.

Движение в параллельном "эфирному ветру" направлении

1). Если нет "эфирного ветра", т.е. точки *A*, *B*, *C* и *D* находятся в состоянии покоя относительно "эфира". Время распространения "туда и обратно" (см. Рис.2) в любом направлении определяется по формуле

$$T_0 = T_{0в} + T_{0н} = \frac{L}{c} + \frac{L}{c} = \frac{2L}{c}. \quad (2)$$

Здесь *c* – скорость света,

T_0 – общее время движения света "туда и обратно", индекс "0" говорит о состоянии покоя установки,

L – расстояние между точками A и C , A и D ,

$T_{0в}$ – время движения света "туда",

$T_{0н}$ – время движения света "обратно".

В данном случае время движения "туда" равно времени движения "обратно".

2). Если есть "эфирный ветер" со скоростью v , то точки A и B находятся в состоянии относительного движения относительно "эфира". С точки зрения "эфира" это эквивалентно движению источника в обратном направлении. В предположении, что свет движется со скоростью c в галилеевом АИСО, вычислим время движения луча туда и обратно.

а) Время распространения "туда" определяется по формуле (см. Рис.3):

$$T_{||в} = \frac{L}{c - v}. \quad (3)$$

б) Время распространения "обратно" определяется по формуле:

$$T_{||н} = \frac{L}{c + v}. \quad (4)$$

с) Время распространения "туда и обратно" определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 T_{\parallel} &= T_{\parallel\text{в}} + T_{\parallel\text{н}} = \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c + v} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\
 &= 2\gamma^2 \frac{L}{c}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где $\gamma^2 = 1 / \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$. Причем это время не зависит от направления движения.

Сравнивая эти случая, видим, что при наличии "эфирного ветра" время движения "классического света" отличается от предыдущего случая и зависит от направления "встречно – попутно" "эфирного ветра". А общее время движения "туда – сюда" становится больше, чем как если бы не было "ветра".

$$T_{\parallel 0} \leq T_{\parallel}.$$

Сложность выполнения эксперимента по представленному выше расчету заключается в том, что мы не можем в реальном эксперименте разделить эти два случая. Мы даже не знаем, есть этот самый ветер или ее нет. А если есть – не знаем, в каком направлении он дует. И сама наша задача заключается в определении ее существования и измерении ее направления и скорости.

Для избежания этой сложности можно одновременно использовать два взаимно перпендикулярных когерентных луча. В соответствии с теорией эфира разность фаз в параллельном и перпендикулярном плече поддаются количественной оценке и обнаруживаются соответствующими экспериментальными средствами (ММ): если скорость "эфирного ветра" в направлении двух лучей различна, то и время движения для этих лучей будет различной.

Движение в перпендикулярном направлении

В дополнение к формулам (1) – (5) рассчитаем количественную оценку времени прохождения луча по перпендикулярному направлению для сравнения с прохождением в попутном направлении. Для определения скорости волны в перпендикулярном направлении воспользуемся сложением векторов v и c как катеты в прямоугольном треугольнике. Пусть $v + c$ — скорость волны в направлении зеркала. Тогда v_{\perp} будет равняться

$$v_{\perp} = |v_{\perp}| = \sqrt{v^2 + c^2} = c \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}. \quad (6)$$

Мы можем теперь вычислить и время прохождения луча по перпендикулярному направлению:

$$T_{\perp} = \frac{2L_{\perp}}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L}{c}. \quad (7)$$

Здесь L_{\perp} — это гипотенуза, по ней сигнал идёт с увеличенной скоростью. При этом прохождение катета со скоростью c даст то же время, что и прохождение гипотенузы с этой увеличенной скоростью. Поэтому достаточно рассмотреть время в виде

$$T_{\perp} = \frac{2L}{c}. \quad (8)$$

Разность фаз двух перпендикулярных лучей будет пропорциональна разности времен прохождения своих путей каждым из лучей:

$$\delta = c(T_{\perp} - T_{\parallel}) = 2 \left(\frac{L}{c} - \frac{L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right) \sim -2 \frac{L v^2}{c^3} \quad (9)$$

Для установки с плечами $L = 30$ м, скоростью установки относительно "эфира" $v = 30'000$ м/с $= 3 \cdot 10^4$ м.с. будем иметь разность времен $\delta_t = 2 \cdot 30 \cdot (3 \cdot 10^4)^2 / (3 \cdot 10^8)^3 = 2 \cdot 10^{-15}$ с. Глаз человека чувствителен к электромагнитным волнам с частотами от $4 \cdot 10^{14}$ до $8 \cdot 10^{14}$ Гц, и используемый интерферометр вполне способен заметить получаемую разность фаз.

Специфика постановки эксперимента

Особенностью проведенных выше расчетов является то, что в них не учитывается специфика распространения использованных в эксперименте волновых процессов. А эта специфика имеет очень большое значение.

В проведенных выше расчетах для получения экспериментального целевого результата выбраны параметры "время распространения луча по выбранным направлениям (параллельно и перпендикулярно к направлению "эфирного ветра") туда и обратно". Для реализации этого "выбора" в эксперименте необходимо реально измерять времена t_v и t_n . Но выполнить это с достаточной точностью практически невозможно: по крайней мере, в конце XIX века таких часов не было. Если бы это можно было сделать, то можно было бы измерить и одностороннюю скорость света в заполненном эфиром галилеевом пространстве.

В реально поставленном эксперименте ММ детектирование факта разных времен хода лучей в разных направлениях осуществлялось измерением разности фазы двух когерентных лучей определенной частоты в конце пути на детекторе через соответствующее смещение интерференционной картины в результате прохождения лучом двойного расстояния "туда и обратно". Ре-

зультат по (9) ожидался пропорциональным квадрату скорости "эфирного ветра". В результате теоретически появлялась возможность получить "розу" скоростей луча света в разных направлениях реального пространства и вычислить скорость "эфирного ветра".

Но результат, как известно, отрицательный. Роза "эфирного ветра" оказалась изотропной, точнее – нулевой. Почему теория не совпала с экспериментом?

Ответ, пожалуй, достаточно очевидный. Расчет фазы волны φ в конце пути произведен по формуле

$$\Delta\varphi = \frac{T_{\text{в}} + T_{\text{н}} - 2T_{\perp}}{\omega}. \quad (10)$$

без учета свойств реальных эталонов длины и времени. А они оказались не галилеевыми. Получилось математическая тавтология: скорость света равна скорости света: $c = c \rightarrow c = c$.

Теоретически возможно использование двух видов эталонов – галилеева и волнового. Галилеевы эталоны длины и времени обладают абсолютными свойствами, и результаты измерения длины и времени не зависят от состояния движения ни экспериментальных устройств, ни от состояния движения объектов измерения. Галилеевы эталоны соответствуют галилееву пространству.

Другой вид эталонов – волновые. Волновые эталоны соответствуют волновым пространствам. Пространство СТО и некоторые другие относятся к ним. В их основе лежат свойства, которым подчиняется движение волн света. Такими параметрами являются частота f , длина волны l и скорость ее распространения c . Эти три параметра зависимы отношением:

$$f \cdot l = c. \quad (11)$$

Реальные эталоны длины и времени построены именно на этих свойствах эталонных периодических электромагнитных процессов и зависимости (11) (см. начало работы).

Волновые эталоны вполне можно применять для разметки галилеева пространства – но только одного из ИСО, в которой световая волна распространяется изотропно и которое фактически является АИСО для этой волны. В галилеевом пространстве существует единственное с точностью до смещения и поворотов такое ИСО \equiv АИСО. Все остальные ИСО галилеева пространства не могут пользоваться этими волновыми эталонами для своей разметки в силу очевидной причины – не изотропии, и должны будут использовать для преобразований координат разметку АИСО.

Далее рассмотрим особенности использования использования лучей света обоих видов эталонов.

Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с галилеевыми абсолютными эталонами длины и времени

Ключевые словосочетания здесь галилеево пространство, галилеев эталон, эфир и "эфирный ветер" и "волновое АИСО", соответствующе изотропному распространению эталонной волны. Это АИСО одновременно и АИСО для эфира.

В галилеевом пространстве и при наличии, и при отсутствии "эфирного ветра" необходимо обеспечить равенство "галилеевых" длин (!) двух плеч интерферометра в единицах длины галилеева эталона длины. Естественно, в результате эффекта Доплера при движении установки длина волны и ее скорость относительно установки будут различными в разных направлениях. Но частота будет инвариантной независимо от

направления. Это связано с абсолютностью определения времени и длины и, естественно, как следствие, времени начала фазы зарождения волны независимо от скорости, ее направления и места ее зарождения. В направлении "туда" на длине плеча интерферометра будет укладываться $fT_{\text{в}}$ длин волн, а в обратном направлении $-fT_{\text{н}}$ длин волн, где f – частота волны. Этот случай полностью соответствует вышеприведенному расчету.

Рассмотрим графически процесс распространения волны в установке "туда и обратно" в двух направлениях – параллельно "эфирному ветру" и перпендикулярно к нему в двух случаях – при отсутствии и при наличии "эфирного ветра" (см. Рис.2 и Рис.3).



Рис.2 Эксперимент Майкельсона–Морли в галилеевом пространстве. Распространение луча света параллельно "эфирному ветру"

На Рис.2 и Рис.3 показаны также координатные сетки. Фиолетовым штрих-пунктиром нарисованы мировые линии фронтов одномерных волн в двух направлениях для $c = 1$. На них же нанесены голубым цветом пронумерованные синусоиды волн. Для используемых в работе рисунков выбрана скорость установки в $1/4$ скорости света и частота 4 волны в секунду. Т.к. пространство галилеево, то частота, скорость и форма волн от источника A и от зеркал C и D на сетке АИСО не изменяется. Но длина изменяется в зависимости от

соответствует с.о. АИСО: "ветер" дует справа налево. Соответственно, экспериментальная установка движется слева направо.

Предположим, что скорость эфира равна нулю, а скорость волны равна 0 (в соответствии с Рис.2): ветра нет. Частота волны равна 4 колебаниям в секунду. В этом случае на пути до зеркал и обратно будет откладываться ровно 4 волны.

Предположим, что скорость эфира равна 0,25 (в соответствии с Рис.3): ветер есть. Частота эталонного луча f_0 от источника для АИСО не изменяется: в силу абсолютности времени во всему ПВ моменты времени формирования волн останутся прежними, т.е частота для галилеева пространства в целом останется прежней и равной 4 колебания в сек. Несмотря на то, что для покоящегося справа от A наблюдателя частота от источника A увеличится в соответствии с эффектом Доплера и будет равна

$$f_r = \frac{f_0}{c - v}, \quad (12)$$

форма волны от источника A останется той же, что и на Рис.2. Это отражено на Рис.3: на участке AC форма волны не изменилась. Но ее количество n_1 изменилось. Рассчитаем ее по нашим данным:

$$\begin{aligned} ct &= L + vt, \\ ct - vt &= L, \\ t &= \frac{L}{c - v}, \\ n_1 &= \frac{t}{L/4} = \frac{4t}{L} \rightarrow \\ t &= \frac{1}{1 - 0.25} = 1.33, \end{aligned} \quad (13)$$

$$n_1 = 4 * \frac{1.33}{1} \approx 5.33 \text{ (колебания).}$$

Частота на приемнике (зеркале C) f_{Π} не изменится за счет вторичного эффекта Доплера

$$f_{\Pi} = f_r(c - v) = \frac{f_0}{c - v}(c - v) = f_0. \quad (14)$$

и будет равна исходной частоте от источника. Следовательно, от зеркала отраженный сигнал будет иметь эту же исходную частоту (в галилеевом пространстве!) и фронты будут формироваться в те же моменты времени, что и без ветра. Рассчитаем параметры движения обратно к детектору. Расчет прежний по формуле (14), только скорость изменит знак:

$$ct = L - vt,$$

$$ct + vt = L,$$

$$t = \frac{L}{c + v},$$

$$n_2 = \frac{t}{L/4} = \frac{4t}{L} \rightarrow \quad (15)$$

$$t = \frac{1}{1 + 0.25} = 0,8,$$

$$n_2 = 4 * \frac{0,8}{1} \approx 3,2 \text{ (колебания).}$$

При этом частота на детекторе за счет вторичного эффекта Доплера на обратном сигнале также, как и на зеркале C , не изменится.

Из расчета видно, что луч "туда" до зеркала C совершает 5,33 колебаний, о "обратно" – 3,2 колебания. Рассчитаем общую величину эффекта:

$$\begin{aligned}
 n &= n_1 + n_2 - n_0 = \frac{f}{c - v} + \frac{f}{c + v} - \frac{2f}{c} = \\
 &= \frac{2fc}{c^2 - v^2} - \frac{2f}{c} = 2f \left(\frac{c}{c^2 - v^2} - \frac{1}{c} \right) = 2f \frac{c^2 - c^2 + v^2}{(c^2 - v^2)c} = \\
 &= 2f \frac{v^2}{(c^2 - v^2)c} = 2 \cdot 4 \frac{0.25^2}{1 - 0.25^2} \approx 8,53 - 8 \\
 &= 0,53 \text{ (колебания)}.
 \end{aligned} \tag{16}$$

В общей сумме получили 8,53 колебания. Разность фаз составила 0,53 колебания.

Процесс распространения волны в установке "туда и обратно" в направлении перпендикулярно "эфирному ветру", согласно (8), не зависит от наличия "эфирного ветра". Поэтому графически процесс хода луча ничем не отличается от Рис.2, точнее, вместо оси x будет нарисована ось y . Из Рис.2 видно, что пути, проходимые лучом в перпендикулярном к "ветру" направлении, в обоих направлениях – туда и обратно – равны, и общая длина пути равна 8 длинам волн.

В итоге получаем, что $8 \neq 8,53$: это больше, чем 8 колебаний без "эфирного ветра" на 0,53 колебания, и оно еще зависит от скорости.. Следовательно, при наличии "эфирного ветра" в галилеевом пространстве с галилеевыми (!) эталонами в рассматриваемом нами примере должно наблюдаться отклонение фазы интерференционной картины на 0,53 единицы.

Волновое пространство и волновые эталоны

Виды эталонов

Имеются два основных вида эталонов. Это галилеевы абсолютные эталоны и волновые эталоны. Но сколько бы ни было видов эталонов,

1) основным их свойством является принимаемое по умолчанию неизменность их свойств от места нахождения, ориентации и состояния движения. Конечно, в соответствии с принципом относительности, что может в теоретическом плане означать "в любом ИСО". Это означает, что независимо от пути проноса эталона вдоль любой траектории и его ориентации, при возвращении в исходную точку эталон может изменить только свою ориентацию, не более. В противном случае было бы бессмысленно их использование по назначению и в технике, и в науке.

Все пространства определяются в одном и том же 4–мерном пространстве–времени. Это означает, что различные эталоны могут быть использованы в одном и том же 4–мерном пространстве. В связи с этим

2) неизменность свойств эталона не означает, что разные эталоны в одних и тех же условиях будут показывать одно и то же значение измеряемого параметра. Если бы все эталоны показывали всегда одно и то же измеренное значение, можно было бы их и не отличать. С другой стороны, для науки и техники будет правильно, если бы существовала с.о., в которой все эталоны показывали бы одно и то же значение измерения. Эта с.о. в каком–то смысле обладает свойствами АИСО: только в ней все эталоны синхронизированы. Но ответить на вопрос, обладает ли какая либо с.о. с т.з. текущих эталонов этим свойством, может и не иметь ответа. Для такого ответа по крайней мере необходимо иметь уникальный объект, обладающий неинвариантными метрическими свойствами относительно текущих эталонов. Если в

каком–то пространстве все ИСО и все объекты равноправны, то ответ отрицательный. В теоретической физике обычно этот принцип постулируется.

3) Как следствие, существование эталонов с различными свойствами при изменении состояния движения говорит о том, что результат измерения может зависеть от состояния взаимного движения эталонного измерительного устройства и объекта измерения.

В рассматриваемой нами работе основными измеримыми величинами являются время и расстояние. Не праздный вопрос – насколько они независимы?

В галилеевом пространстве они абсолютны и независимы. Галилеевы эталоны обязаны обладать эти же свойством. Это означает, что, независимо от состояния движения эталона и измеримого объекта в пространстве, результат измерения будет одним и тем же. Теоретически это означает, что какие бы допустимые преобразования координат мы ни производили, временные промежутки и расстояния между любыми двумя событиями будут инвариантными. Технически это означает, что длина объекта в галилеевых эталонах при любых движениях есть величина инвариантная. То же самое с часами. Но есть ограничения, естественные для галилеева пространства: расстояние определено только между двумя одновременными точками. К промежутку времени ограничений нет.

Формулы преобразования галилеевых координат, соответствующие галилеевым эталонам, следующие:

$$\begin{cases} t' = t, \\ x' = x - vt, \\ y' = y, \\ z' = z. \end{cases} \quad (17)$$

Здесь v – скорость штрихованной с.о. в нештрихованной. Штрихованная с.к. здесь и далее соответствует волновой с.к. или об

измерениях в волновых эталонах. Каких либо ограничений на значение этой скорости не имеется, независимо от наличия или отсутствия какого либо АИСО. Наличие АИСО определяется только выбором некоторого ИСО как АИСО, и надделение ее особыми свойствами. Например, существованием в этой АИСО некоторой абсолютной изотропной скорости c .

Волновое пространство и волновой эталон являются противоположностями по отношению к галилеевым пространству и эталонам. В основе эталона волнового пространства лежит устройство–источник распространяющегося в пространстве периодического сигнала эталонной частоты. За единицу эталонного времени применяется промежуток времени, соответствующий определенному количеству периодов ее излучения (в точке излучения – условие одноместности), а за единицу эталонной длины применяется расстояние, в которой укладывается определенное количество волн ее излучения, соответствующее одному и тому же значению времени (условие одновременности).

Формулы преобразования волновых координат, соответствующие волновым эталонам, в общем случае следующие:

$$\begin{cases} t' = \gamma_t \left(t - \frac{vx}{c^2} \right), \\ x' = \gamma_x (x - vt), \\ y' = y, \\ z' = z. \end{cases} \quad (18)$$

Здесь γ_t и γ_x – соответствующие "релятивистские" коэффициенты. Они определяют коэффициенты замедления хода времени и сокращения длины.

По сравнению с (17) здесь появляется еще один дополнительный параметр преобразования – фундаментальная скорость c . Физически она интерпретируется как скорость распространения фронта волны (или информации) в пространстве и времени. В применении к эталонам она означает, что информация может

быть доступна наблюдателю с этой предельной скоростью между любыми двумя одновременными точками ПВ. Принципиально важно только следующее: не нарушая общности, можно выбрать ее значение равным $c = \infty$ (бесконечности) или $c = 1$ (единице). Первый случай будет соответствовать галилееву пространству с абсолютными эталонами. Второй случай соответствует пространству с волновыми эталонами. Случай $c = 0$ исключается.

Как видно из (18), параметров, определяющих преобразования волновых координат, в общем случае значительно больше – их всего четыре. Но есть ограничение – при $v \rightarrow 0$ должно быть $\gamma \rightarrow 1$. Это соответствует бесконечно малым преобразованиям при бесконечно малых скоростях:

$$\begin{cases} t' = t - \frac{vx}{c^2}, \\ x' = x - vt, \end{cases} \quad (19)$$

Эта формула соответствует преобразованиям волновых координат, соответствующих галилеевым эталонам в области бесконечно малых скоростей v и/или бесконечно большой скорости c . В таком волновом пространстве промежутки времени и длины абсолютны равны соответствующим им значениям в галилеевом пространстве.

Разберем физический смысл, интерпретацию уравнений (18). Уравнение (18) выделяет в ПВ подпространство одновременных событий:

$$\begin{aligned} t' = \gamma_t \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) = t_0 = \text{const} \rightarrow \\ t - \frac{vx}{c^2} = t_0 \rightarrow \\ t = t_0 + \frac{vx}{c^2}. \end{aligned} \quad (20)$$

Это уравнение говорит о том, что пространство одновременных событий движущейся ИСО меняет свое положение относительно состояния покоя. Смысл этого уравнения: понятие "одновременность" является понятием относительным. А само уравнение (20) можно назвать процедурой синхронизации часов в ИСО: все часы этого подпространства этой ИСО показывают одно и то же значение. А также это означает, что **частота эталонных часов этого волнового пространства синхронизируются по этим часам.**

Уравнение (18) выделяет в ПВ подпространство односторонних событий:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma_x(t - vt) = x_0 = \text{const} \rightarrow \\x - vt &= x_0 \rightarrow \\x &= x_0 + vt.\end{aligned}\tag{21}$$

Это уравнение говорит о том, что пространство односторонних событий движущейся ИСО меняет свое положение относительно состояния покоя, постоянно смещаясь в пространстве со временем. Смысл этого уравнения: понятие "односторонность" является понятием относительным.

Синхронизация. Условие односторонности и одновременности во всех пространствах по умолчанию определяется как удовлетворенное в любом (соответствующем ПО) ИСО. Но условие, определяющее ИСО, в различных пространствах может быть и обязано быть различным. Иначе и эталоны окажутся одинаковыми. Для удовлетворения условию одновременности и односторонности применяется процедура синхронизации.

В соответствии с формулами преобразования волновых координат, условие односторонности в произвольном ИСО определяется из условия преобразований пространственной координаты:

$$x' = \gamma_x(x - vt) = \text{const.} \quad (22)$$

Как видно, в ИСО точка одноместности все время смещается в направлении движения ИСО. А условие одновременности в произвольном ИСО определяется из условия преобразований координаты времени:

$$t' = \gamma_t \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) = \text{const.} \quad (23)$$

В галилеевом пространстве $c \rightarrow \infty$, поэтому одновременность инвариантна. Но в произвольном волновом пространстве при $c < \infty$ это условие не инвариантно: что было одновременно в одной ИСО, стало не одновременным в другой с.о.

В конкретном пространстве для конкретного ИСО условие синхронизации удовлетворяется автоматически, но при формировании координатной сетки (ИСО) проводится синхронизация часов и линеек в соответствии с ее ПО.

Процедура синхронизации имеет значение при использовании различных эталонов в одном и том же пространстве. Как мы выяснили ранее, эта синхронизация возможна для одного из ИСО. Например, в предыдущей части при использовании волновых процессов произведена синхронизация формирования волн в соответствии с абсолютными галилеевыми эталонами, что в принципе свело на нет эффект от применения волновых эталонов. Несмотря на то, что эффект Доплера сохранился. В следующей части произведена синхронизация волновых и галилеевых промежутков времени и длины, но не абсолютных значений времени и пространственной координаты (с точностью до трансляций и вращений).

О практическом эталоне (см. начало работы). Для тех, кто думает, что наука и техника на Земле пользуются абсолютными галилеевыми эталонами, разочарую – даже сами определения эталонов определены через параметры электромагнитного ис-

точника стандартной эталонной частоты. Для использования в технике и быту, а также долгосрочного счета времени используется синхронизация всех часов – покоящихся и движущихся – с эталонными часами в выделенном ИСО, в качестве которой используется с.о. "Земля". Эту систему можно считать АИСО, а сам процесс синхронизации – аналогом "абсолютизации" системы координат, ее "галилеевизации". Все часы на Земле подстраиваются под нее. Например, через GPS или GLONAS (или тривиально – через покоящиеся относительно поверхности Земли часы с весьма разными принципами эталонирования, но практически синхронизированные в одном единственном выделенном АИСО). Движущиеся часы в ней также подстраиваются (синхронизируются) под нее.

В эксперименте ММ, как показал сам эксперимент, и всех современных научных экспериментах используется волновое пространство с волновыми эталонами, тоже синхронизированное с определенным таким образом АИСО. Видимость "галилеевости", абсолютности времени и нашего пространства всего лишь видимость, и определяется она малыми реальными скоростями и размерами ее объектов.

В результате имеем, что человек живет в одной единственной, связанной с Землей, выделенной СО. Не скажу ИСО – много возражений против нее.

Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с глобальными волновыми эталонами длины и времени

Ключевые словосочетания здесь – АИСО и абсолютные эталоны, "волновое ИСО" и "волновые эталоны". Глобальные и безусловные. Еще одно ключевое словосочетание – эфир и гали-

леево пространство, а также условный "эфирный ветер" и связанное с ним условное АИСО: через них будет осуществляться связь с предыдущей "галилеевой" частью.

В галилеевом пространстве и при наличии, и при отсутствии "эфирного ветра" необходимо было обеспечивать равенство "галилеевых" длин двух плечей интерферометра в единицах длины галилеева эталона длины. Как известно, результат экспериментов ММ и других показали, что в физической реальности расчеты предыдущей части не реализуются. Следовательно, необходимо рассмотреть какую-то альтернативу.

В данной части рассмотрим тот же самый эксперимент с той же самой установкой в том же самом галилеевом пространстве, но с другими, не галилеевыми, эталонами. А именно, в качестве эталона возьмем эталонный волновой процесс распространения фронта волны эталонной частоты. Тем более, это соответствует принятым международным сообществом практическим эталонам длины и времени (см. начало работы). Таким образом,

1) синхронизируем волновые эталоны с галилеевыми эталонами условного АИСО в состоянии покоя;

2) также принимаем достаточно произвольное предположение об абсолютности скорости течения времени и любых пространственных промежутков (и, конечно, длины и ширины установки) волнового пространства в состоянии движения (!): это условие синхронизации с абсолютными эталонами длины и продолжительности времени галилеева пространства. Это условие говорит о том, что два эталона частоты – галилеев и волновой – работают на одной и той же частоте, но только их фазы в разных точках ПВ могут отличаться;

3) при этом за единицу длины волнового эталона принимается определенное количество длин электромагнитной волны эталонной частоты, а за единицу времени – промежу-

ток времени, соответствующий этому количеству волн (Рис.4).

Такая ситуация с эталонами возможна только в том случае, когда эталонные источники (генераторы) ИСО и АИСО (выделенная с.к.!) синхронизированы в одной точке ПВ, а в других точках производится независимая собственная для каждого из пространств синхронизация по этой точке.

Это все принципиально изменяет ситуацию с возможным ходом, результатом и выводами эксперимента по сравнению с предыдущим случаем (см. Рис.3). Несмотря на синхронизацию с галилеевыми эталонами, данная часть имеет общее методическое значение: независимо от конкретного возможного способа синхронизации или ее отсутствия результат эксперимента будет отрицательным в силу выбора волнового эталона.

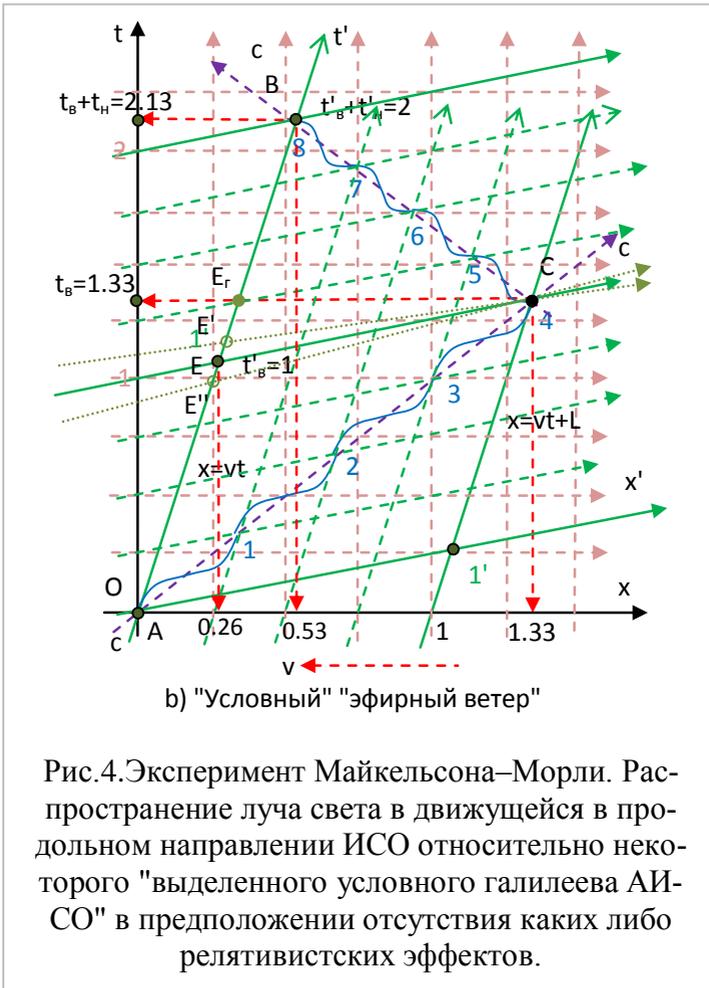
Рассмотрим графически процесс распространения волны в установке "туда и обратно" в двух направлениях – параллельно и перпендикулярно к условному "эфирному ветру" в галилеевом "эфирном" АИСО в двух случаях – при отсутствии и при наличии этого условного "эфирного ветра" (Рис.4). Первый случай – отсутствие условного "эфирного ветра". Этот случай ничем не отличается от такого же случая предыдущей части (см. Рис.2) – случая АИСО галилеева пространства. Но в данной части – это просто выбранная условно как начальная, выделенная как галилеево АИСО (по условию синхронизации) с.о. Поэтому сразу же перейдем к случаю наличия условного "эфирного ветра" и параллельному к ней движению установки (Рис.4). Случай перпендикулярного к "эфирному ветру" направления движения луча требует отдельного рассмотрения (см. далее). Забегая вперед, можно сказать, что в этом случае возможно *проявление релятивистского эффекта замедления времени и сокращения длин*.

В условно галилеевом АИСО на маршруте "туда и обратно" скорость волн остается постоянной, как и на Рис.2 и Рис.3. Проблем с движением волны в условном АИСО и в случае волнового пространства (при отсутствии "ветра") не имеется: эталоны

длины и времени и в галилеевом, и в волновом пространстве в состоянии покоя относительно АИСО по определению должны совпадать. Но нарисовать волны на этом маршруте в движущемся ИСО (при наличии условного "ветра") так же, как и на [Рис.2](#) и [Рис.3](#) (в галилеевом пространстве с галилеевыми эталонами), не можем, потому что здесь применяются другие эталоны. Не абсолютные, а волновые. Причем движущийся волновой экспериментатор не имеет возможности знать абсолютные пространственные и временные координаты, нанесенные в ПВ абсолютными галилеевыми эталонами. В соответствии с принципом формирования волновых эталонов длины и времени формирование эталонных волн в условном АИСО и в движущемся волновом пространстве связаны друг с другом только условиями синхронизации (см. выше), независимыми от движения волнового ИСО.

В данном рассмотрении по поставленному предварительно условию мы считаем, что промежутки времени и длины волнового пространства и с т.з. галилеева пространства, и с т.з. волнового пространства взаимно совпадают. Поэтому на [Рис.2](#) количество волн на пути L "туда и обратно" при отсутствии "эфирного ветра" должно быть равно четырем, как в галилеевом АИСО, так и в волновом ИСО. Но количество волн туда и обратно в движущемся галилеевом ИСО [Рис.3](#) уже не равно четырем. В соответствии со свойствами эталона времени: начала фронтов волн формируются в моменты абсолютного времени, и времена прохождения лучей "туда и обратно" уже отличаются ([см. Рис.3](#)).

В волновом пространстве независимо от наличия или отсутствия "эфирного ветра" должно укладываться одно и то же число длин волн луча выбранной частоты в обеих – и в параллельном, и в перпендикулярном – направлениях установки. Но это означает, что моменты начала волн должны формироваться также не по абсолютным галилеевым часам, а по собственным.



Но при этом в соответствии с нашим выбором неизменности, абсолютности скорости течения времени и длины в ИСО, их частота будет равна частоте в АИСО, но фаза для "время" ИСО не синхронизирована с "галилеевым абсолютным" временем. Точно также длина волн остается одной и той же в любой ИСО, но не синхронизирована с "абсолютной" координатой АИСО (см. Рис.4). В АИСО транслируются только проекции длины и промежутка времени волн ИСО, а из АИСО в ИСО транслируются галилеевы эталоны длины и времени. Не абсолютного вре-

мени и координаты АИСО, а именно только волновых эталонов. Поэтому в движущемся волновом пространстве **Рис.4** количество волн на маршруте L "туда и обратно" всегда в любом направлении должно быть одинаковым.

Выводы:

1) Несмотря на то, что и геометрия, и ход часов галилеева и волнового пространств вполне соответствуют друг другу, время прохождения и расстояние по абсолютным галилеевым и волновым эталонам принципиально отличаются. Пройденное расстояние и в волновом, и галилеевом пространствах в любом направлении в единицах собственных эталонов точно равно $1+1=2$ ед. Если в галилеевом пространстве в продольном направлении время движения равно $2,13$ с, то в перпендикулярном направлении и в волновом, и галилеевом пространствах равно точно 2 с. Т.е. независимо от значения скорости установки время движения по волновым эталонам не зависит от направления "эфирного ветра". И это отличает данный случай от случая синхронизации волновых эталонов по абсолютным галилеевым эталонам (реально – абсолютным часам и координатам) (см. Рис.3).

2) И никакого релятивизма! Но область применения ограничивается бесконечно малыми скоростями (см. (18), (19)).

Координатная сетка

Выше мы рассмотрели прохождение луча света в экспериментальной установке независимо от наличия или отсутствия на ней координатной сетки. Геометрия галилеева пространства с абсолютными галилеевыми эталонами и геометрия волнового пространства с зависимыми от ИСО волновыми эталонами – это две совершенно разные, независимые геометрии со своими, не сводимыми друг к другу, эталонами. Максимально, что возможно – синхронизация, и то условная. Как галилеево пространство со своими абсолютными эталонами, так и волновое пространство с волновыми эталонами допускают любую параметризацию координат – они абсолютно инвариантны относительно них, не-

зависимы и могут быть сведены друг к другу только в одном случае – в случае совпадения их ИСО с выделенной с.о. покоящегося в галилеевом пространстве АИСО.

Прообразами, выделенными представителями ортонормированных координатных систем являются абсолютное галилеево пространство и волновое пространство с геометрией Минковского. Абсолютная геометрия галилеева пространства однозначно определяется волновой метрикой, определенной в ее АИСО через определенное количество длин волн как эталонные длина и время, и продолженной во все другие ИСО. Инвариантное продолжение во все другие ИСО этого эталона возможно путем распространения эталонной синхронизирующей реперной волны (нескольких волн) из АИСО (системы типа GPS, GLONAS). Волновая геометрия волнового пространства однозначно определяется волновой метрикой, определенной отдельно в каждой ИСО через определенное количество волн как эталонные длина и время. Основное соглашение относительно эталона – считать, что один и тот же эталон как техническое устройство не изменяет свое свойство быть эталоном в любом ИСО. Из этого вовсе не следует, что галилеев эталон в любом ИСО совпадет с волновым эталоном или с любым другим. Есть еще одно очень важное межгосударственное практическое соглашение – соглашение относительно глобальной параметризации – соглашение об абсолютной синхронизации часов и координат на Земле как техническое АИСО.

На Рис.2 нанесена координатная сетка с использованием абсолютных галилеевых эталонов длины и времени для выделенного в ней АИСО и распространение фронта волнового луча. Т.к. в этой выделенной с.о. скорость распространения и длина эталонной волны являются инвариантами, то для нанесения координатной сетки вполне можно применить и эту волну как эталонную. Если для волнового пространства использовать этот же самый эталонный волновой источник, то и координатную сетку "покоящегося в галилеевом АИСО" волнового пространства

можно будет синхронизировать с галилеевым: они будут совпадать.

На Рис.3 нанесена та же координатная сетка с использованием абсолютных галилеевых эталонов длины и времени для выделенного в ней АИСО. В силу абсолютности пространства и времени галилеева пространства координата времени движущегося галилеева пространства будет совпадать с уже выполненной разметкой АИСО. Но пространственная координата движущегося галилеева пространства уже не будет совпадать с уже выполненной разметкой пространственной координаты АИСО: т.к. ось времени (на Рис.3 выделена зеленым цветом) будет наклонена по сравнению с исходной в сторону движения, то будет происходить постоянное смещение во времени значения пространственной координаты:

$$\begin{cases} t' = t, \\ x' = x - v_x t. \end{cases} \quad (24)$$

При этом ни длина, ни промежутки времени не изменят своих значений.

Возможность продолжения использования волнового эталона в состоянии движения относительно АИСО как галилеева эталона исключается хотя бы потому, что из-за эффекта Доплера и зависимости длины волны от ее скорости теряется смысл ее использования как абсолютного эталона. Несмотря на то, что имеется эффект Доплера и зависимость длины волны от ее скорости, в силу абсолютности времени, моменты формирования фронта галилеевой волны, синхронизированной с абсолютным временем, не будут зависеть от скорости, т.е. частота волны и моменты формирования фронта для попутного движущегося галилеева наблюдателя останутся инвариантными: но место формирования фронта волны будет меняться в соответствии с законом движения источника.

На Рис.4 показаны координатные сетки с использованием движущихся волновых эталонов (со значениями базовых координат в условных эталонных количествах волн): условного галилеева АИСО (мысленного) – светло–бежевым цветом, движущейся волновой с.о. – зеленым. При этом предполагается, что галилеева разметка условного АИСО (светло–бежевого цвета) со всеми своими конкретными значениями не доступна волновому наблюдателю, но промежутки времени и длины доступны. Но условно предполагаем, что АИСО и условный "эфирный ветер" все же существует хотя бы для оправдания постановки эксперимента с целью возможной установки такого доступа. Это соответствует условию эксперимента – именно ее мы и должны определить в эксперименте. Фиолетовым штрих–пунктиром нарисованы опять же условные мировые линии фронтов одномерных параллельных условному "эфирному ветру" волн в двух направлениях для $c = 1$. Мировые линии точек установки нанесены условные, и они инвариантны в используемой с.к. На них также нанесены голубым цветом пронумерованные синусоиды волн в соответствии со свойствами волнового эталона.

На Рис.4 координатная сетка построена из следующих соображений. Если использовать принцип соответствия, то по "генетическому" признаку применения одного и того же эталона и для галилеева АИСО, и для волнового пространства, и количество волн, и скорость, и время прохождения маршрута в обоих направлениях должны быть одними и теми же. Т.е. постулируется второе предположение (постулат) Эйнштейна. В ортонормированном волновом пространстве СТО Эйнштейна координаты привязаны в каждом отдельном ИСО к условно укладываемым в пространстве и времени количествам волн от покоящегося в ней эталонного источника.

В соответствии с этими соображениями ось линии координаты времени на Рис.4 прорисовывается однозначно – это мировая линия Ot' точки отражения AB полупрозрачного зеркала. Линия луча света по сравнению с Рис.3 также не изменилась. Причем в предположении, что время распространения луча "ту-

да – обратно" не изменилась, точке B необходимо присвоить координату $t' = 2$. Из тех же соображений координата конца отрезка маршрута (точка C) также известна и должна быть равна единице. Все это – в волновых единицах длины и времени. В общем случае возможного присутствия релятивистских эффектов мы не знаем эти единицы, поэтому мы не можем определить точные координаты точки C в галилеевом АИСО. Что мы знаем точно – что она находится на мировой линии движения фронта луча. Для более точного определения нужны дополнительные предположения. На Рис.4. эта точка выбрана из условия отсутствия релятивистских эффектов для сторон установки (!) и течения времени, поэтому и фронт луча движется точно так же, как и фронт галилеева луча (см. Рис.3). Забегая вперед, отмечу, что релятивистские эффекты для параметров установки в единицах волнового эталона длины в продольном направлении обязаны будут присутствовать, причем вполне однозначно.

Но вот задача проведения оси координат Ox' не столь однозначна. Она должна быть параллельна линии EC , следовательно, отрезок AE должен соответствовать времени движения волны "туда", а отрезок EB должен соответствовать времени движения волны "обратно". В галилеевом пространстве с абсолютными эталонами и других пространствах с абсолютными волновыми эталонами эти времена рассчитываются теоретически и могут быть в принципе однозначно экспериментально измерены и они параллельны оси x . Но в волновом пространстве с относительными эталонами это не так. Точка E может быть в любом месте между A и B – с т.з. галилеева АИСО: варианты – это точки E' и E'' – если можно найти соответствующее оправдание этого выбора. Вариантам с различными значениями координаты точки E соответствуют преобразования координат волнового пространства из АИСО ($c = 1$) с различными значениями параметра v_i :

$$\begin{cases} t' = t - v_t x, \\ x' = x - v_x t, \\ y' = y, \\ z' = z. \end{cases} \quad (25)$$

1) Варианту волнового пространства с "абсолютным" временем и с абсолютными волновыми эталонами соответствует точка E_T с параметром $v_t = 0$. При этом время прохождения луча света "туда и обратно" отличаются. Но в этом случае отсылаем к [Рис.3](#).

2) Варианту произвольного волнового пространства с рассматриваемыми нами "относительными" волновыми эталонами времени и длины соответствуют по [Рис.4](#) также штрихованные точки E' с параметром $v_t > 0$ и сторонами $AE' \leq E'B$. При этом время прохождения луча света "туда" и "обратно" будут отличаться. А также будут отличаться и частоты лучей "туда" и "обратно". А это противоречит условию неотличия этих лучей. Этот вариант исключается вовсе из рассмотрения.

3) Варианту волнового пространства с "абсолютным" временем и с относительными волновыми эталонами длины также соответствует точка E_T с параметром $v_t = 0$ ([см. Рис.5](#)). При этом время прохождения луча света "туда" и "обратно" отличаются.

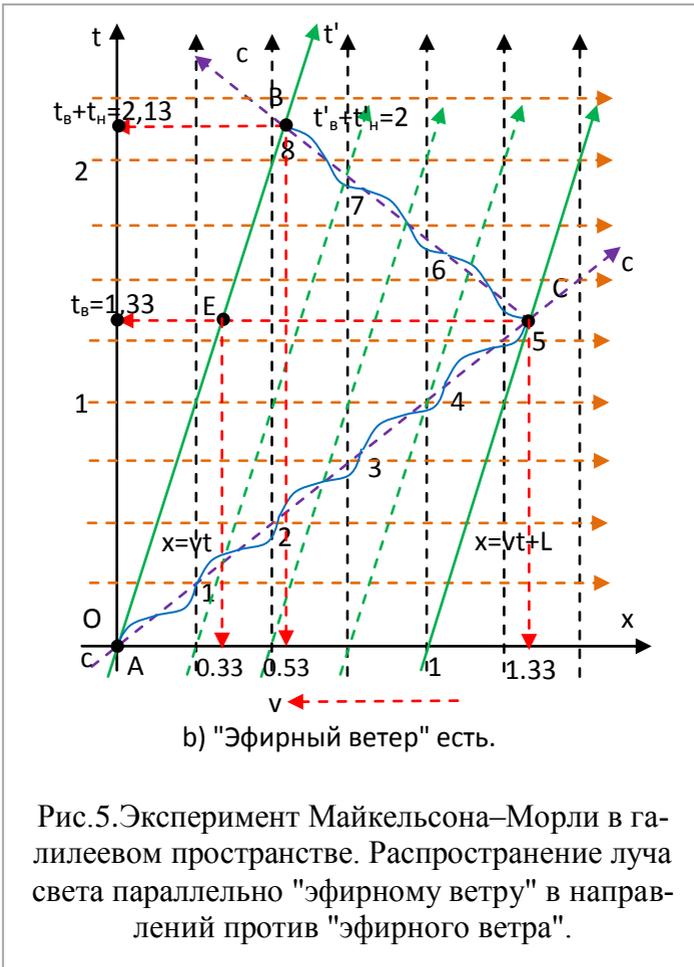


Рис.5. Эксперимент Майкельсона–Морли в галилеевом пространстве. Распространение луча света параллельно "эфирному ветру" в направлении против "эфирного ветра".

4) Варианту произвольного волнового пространства с рассматриваемыми нами "относительными" волновыми эталонами времени и длины соответствуют также не штрихованная точка E со сторонами $AE \leq EB$ (Рис.4). При этом время прохождения луча света "туда" и "обратно" и их частоты будут одинаковым. Поэтому точка E как целевая точка определяется однозначно: середина отрезка AB .

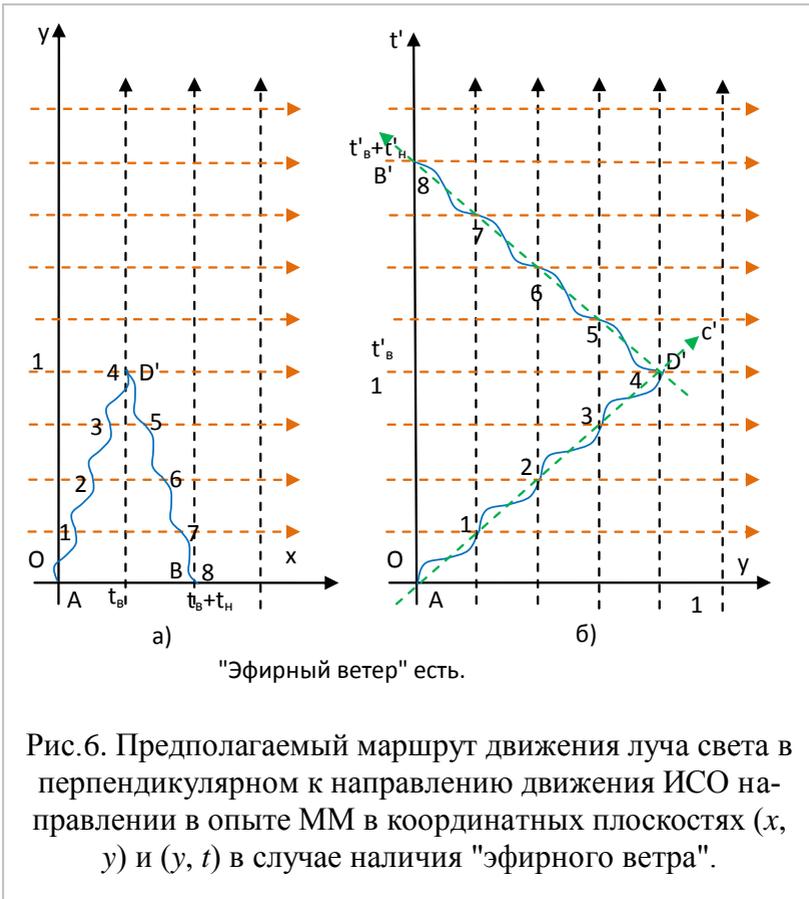
Распространение луча света в перпендикулярном к движению установки направлении

Случай перпендикулярного к "эфирному ветру" направления движения луча, как было сказано ранее, требует отдельного рассмотрения, потому что в этом случае возможно *проявление эффекта релятивистского замедления времени и сокращения длины*.

Случай распространения луча света в перпендикулярном к направлению движения ИСО с установкой ММ в случае отсутствия "эфирного ветра" не требует какого либо специального рассмотрения ни в галилеевом, ни в волновом пространстве, ибо этого движения в принципе по условию нет. В этом случае движение в любом направлении происходит одинаково.

Движение в случае наличия "эфирного ветра" графически с первого взгляда происходит также одинаково. Но с существенными, можно сказать – принципиальными отличиями. Для этого рассмотрим [Рис.6а](#), на котором изображена плоскость установки ММ с координатными осями x и y .

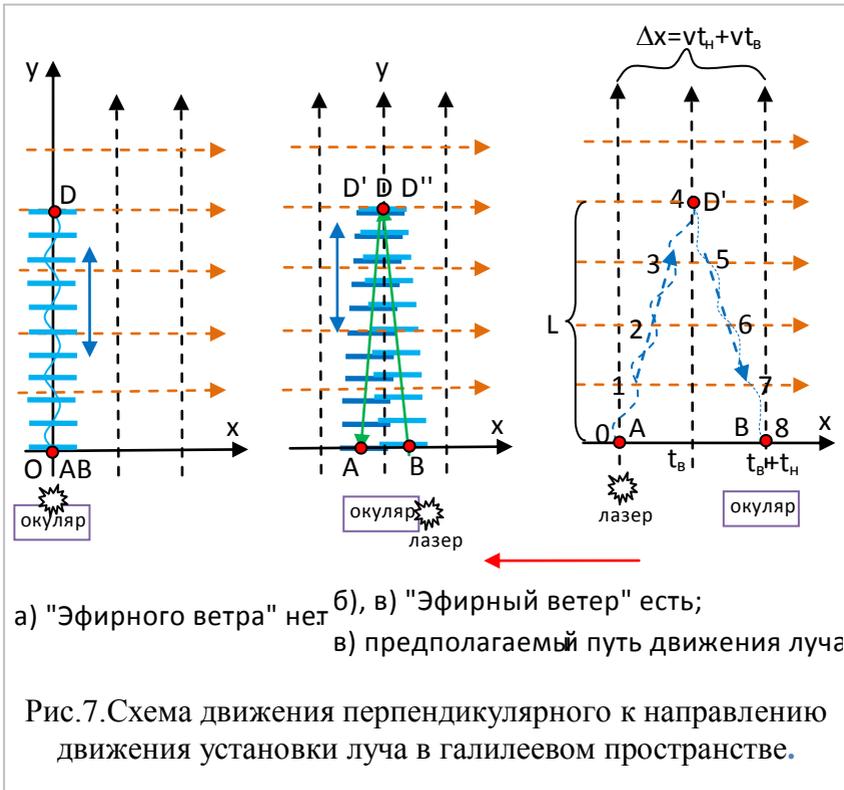
Движение установки по отношению к покоящемуся "эфиру" происходит в направлении оси x со скоростью v . Перпендикулярный луч проходит путь ADB от начала координат O (связанного с АИСО эфира) длиной 1 ед. в направлении оси y и $2vt$ в направлении оси x (по построению установки). На [Рис.6б](#) показано движение этого же луча в плоскости (t, x) . Это движение происходит со скоростью света в направлении y . Как мы выяснили, в галилеевом пространстве длительность этого движения не зависит от скорости установки. В волновом пространстве этот момент требует дополнительного рассмотрения, и в общем случае предыдущий вывод не верен и зависит от некоторых предварительных предположений принципиального характера.



Поэтому характер движения монохроматического луча света в галилеевом и волновом пространствах в направлении, перпендикулярном к направлению движения ИСО, могут существенно отличаться. Рассмотрим эти отличия.

Распространение луча света в перпендикулярном к движению установки направлении в галилеевом пространстве

На Рис.7а графически показано движение достаточно широкого монохромного луча света в галилеевом пространстве при отсутствии "ветра" с тем, чтобы показать положения фронтов колебаний ЭМП волны. Каких либо вопросов здесь не должно возникнуть – фронт монохромной волны параллелен оси x .



На Рис.7б графически показано движение этого же достаточно широкого монохромного луча света в галилеевом про-

странстве при наличии "ветра" с тем, чтобы показать положения фронтов колебаний ЭМП волны. Вопросов у многих может и не возникнуть. Но вопрос есть: по какой траектории этот луч движется – по траектории ADB или BDA ? Первое, что приходит на ум – это траектория ADB – установка движется слева направо, следовательно, и луч движется так же. А может быть, траекторией будет все же BDA ? Ни тот, ни другой ответы не являются правильными. Для правильного ответа необходимо учесть тот факт, что мы имеем дело не с "материальным лучом", а волной. А волна движется не по законам движения "материального шарика" – тогда правильный ответ был бы первый, а по законам Гюйгенса для распространения волн. И еще один важный факт – в галилеевом пространстве. В пространстве с абсолютным временем. В галилеевом пространстве даже при движении установки фронт испущенных лазером волн остается параллельным оси x , как оси одновременности (и дополнительно определяется юстировкой лазера и зеркал). Поэтому каждая испущенная лазером отдельная волна движется строго перпендикулярно этой оси, отражается от зеркала D и возвращается обратно к той же точке, откуда была испущена с т.з. АИСО. Т.е. каждая отдельная волна движется так же, как и на [Рис.7а](#): например, волна испущенная с точки A , отразится от зеркала не в точке D , а в точке D' ([см. Рис.7б](#)), соответствующей положению точки D в момент испускания луча. В результате мы получим моментальный рисунок фронтов этих отдельных волн в какой-то момент, соответствующий [Рис.7б](#). С т.з. ИСО установки "видимой"(!) траекторией движения луча, ее следом, является линия ADB ([Рис.7в](#)). Это рассмотрение также доказывает формулу (7), но опровергает метод вывода этой формулы (7) на основании закона сложения скоростей в галилеевом пространстве. В результате количество волн для выбранного на рисунках случая остается неизменным и равным точно четырем, несмотря на то, что "видимая длина пути луча из АИСО" ([Рис.7в](#)) увеличилась.

Еще одним выводом из этого рассмотрения может быть вывод, что при достаточно узком луче и строго перпендикуляр-

ном направлении ее движения относительно движения установки в галилеевом пространстве вернувшийся обратно луч не попадет в зону получения интерференционной картины (см. Рис.7б). Но этого не произойдет, потому что установка юстируется таким образом, что интерференционная картина обязательно появится. Гораздо сложнее будет юстировать ее строго перпендикулярно.

Рассмотрим следствия такой юстировки. Предположим, что у нас имеется установка с плечами $L = 30$ м. Скорость установки относительно "эфира" $v = 30'000$ м/с $= 3 \cdot 10^4$ м.с. Следовательно, за время движения $T_{\perp} \sim 2L/c = 2 \cdot 30/3 \cdot 10^8 = 2 \cdot 10^{-7}$ с обратный луч отстанет на

$$\delta_{\perp} = vT_{\perp} = 2vL/c = 2 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 30/3 \cdot 10^8 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6 \text{ мм.} \quad (26)$$

Т.е. для строго перпендикулярной юстировки установки необходимо установить зеркало D на расстоянии 30 м с точностью 6,0 мм, что практически очень сложно (или почти невозможно?). В современных условиях эксперимент, эквивалентный эксперименту ММ, можно было бы провести на основе этого эффекта суточного и годового отклонения перпендикулярного к "эфирному ветру" очень узкого луча в условиях вакуума или контролируемых параметрах среды распространения луча. Но эксперимент ММ уже проведен. В реальной установке ММ, чтобы интерференционная картина появилась, необходимо обеспечить хотя бы частичное наложение пятна обратного луча на пятно прямого луча на приемном устройстве. Это возможно в двух случаях.

1. Применять достаточно широкий луч.
2. Наклонить перпендикулярный луч в направлении движения соответствующей юстировкой.

В эксперименте ММ на рубеже XIX–XX века в связи с отсутствием лазеров с монохроматическим излучением и узким лучом оба фактора фактически имели место быть.

Оба способа предположительно должны были дать поставленный экспериментом ожидаемый целевой не нулевой результат (9) хотя бы качественно. Но численно результаты эксперимента должны отличаться. Рассмотрим графическую схему и результат для второго случая по Рис.8. Основа Рис.8 ничем не отличается от Рис.7. Но в объяснении хода луча имеются существенные отличия.

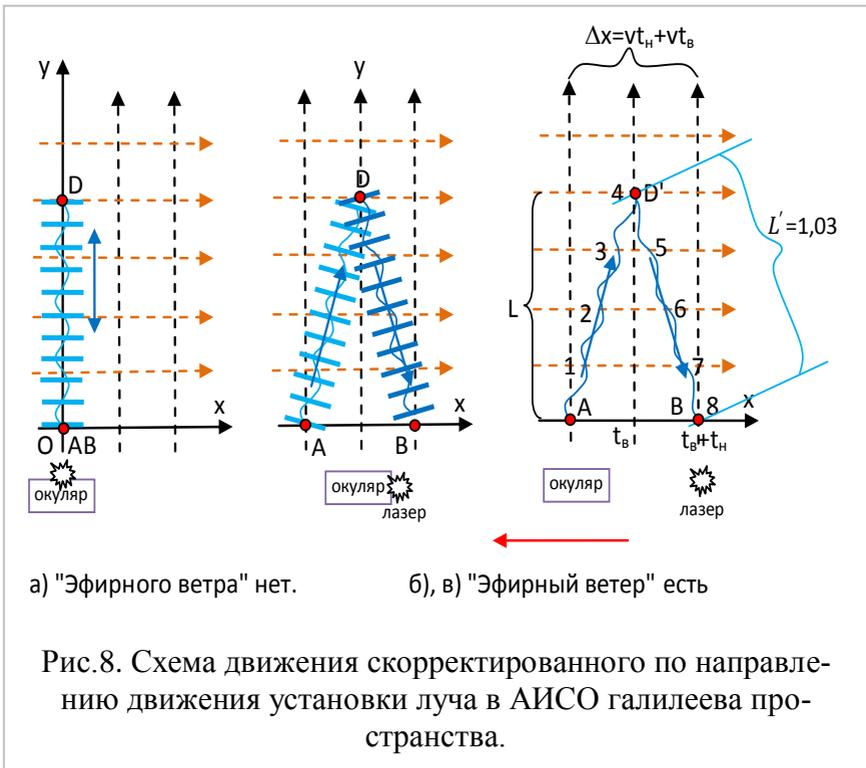
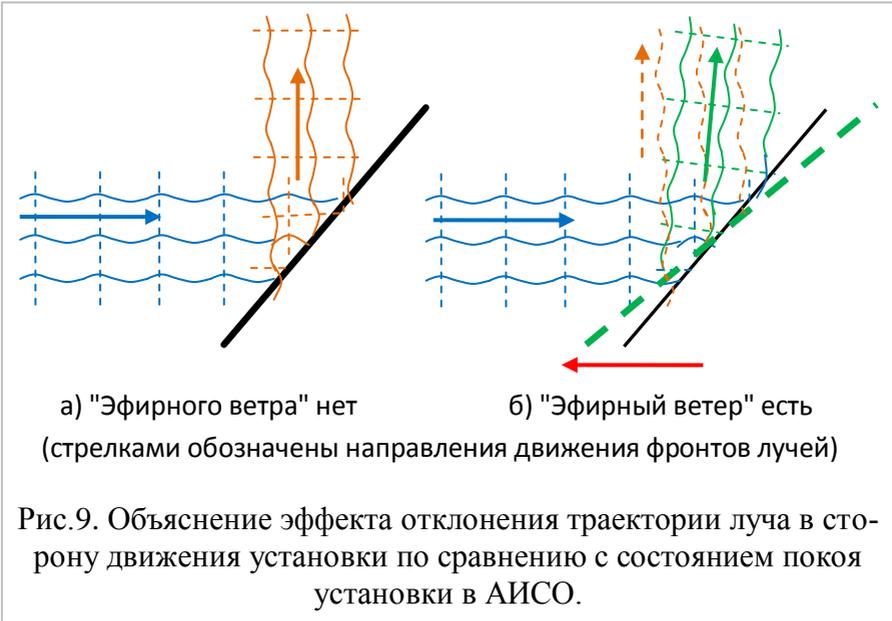


Рис.8а соответствует движению луча в покоящейся относительно АИСО установке и ничем не отличается от соответствующего луча Рис.7а. Но Рис.7б показывает движение не абсолютно перпендикулярного луча, а немножко отюстированного и на-

клоненного в сторону движения установки луча. Надо сказать, что такую специальную юстировку никто специально не проводил. Оно автоматически могло достигаться использованием достаточно широкого сферического луча, пусть даже хорошо сфокусированного, но с пятном на интерферометре более чем по формуле (26). Поэтому показанный на Рис.76 световой луч можно считать достаточно узкой частью сферического луча. Да и необходимости абсолютно точной юстировки перпендикулярного направления луча, тем более с корректировкой ее направления, и точного равенства длин плеч, не имелось: качественно результат должен был проявиться в разной степени почти при любых направлениях двух не коллинеарных лучей в измерительном цикле.

С другой стороны, такая юстировка автоматически осуществляется в установке ММ при установке источника света в соответствии с Рис.1 и угле наклона полупрозрачного зеркала под 45° . В состоянии покоя это зеркало будет отражать лучи от источника света точно перпендикулярно (Рис.9а), а при движении установки – с наклоном в сторону движения (Рис.9б), по причине того, что верхняя часть ее будет отражать падающий на нее луч света чуть позже, чем нижняя, по сравнению с состоянием покоя. Поэтому фронты волн этого луча в АИСО будут немножко не параллельны оси x . Но в волновой с.о. они будут параллельны ей. В связи с этим длина пути этого луча изменяется и определяется длиной боковых сторон треугольника ADB .



Геометрически именно эта траектория должна считаться перпендикулярной: только при такой юстировке отраженный луч возвращается в точку испускания. Найдем длину этого пути и время ее прохождения.

$$L_{\perp p} = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$T_{\perp p} = \frac{2L_{\perp p}}{c} = \frac{2L}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (27)$$

Здесь $L_{\perp p}$ – это длина боковой стороны треугольника ADB (Рис.8). Индекс "р" здесь и далее будет обозначать измерение параметра в эталонах галилеева пространства. Разность фаз двух перпендикулярных лучей будет пропорциональна разности вре-

мен прохождения своих путей каждым из лучей. С учетом (27) и (5) имеем:

$$\begin{aligned}
 \delta_t &= c(T_{\perp p} - T_{\parallel}) = 2 \left(\frac{L}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \right) = \\
 &= \frac{2L}{c} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) = \frac{2L}{c} \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) = \\
 &\sim - \frac{2L}{c} \left(1 - \frac{v^2}{2c^2} - 1 + \frac{v^2}{c^2} \right) = - \frac{L v^2}{c c^2}.
 \end{aligned} \tag{28}$$

По сравнению с (9) получили в два раза меньший результат. Для установки с плечами $L = 30$ м, скоростью установки относительно "эфира" $v = 30'000$ м/с $= 3 \cdot 10^4$ м.с. будем иметь разность времен $\delta_t = 30 \cdot (3 \cdot 10^4)^2 / (3 \cdot 10^8)^3 = 10^{-15}$ с. Для используемого нами примера результат равняется 0,032 с или 0,26 периода фазы. Сравнивая с (8), видим, что они не равны. Но оно не равно и (5).

Таким образом, для перпендикулярного направления движения луча мы получили два разных возможных результата, в отличие от одного для продольного направления. Оба варианта являются реальными кандидатами как основные. Что взять за основу? **Первый вариант соответствует закону распространения волнового луча по законам Гюйгенса в галилеевом пространстве для строго перпендикулярного его направления движения. При этом обратный луч возвращается в точку его испускания в АИСО, что в общем то не соответствует понятию "перпендикулярности". Второй вариант соответствует направлению движения в соответствии с законом сложения скоростей в галилеевом пространстве (АИСО), но не со-**

ответствует законам Гюйгенса распространения волнового луча строго перпендикулярно его направлению движения. Для такого соответствия его направление движения должно быть скорректировано от перпендикулярного в сторону движения. Но при этом обратный луч возвращается в движущуюся точку его испускания в ИСО, что в общем то соответствует понятию "перпендикулярности".

Таким образом, получаем противоречие между законами волнового движения и законами движения в галилеевом пространстве. Учитывая, что движение луча по траектории ADB происходит все же в АИСО, и с учетом объяснения по Рис.9, что снимает это противоречие, верным будет вторая интерпретация: время движения луча в галилеевом ИСО соответствует формуле (27). При этом длина перпендикулярного плеча остается неизменной. А это эквивалентно реальному уменьшению скорости движения волны в перпендикулярном направлении в эталонах галилеева пространства.

А результат реального эксперимента оказался отрицательным. Несмотря на теоретическое уменьшение продолжительности движения луча по галилеевым эталонам по двум взаимно перпендикулярным направлениям в два раза.

Распространение луча света в перпендикулярном направлении в галилеевом пространстве с волновыми эталонами длины и времени

А это возможно только в том случае, когда разность фаз распространяющихся туда и обратно и для продольного, и поперечного лучей одинаково и не зависит от скорости и направления движения относительно АИСО. А т.к. это верно в условиях динамического изменения ориентации установки относительно "эфирного ветра", то и количество волн на плечах установки также не меняется: для нашего примера как оно было равно че-

тырем, так и остается равным четырем и в состоянии движения относительно АИСО. Для продольного луча это состояние изображено на Рис.3 и Рис.4. Для перпендикулярного луча по Рис.8б это означает, что на отрезках плечей AD и DB откладывается ровно четыре длины волны и в состоянии движения, что не отличается от случая строго перпендикулярного направления движения луча в случае галилеева пространства с его же эталонами (Рис.3). Но отличается от значения 1,03 по второму варианту Рис.4.

Также из предыдущего мы можем сделать вывод о том, что длина плеча AD в ИСО не изменилась, несмотря на то, что в АИСО путь увеличился. Так же мы знаем, что несмотря на то, что длина плеча не изменилась, время движения в АИСО стала больше, потому что оно определяется через длину пути в АИСО. Но, несмотря на только что высказанное, у нас нет причин думать, что время движения по волновому эталону изменилось – длительность движения осталась равной четырем периодам используемой нами волны. Это может говорить о том, что в волновой с.о. (ИСО) течение времени t' замедляется:

$$dt'_{\perp} = dt \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{\gamma} dt. \quad (29)$$

Коэффициент $\gamma = 1/\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ называется релятивистским коэффициентом. Поэтому с т.з. эталона времени галилеева пространства время движения луча по перпендикулярному направлению будет определяться по формуле

$$T_{\perp p} = \gamma \frac{2L}{c}. \quad (30)$$

А также то, что численное значение волнового расстояния (четыре длины волны в примере) в перпендикулярном направлении не изменяется:

$$L'_{\perp} = L_{\perp}. \quad (31)$$

Скорость течения времени является глобальным фактором пространства. Она не должна зависеть от направления. Поэтому изменения в скорости течения времени также скажутся и на формуле (5) длительности движения луча в продольном направлении. Как мы выяснили раньше, время движения продольного луча должна быть равна времени движения поперечного луча. Следовательно, время, рассчитанное по формуле (5), является неверным. Его необходимо будет скорректировать, для чего его значение необходимо умножить на коэффициент $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. При этом время движения продольного луча также уменьшается:

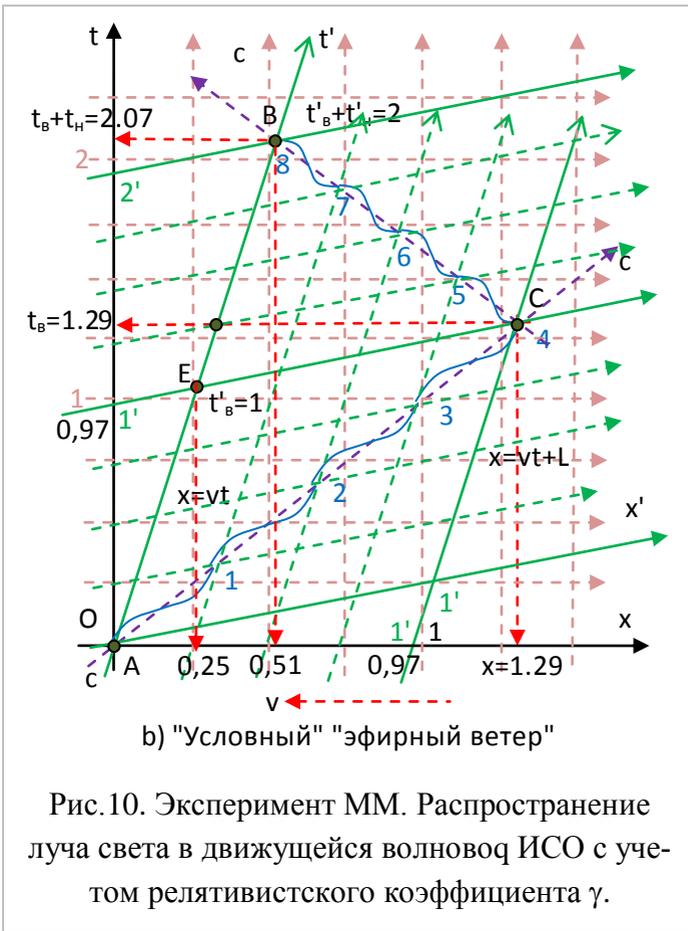
$$T_{\parallel} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \quad (5)$$

$$T_{\parallel p} = T_{\parallel} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{c} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (32)$$

Формально это сокращение можно связать с замедлением глобального времени (31), что отражается в увеличении скорости света (32) или сокращении продольной длины движущегося устройства. Но каких либо причин усомниться в изменении скорости света нет – это наш выбор. Поэтому выбираем сокращение продольной длины движущегося устройства:

$$L_{||} = L'_{||} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (33)$$

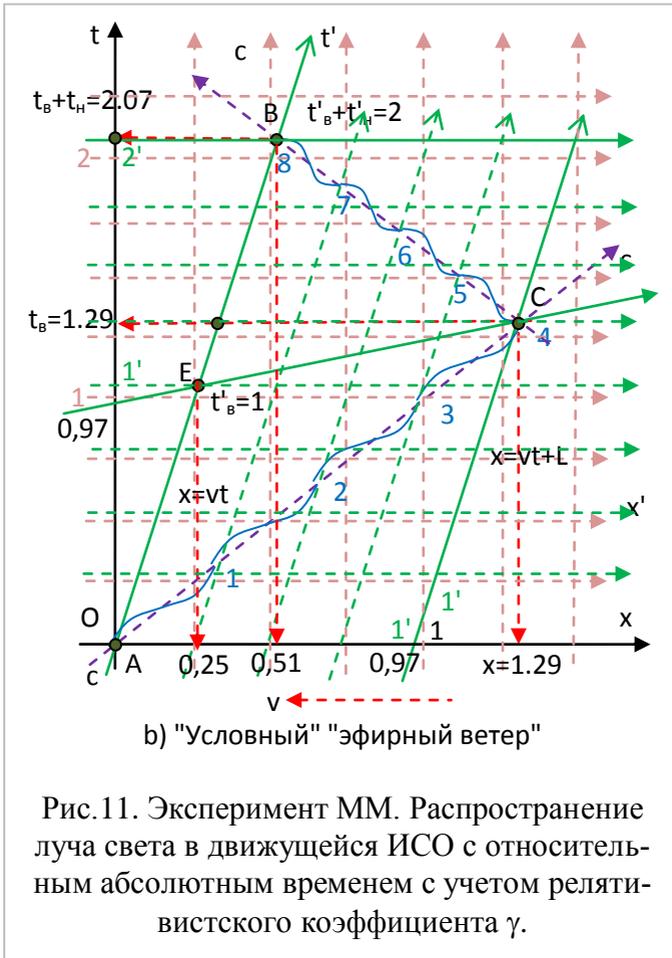
В связи с такими особенностями волнового пространства необходимо заменить Рис.4 другим рисунком (см. Рис.10), учитывающим коэффициент $\gamma = 1/\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ замедления времени и сокращения продольной длины установки ММ.



сетка на этом рисунке строится точно также, как и по Рис.4, только с учетом релятивистского коэффициента γ . Соответственно конкретных волновых координатных систем может быть множество. И только две из них выделяются своими не тривиальными свойствами. Это преобразо-

вания координат с абсолютным временем и преобразования координат Лоренца–Пуанкаре–Эйнштейна.

В первой (см. Рис.10) все ИСО равноправны и определить скорость ИСО относительно АИСО невозможно по построению. Вторая отличается тем, что координата "время" абсолютизируется с учетом релятивистского коэффициента и в принципе позволяет определить скорость ИСО относительно АИСО по отличию частот отправленного "туда" и полученного "обратно" лучей (см. Рис.11).



Но такого изменения нет, т.к. интерференционная картина не меняется от направления движения "эфирного ветра". Они отличаются друг от друга способом синхронизации времени относительно АИСО: во втором считается возможным абсолютная синхронизация только в состоянии покоя ИСО в АИСО и только относительная в состоянии движения, а в первом – абсолютная синхронизация с учетом релятивистского коэффициента и в состоянии покоя, и в состоянии движения.

В результате из неравенств для галилеева пространства

$$T_{\perp} \leq T_{\parallel} : \frac{2L}{c} \leq \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (34)$$

и

$$T_{\perp p} \leq T_{\parallel} : \frac{2L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \leq \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (35)$$

получаем равенство для времен движения луча в обоих направлениях для галилеева пространства:

$$T_{\perp p} = T_{\parallel p} : \frac{2L}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (36)$$

А т.к. если это условие верно в одном из пространств, то оно верно и в любом другом пространстве. А это означает, что независимо от пространства – волнового или галилеева – свойства волнового движения таковы, что эксперимент ММ даст нулевой результат. Независимо от наличия или отсутствия АИСО и "эфирного ветра". Независимо от наличия или отсутствия этой

самой АИСО, в которой волна распространяется с т.з. АИСО изотропно и с учетом которого велись все расчеты.

Но это не мешает использовать галилееву ИСО с произвольной относительной скоростью, в которой волновое АИСО будет только достаточно специфическим "объектом".

Общий вывод может быть один:

Реальность такова, что при изучении ее с помощью волн и посредством волновых эталонов все инерциальные с.о. равноправны и ни одна из них не может быть выделенной абсолютной. Признак потенциального, "виртуального" присутствия АИСО можно определить только самим наличием определенной скорости распространения волн с $\sim 3 \cdot 10^8$ м/с в ней. Невозможно в рамках волновых движений перейти в волновую ИСО с относительной скоростью выше обозначенной, которая является предельной. А также невозможно с помощью волн выделить это самое АИСО: в ее качестве можно выбрать произвольное ИСО.

Объяснение эксперимента ММ в СТО

Посмотрим, как именно теория относительности Эйнштейна объясняет нулевой результат данного эксперимента. Основываясь на представлениях теории относительности, лауреат Нобелевской премии по физике Л. Купер так объясняет нулевой результат эксперимента ММ: "Предположим, что мы осмысливаем опыт, предназначенный для определения скорости с точки зрения движущегося прибора. Рассмотрим, например, время распространения импульса, движущегося параллельно направлению движения прибора. Мы могли бы сказать, что при движении вперед скорость света равна $c - v$, а при обратном движении равна $c + v$. Тогда

$$T_{\text{в}} = \frac{L}{c + v}. \quad (3)$$

$$T_{\text{н}} = \frac{L}{c - v}. \quad (4)$$

и, как и раньше,

$$T_{\parallel} = T_{\text{в}} + T_{\text{н}} = \frac{L}{c + v} + \frac{L}{c - v} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2}. \quad (5)$$

Однако результат опыта ММ можно объяснить, если считать, что

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L}{c}. \quad (37)$$

(независимо от величины v).

Но возможно ли такое? Как известно, вся теория относительности построена на двух принципах или постулатах Эйн-

штейна. Эйнштейн предположил, что в любой системе координат, безотносительно к существованию или не существованию "мирового эфира", уравнение распространения электромагнитного поля должно иметь вид:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2. \quad (38)$$

Этим он исключил из расчетов "эфир" и формула (37) стала правильной в любой ИСО.

Нетрудно видеть, что Эйнштейн предположил, что скорость света в неподвижной и движущейся системах координат есть величина постоянная. Это значит, что, независимо от того, существует или не существует "эфирный ветер", скорость распространения света равна фундаментальной скорости $c \sim 300'000'000$ м/с. Именно на основании этого предположения им выведена так называемая "релятивистская" формула сложения скоростей, согласно которой

$$c \# v = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c - v}{1 - \frac{cv}{c^2}} = c, \quad (39)$$

где "#" – знак "релятивистского" сложения (вычитания) скоростей.

С другой стороны, согласно теории относительности, плечо интерферометра, параллельное его движению, сокращается пропорционально множителю $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, а также происходит замедление течения времени с этим же коэффициентом. Учитывая это, получим из классического (5)

$$T_{||} = T_B + T_H = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \quad (5)$$

результат с точки зрения релятивистского наблюдателя, связанного с движущимся объектом:

$$T_{\parallel} = \frac{2L}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \rightarrow$$

$$\frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2 \left(L_{\text{СТО}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \rightarrow \quad (40)$$

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L_{\text{СТО}}}{c}.$$

Для перпендикулярного луча имеем из (8):

$$T_{\perp} = \frac{2L}{c}. \quad (8)$$

Учитывая, что ход времени замедляется, а длина в перпендикулярном направлении не изменяется, с точки зрения релятивистского наблюдателя, связанного с движущимся объектом имеем:

$$\frac{T_{\perp}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L}{c} \rightarrow$$

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L_{\perp\text{СТО}}}{c}. \quad (41)$$

Мы видим полное соответствие друг другу формул (2), (40) и (41). Только с одним существенным отличием: (2) верен только

в выделенной эфиром АИСО, а (40) и (41) в любой ИСО – как будто выделенной эфиром с.о. (АИСО) вовсе нет.

Обратный переход от (40) из ИСО СТО в АИСО покоящегося "эфира" осуществляется по следующей процедуре. В СТО имеем:

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L_{\text{СТО}}}{c}. \quad (13)$$

Предполагая, что АИСО "эфира" имеет скорость v , переведем это уравнение в с.о. АИСО, проведя обратные операции. Первая операция – деление на релятивистский коэффициент:

$$\begin{aligned} \frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} &= \frac{2L_{\text{СТО}}}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \\ \frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} &= \frac{2L_{\text{СТО}}}{c} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \\ T_{\parallel} &= \frac{2L_{\text{СТО}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \rightarrow \\ T_{\parallel} &= \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \end{aligned} \quad (42)$$

Получили то, с чего начали – результат идентичен (5). Но этот переход можно провести, только если известна скорость АИСО "эфира". А в СТО безразлично, существует "эфир" или его нет. В ней любая ИСО как АИСО, и все ИСО равноправны. Но если будет доказано экспериментом, что АИСО эфира существует, то

это не приведет к отставке СТО. Просто появятся новые возможности для более глубокого изучения того, где мы существуем. А СТО будет работать в области, где эффект от существования эфира не проявляется. Примерно так же, как релятивизм не учитывается в КФ.

Варианты пространств с волновыми эталонами

Как мы выяснили, какая бы ни была принята координатная система, количество волн на траектории не будет зависеть от нее. И фазы возвращающихся с маршрута установки ММ волн будут совпадать неизменно в любом волновом ИСО. Но только с волновыми эталонами. Не галилеевыми абсолютными! Если бы у нас имелись галилеевы абсолютные эталоны, мир мы увидели бы другим. По крайней мере – если не глазами, ушами, носом, языком, руками (тактильными) и другими доступными чувствующими органами – хотя бы в физических экспериментах. Но надеяться на это не приходится – все вещественные эталоны подчинены электромагнитному, слабому, сильному и гравитационному с конечной, равной скорости света в вакууме, взаимодействиям. А это – опять же те же самые волны.

Таким образом, по самому построению экспериментальной установки с использованием волновых эталонов "эфирный ветер" должен отсутствовать. Для фиксации "эфирного ветра" должен быть использован не волновой эталон. И здесь открывается большое пространство для постулирования различных координатных систем с использованием волновых эталонов. Абсолютные и не абсолютные. С релятивистскими коэффициентами и нет. Ортонормированные и нет. Типа преобразований Тангерлини или другие. Какие угодно. Везде в них как факт зафиксирован результат отсутствия "эфирного ветра".

Рассмотрим пространства с волновыми эталонами. Основное их отличие от пространств с абсолютными эталонами – время прохождения (и полное расстояние) в любой координатной разметке не должны различаться от направления движения луча экспериментальной установки. В галилеевом пространстве имеем

$$T_{\perp} \leq T_{\parallel}. \quad (43)$$

Расшифруем ее:

$$\frac{2L}{c} \leq \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{\gamma^2 c}. \quad (44)$$

В пространствах с волновыми эталонами левая часть должна быть равна правой. Для этого левую и правую стороны уравнения (44) умножим на уравнивающие коэффициенты α и β :

$$\begin{aligned} T_{\perp} &\leq T_{\parallel} \rightarrow \\ \alpha \frac{2L}{c} &= \beta \frac{2L}{\gamma^2 c}. \end{aligned} \quad (45)$$

и решим ее:

$$\begin{aligned} \alpha \frac{2L}{c} &= \beta \frac{2L}{\gamma^2 c} \rightarrow \\ \alpha \frac{L}{c} &= \frac{\beta L}{\gamma^2 c} \rightarrow \\ \alpha &= \frac{\beta}{\gamma^2} = \frac{\beta}{1 - v^2}. \end{aligned} \quad (46)$$

Здесь коэффициент α соответствует коэффициенту замедления хода времени L/c , а β – коэффициенту сокращения продольной длины L (в направлении движения) соответствующего пространства. Выбирая различные значения для β , соответственно получим различные значения и для α . Каждой паре значений (α , β) будет соответствовать соответствующее пространство с соответствующим вариантом преобразований координат, точнее – преобразования промежутка времени и длины.

Также можно заметить, что каждой паре (α , β) будет соответствовать и множество других пар, получающихся из пары (α ,

β) умножением ее элементов на не обязательно постоянный (возможно, функциональный) произвольный множитель λ : ($\lambda\alpha$, $\lambda\beta$), с множителем λ .

Пример предыдущей части и Рис.4 соответствует всем рассмотренным случаям при очень малых скоростях, соответствующих реальным опытам.

Здесь возможны несколько вариантов отдельно для абсолютных (или "почти абсолютных") и для относительных (взаимозависимых, но не зависимых от галилеевых абсолютных) с.к. Если $\beta = \sqrt{1 - v^2}$, то $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}}$, а за дополнительные – их произведение и частное с коэффициентом, равным β .

Релятивистские координаты

Пространство с преобразованиями, при которых время преобразуется не "абсолютно", но с релятивистским коэффициентом $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2}$. Преобразования координат в этом случае совпадают с преобразованиями Лоренца СТО А. Эйнштейна. Это соответствует стандартному релятивистскому замедлению хода времени и сокращению длины при переходе в движущуюся с.о.

$$\begin{aligned} t' &= \frac{t - vx}{\sqrt{1 - v^2}}, \\ x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2}}, \\ y' &= y. \end{aligned} \tag{47}$$

Обратное к ней преобразование отличается только знаком при параметре скорости v :

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{t' + vx'}{\sqrt{1 - v^2}}, \\
 x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2}}, \\
 y &= y'.
 \end{aligned}
 \tag{48}$$

Данное преобразование является ортонормированным и симметричным относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой.

Рассчитаем "релятивистские" параметры данного преобразования. Коэффициент замедления хода времени α будет равен

$$\frac{dt}{dt'} = \frac{d(t' + vx')}{dt' \sqrt{1 - v^2}} = \frac{1 + v \frac{dx'}{dt'}}{\sqrt{1 - v^2}};$$

При $x = \text{const}$ получим:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}}.
 \tag{49}$$

Коэффициент сокращения продольной длины β будет равен

$$\frac{dx'}{dx} = \frac{d(x - vt)}{dx \sqrt{1 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}} \frac{dx - vdt}{dx}.$$

При $t = \text{const}$ получим:

$$\beta = \frac{dx}{dx'} = \sqrt{1 - v^2}.
 \tag{50}$$

Это соответствует стандартному релятивистскому замедлению хода времени и сокращению длины при переходе в движущуюся с.о. (см. СТО Эйнштейна).

Дорелятивистские координаты

Уравнение (53) не страдает, если и правую, и левую части ее умножить на любую функцию, например, на $\sqrt{1 - v^2}$. Это соответствует бесконечно малым скоростям:

$$\begin{aligned} t' &= t - vx, \\ x' &= x - vt, \\ y' &= y. \end{aligned} \tag{51}$$

Преобразование (51) соответствует "дорелятивистским" преобразованиям координат. Рис.4 соответствует именно этому преобразованию. При описании классической механики в 4-мерном тензорном виде именно эти преобразования соответствуют ее тензорному характеру. Но при этом необходимо учитывать, что обратное к ней преобразование

$$\begin{aligned} t &= \frac{t' + vx'}{1 - v^2}, \\ x &= \frac{x' + vt'}{1 - v^2}, \\ y' &= y. \end{aligned} \tag{52}$$

не столь безобидное и уже не является дорелятивистским. При этом мы сменили только направление скорости преобразования – а симметрии преобразования уже нет. Но при бесконечно малых скоростях (52) вполне соответствует (51), т.к. эффекты второго порядка не учитываются и можно продолжать пользоваться (51). С учетом этого замечания.

Преобразования (51), (52) являются ортогональными, но не являются нормированными. Они также не являются симметричными относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой.

Координаты Тангерлини

Пространство с преобразованиями Тангерлини, при которых время преобразуется "абсолютно", но с релятивистским коэффициентом $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2}$:

$$\begin{aligned} t' &= \gamma^{-1}t, \\ x' &= \gamma(x - vt), \\ y' &= y, \\ z' &= z. \end{aligned} \tag{53}$$

Обратное к ней преобразование следующее:

$$\begin{aligned} t &= \gamma t', \\ x &= \gamma^{-1}x' + \gamma vt', \\ y' &= y. \end{aligned} \tag{54}$$

Рассчитаем "релятивистские" параметры данного преобразования. Коэффициент замедления хода времени α не зависит от координаты x и будет равен

$$\alpha = \frac{dt}{dt'} = \frac{d}{dt'} \frac{t}{\gamma^{-1}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}}. \tag{55}$$

Коэффициент сокращения продольной длины β будет равен

$$\frac{dx'}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}} \frac{dx - v dt}{dx} = \frac{1 - v \frac{dt}{dx}}{\sqrt{1 - v^2}}$$

При $t = \text{const}$ получим:

$$\beta = \frac{dx}{dx'} = \sqrt{1 - v^2}. \quad (56)$$

Это соответствует стандартному релятивистскому замедлению хода времени и сокращению длины при переходе в движущуюся с.о. (см. СТО Эйнштейна). Но есть и существенная разница в преобразованиях координат.

Данные преобразования (53) и (54) не являются ортонормированными. Они также не являются симметричными относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой. Но здесь необходимо учитывать, что (53) является преобразованием из "АИСО" в "ИСО", а (54) – преобразованием из "ИСО" в "АИСО". Можно ожидать, что преобразования из ИСО' с характеристической скоростью v' в ИСО" с характеристической скоростью v' и наоборот вполне будут симметричными. Непосредственный перевод из с.о. q' , движущейся со скоростью v' , в с.о. q'' , движущуюся со скоростью v'' , с использованием вышеприведенного алгоритма, в пределах, ограниченной плоскостью (t, x) , можно произвести с помощью формул

$$\left\{ \begin{array}{l} x'' = \gamma'' \left(\frac{x'}{\gamma'} - \gamma' t' (v'' - v') \right) = \\ \quad = \frac{\gamma''}{\gamma'} x' - \gamma'' \gamma' (v'' - v') t', \\ y'' = y', \\ z'' = z', \\ t'' = \frac{\gamma'}{\gamma''} t', \end{array} \right. \quad (57)$$

В уравнениях (57) уже есть элемент ковариантности: обратные преобразования получаются простой заменой параметров с одним штрихом на параметры с двумя штрихами и наоборот. Но в отличие от традиционных уравнений преобразований координат, в которых присутствует только относительная скорость с.о., в (57) присутствуют абсолютные скорости обеих с.о.: 1) как относительная их скорость, так и 2) абсолютные скорости обеих с.о. в релятивистском коэффициенте. Поэтому традиционное тензорное исчисление применить здесь невозможно.

Недостатком всех преобразований, кроме (47), является их не ортонормированность. (47) относится к ортонормированным преобразованиям. Они также не являются симметричными относительно взаимной замены штрихованных и не штрихованных координат между собой. Единственное преобразование, которое является ортонормированным и симметричным относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой (47)), соответствует первому представленному выше случаю.

Галилеевы координаты

При бесконечно малых скоростях приведенные выше преобразования (47), (48), (51)–(54) переходят в преобразования галилеева пространства (17):

Michelson–Morley Experiment

$$\begin{aligned}t' &= t, \\x' &= x - vt, \\y' &= y.\end{aligned}\tag{17}$$

Волновое пространство с такими преобразованиями координат эквивалентно галилееву абсолютному пространству (см. Рис.3).

Литература

1. Опыт Майкельсона [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Опыт_Майкельсона (дата обращения: 01.07.2019)
2. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : Наука, 1972. – 351 с.
3. Детлаф, А. А. Курс общей физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М. Высшая школа, 2017. – 245 с.
4. Димитриенко Ю. И. Тензорное исчисление: Учеб. пособие для вузов. – М. : Вышш. шк., 2001. – 575 с. 74
5. Иродов, И. Е. Задачи по общей физике / И. Е. Иродов. – М. : Бинوم, 2017. – 146 с.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики: В 10 т. : т. 2. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с
7. 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),
8. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. М. : Наука, 1965. [Einstein A Ann. Physik 322 891 (1905)]
9. 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.

Мои работы

http://vixra.org/author/valery_timin

Адрес данной работы:

http://vixra.org/abs/1908.0574_v6