

# Michelson-Morley Experiment

Valery Timin

Creative Commons Attribution 3.0 License

(October 4, 2019)

Russia, RME

The Michelson-Morley experiment is devoted to the experimental measurement of the anisotropy of the speed 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 propagates in it as in ASO in accordance with the additive law of addition of velocities in Galilean space, it was assumed possible to determine the speed of the Earth relative to the "ether" and the direction of motion of the Solar system in the cosmic ASO. But the result is known to be negative. Rose "ethereal wind" was isotropic, or rather-zero. Why didn't the theory match the experiment?

In the orthonormal wave space Einstein's str the coordinates linked to each individual ISO to conditionally fit in space and time, the number of waves from resting in it a reference source. But whatever coordinate system is adopted, the number of waves on the trajectory will not depend on it. And phase of the returning route, the installation of MM-waves will coincide invariably in any wave ISO. But only with wave standards. Not Galilean absolute! If we had Galilean absolute standards, we would see the world differently. At least – if not eyes, ears, nose, tongue, hands (tactile) and other available feeling organs-at least in physical experiments. But we can not hope for this – all real standards are subject to electromagnetic and gravitational interaction with a finite, equal to the speed of light in a vacuum. And these are again the same waves.

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 АСО 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 АСО. **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 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.

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

# Эксперимент Майкельсона-Морли

## Оглавление

Экспериментальная установка ММ.....	3
Эксперимент ММ в галилеевом пространстве.....	4
Специфика постановки эксперимента.....	6
Распространение луча света в галилеевом пространстве с галилеевыми абсолютными эталонами длины и времени.....	7
Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с глобальными волновыми (не абсолютными) эталонами длины и времени .....	10
Распространение луча света в перпендикулярном направлении в галилеевом пространстве с волновыми эталонами длины и времени .....	17
Координатная сетка.....	12
Варианты пространств с волновыми эталонами.....	17
Относительные координаты.....	18
Абсолютные координаты .....	19
Вывод .....	21
Объяснение эксперимента ММ в СТО .....	21
Литература.....	24
Мои работы.....	24

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 АСО 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 АСО. Замечу, что слова "АСО" 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 простым опытом по формуле вычисления скорости по известному расстоянию  $L$  и времени распространения  $\Delta t$ :

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

## Michelson-Morley Experiment

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.

## 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



Рис. 1 Схематический план экспериментальной установки Майкельсона-Морли (источник: <https://upload.wikimedia.org>).

(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

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  $A$  и  $B$  находятся в состоянии покоя относительно "эфира". Время распространения "туда и обратно" ([см. рис.2](#)) определяется по формуле

$$T_{||} = t_b + t_n = \frac{L}{c} + \frac{L}{c} = \frac{2L}{c}. \quad (2)$$

Здесь  $c$  – скорость света,

$T_{||}$  – общее время движения света "туда и обратно",

$L$  – расстояние между точками  $A$  и  $B$ ,

$t_b$  - время движения света "туда",

$t_n$  - время движения света "обратно".

## Michelson-Morley Experiment

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 АСО, вычислим время движения луча туда и обратно.

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

$$t'_B = \frac{L}{c - v}. \quad (3)$$

б) Время распространения "обратно" определяется по формуле:

$$t'_H = \frac{L}{c + v}. \quad (4)$$

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

$$T'_{\parallel} = t'_B + t'_H = \frac{L}{c - v} + \frac{L}{c + v} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{\gamma^2 c}. \quad (5)$$

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

Сравнивая эти случаи, 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".

$$T_{\parallel} \leq T'_{\parallel}.$$

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 его нет. А если есть – не знаем, в каком направлении он дует. И сама наша задача заключается в определении его существования и измерении его 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

## Michelson-Morley Experiment

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

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

$$t'_{\perp} = \frac{2L_{\perp}}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}{c} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L}{c}. \quad (7)$$

$L_{\perp}$  - 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  $t_{\perp}$ . 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 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". Результат по (9) ожидался пропорциональным квадрату скорости "эфирного ветра". В результате 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 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 относится к ним. В их основе лежат свойства, которым подчиняется движение волн света в вакууме. 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 АСО для этой волны. В галилеевом пространстве существует единственное с точностью до поворотов такое ИСО  $\equiv$  АСО. Все остальные ИСО галилеева пространства не могут пользоваться этими эталонами для своей разметки в силу очевидной причины – не изотропии, и должны будут использовать для преобразований координат разметку АСО.

Далее рассмотрим особенности использование 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 АСО", соответствующе изотропному распространению эталонной волны. Это АСО одновременно и АСО 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 и места ее зарождения. В

## Michelson-Morley Experiment

направлении "туда" на длине плеча интерферометра будет укладываться  $ft_B$  длин волн, а в обратном направлении -  $ft_H$  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](#)).

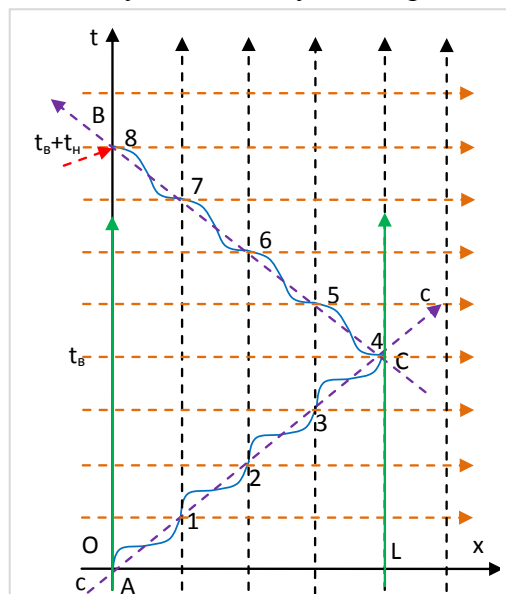
На [рис.2](#) и [рис.3](#) показаны координатные сетки. Фиолетовым штрих-пунктиром нарисованы мировые линии фронтов одномерных волн в двух направлениях для  $c = 1$ . На них же нанесены голубым цветом пронумерованные синусоиды волн. Т.к. пространство галилеево, то частота, скорость и форма волн от источника  $A$  и от зеркал  $C$  и  $D$  на сетке АСО не изменяется. Но длина изменяется в зависимости от скорости "ветра". По количеству волн на траектории фронта волны на графике можно однозначно определить расстояние и время движения света в направлении  $ACB$ : "туда и обратно". Точки  $A$  и  $C$  – это одна и та же точка, только в разные моменты времени. Зеленым цветом выделены мировые линии концов плеча  $AC = BC$ . Расстояние плеч выбраны четырем длинам волн в АСО.

На [рис. 2](#) показан ход когерентных лучей света в случае отсутствия "эфирного ветра". Из [рис.](#) видно, что пути, проходимые лучом, в обоих направлениях равны и общая длина пути равна 8 длинам волн.

На [рис.3](#) показан ход когерентных лучей света в случае наличия "эфирного ветра". Скорость "эфирного ветра" определяется наклоном зеленого луча  $AB$ . Координатная сетка соответствует с.о. АСО: "ветер" дует справа налево. Соответственно, экспериментальная установка движется слева направо.

Предположим, что скорость эфира равна нулю, а скорость волны равна 0,25 (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 от источника для АСО 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



а) "Эфирного ветра" нет.

Рис. 2. Эксперимент Майкельсона-Морли. Распространение луча света параллельно "эфирному ветру" при отсутствии "эфирного ветра"

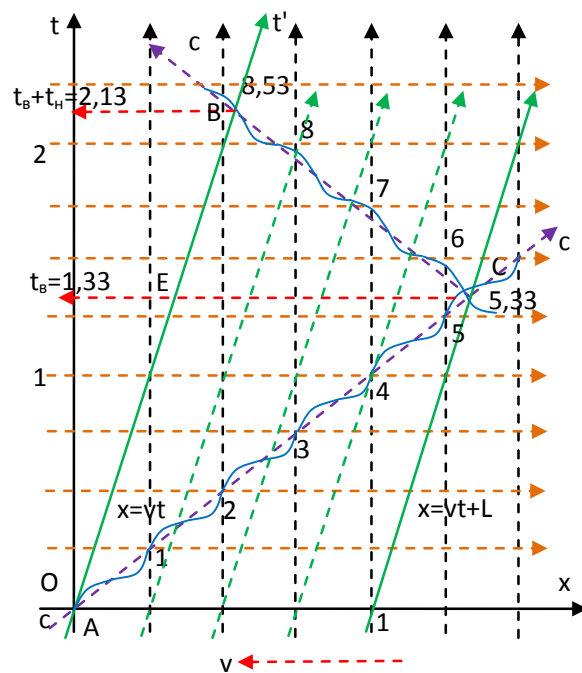


Рис. 3. Эксперимент Майкельсона-Морли. Распространение луча света параллельно "эфирному ветру" в направлении против "эфирного ветра".



## Michelson-Morley Experiment

справа от А наблюдателя частота от источника А увеличится в соответствии с эффектом Доплера и будет равна

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

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

$$\begin{aligned} ct &= L + vt, \\ ct - vt &= L, \\ t &= \frac{L}{c - v}, \\ n_1 &= \frac{t}{L/4} = \frac{4t}{L} \rightarrow \\ t &= \frac{1}{1 - 0.25} = 1.33, \\ n_1 &= 4 * \frac{1.33}{1} \approx 5.33 \text{ (колебания)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Частота на приемнике (зеркале С) не изменится за счет вторичного эффекта Доплера

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

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 (13), только скорость изменит знак:

$$\begin{aligned} ct &= L - vt, \\ ct + vt &= L, \\ t &= \frac{L}{c + v}, \\ n_2 &= \frac{t}{L/4} = \frac{4t}{L} \rightarrow \\ t &= \frac{1}{1 + 0.25} = 0.8, \\ n_2 &= 4 * \frac{0.8}{1} \approx 3.2 \text{ (колебания)}. \end{aligned} \quad (15)$$

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

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

## Michelson-Morley Experiment

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

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" 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.

## Распространение луча света в продольном направлении в галилеевом пространстве с глобальными волновыми (не абсолютными) эталонами длины и времени

Ключевые словосочетания здесь – "волновое ИСО" и "волновые эталоны". Глобальные и безусловные. Еще одно ключевое словосочетание – "эфирный ветер" и связанное с ним АСО, а также эфир и галилеево пространство: через них будет осуществляться связь с предыдущей "галилеевой" частью.

В галилеевом пространстве и при наличии, и при отсутствии "эфирного ветра" необходимо было обеспечить равенство "галилеевых" длин двух плеч 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

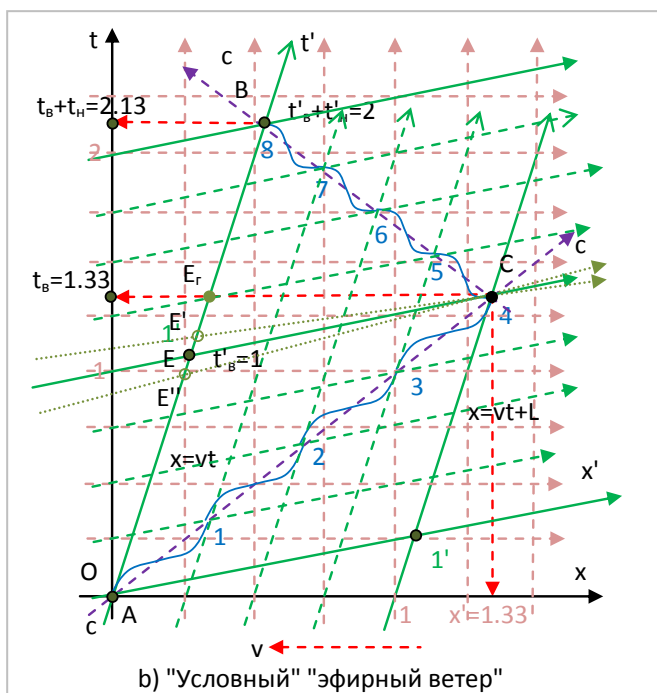


Рис. 4. Эксперимент Майкельсона-Морли. Распространение луча света в движущейся ИСО относительно некоторого "выделенного условного галилеева АСО".

## Michelson-Morley Experiment

волны эталонной частоты. Тем более, это соответствует принятым практическим международным сообществом эталоном длины и времени (см. начало работы). Таким образом, единицей длины принимается определенное количество длин электромагнитной волны эталонной частоты, а за единицу времени – промежуток времени, соответствующий этому количеству волн. Это принципиально изменяет ситуацию с ходом, результатом и выводами эксперимента.

Рассмотрим графически процесс распространения волны в установке "туда и обратно" в двух направлениях – параллельно и перпендикулярно к условному "эфирному ветру" в галилеевом "эфирном" АСО в двух случаях – при отсутствии и при наличии этого условного "эфирного ветра" (рис.4).

Первый случай – отсутствие условного "эфирного ветра". Этот случай почти ничем не отличается от такого же случая предыдущей части (см. рис.2). Случай АСО галилея пространства. Но в данной части – это просто некоторая, выбранная как условно начальная, выделенная как галилеево АСО, с.о. Поэтому сразу же перейдем к случаю наличия условного "эфирного ветра" и параллельному к ней "ветру" (рис.4), но в данной части – просто другая ИСО. Случай перпендикулярного к "эфирному ветру" направления движения луча требует отдельного рассмотрения. Забегая вперед, можно сказать, что в этом случае возможно проявление релятивистского эффекта замедления времени и сокращения длин.

В условно галилеевом АСО на маршруте – "туда и обратно" скорость волн остается постоянной, как и на рис.2 и рис.3. Проблем с движением волны в условном АСО и в случае волнового пространства (при отсутствии "ветра") не имеется: эталоны длины и времени и в галилеевом, и в волновом пространстве по определению должны соответствовать. 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 на ПВ абсолютными галилеевыми эталонами. В соответствии с принципом формирования волновых эталонов длины и времени формирование эталонных волн в условном АСО и движущемся волновом пространстве не связаны друг с другом.

Поэтому на рис.2 количество волн на пути  $L$  "туда и обратно" при отсутствии "эфирного ветра" должно быть равно четырем, как в галилеевом АСО, так и 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 обоих – и в параллельном, и в перпендикулярном – направлениях. Но это означает, что моменты начала волн должны формироваться также не по абсолютному галилеевому времени, следовательно, и их частота не будет соответствовать "галилеевому абсолютному" времени. Это соответствует использованию "волнового" эталона, отличного от "галилеевого". Поэтому в движущемся волновом пространстве рис.4 количество волн на маршруте  $L$  "туда и обратно" всегда в любом направлении должно быть одинаковым. Но вот сказать, какова "галилеева частота", и сколько времени луч света двигался "туда и обратно" по отдельности, возможно, но не входит в задачу данной работы. Условно (но очень осознанно, по принципу соответствия) как наиболее естественное для рис.4 количество волн на каждом плече в каждую сторону принято равным ее исходному значению – четырем.

## 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. Как галилеево пространство со своими абсолютными эталонами, так и волновое пространство с волновыми эталонами допускают любую параметризацию координат – они абсолютно инвариантны относительно них, независимы и могут быть сведены друг к другу только в одном случае – в случае совпадения их ИСО с выделенной с.о. покоящегося в галилеевом пространстве АСО.

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 АСО 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 АСО (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 АСО.

На [рис. 2](#) нанесена координатная сетка с использованием абсолютных галилеевых эталонов длины и времени для выделенного в ней АСО и распространение фронта волнового луча. Т.к. в этой 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 АСО" 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 АСО. В силу абсолютности пространства и времени галилеева пространства координата времени движущегося галилеева пространства будет совпадать с уже выполненной разметкой АСО. Но пространственная координата движущегося галилеева пространства уже не будет совпадать с уже выполненной разметкой пространственной координаты АСО: т.к. ось времени (на [рис.3](#) выделена зеленым цветом) будет наклонена по сравнению с исходной, то будет происходить постоянное смещение во времени значения пространственной координаты:

$$\begin{cases} t' = t, \\ x' = x - vt. \end{cases}$$

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

Возможность продолжения использования волнового эталона в состоянии движения относительно АСО как галилеева эталона исключается хотя бы потому, что из-за эффекта Доплера и зависимости длины волны от ее скорости теряется смысл ее использования как эталона. Несмотря на то, что имеется эффект Доплера и зависимость длины волны от ее скорости, в силу абсолютности времени, моменты формирования фронта волны не будут

## Michelson-Morley Experiment

зависеть от скорости, т.е. частота волны и моменты формирования фронта для попутного движущегося 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 АСО (мысленного) – светло-бежевым цветом, движущейся волновой с.о. - зеленым. При этом предполагается, что галилеева разметка условного АСО (светло-бежевого цвета) со всеми своими масштабами и значениями не доступна волновому наблюдателю, но условно предполагаем, что условный "эфирный ветер" все же существует хотя бы для оправдания постановки эксперимента. 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 нанесены условные, но они инвариантны в любой используемой с.к. На них также нанесены голубым цветом пронумерованные синусоиды волн в соответствии со свойствами волнового эталона.

*В силу выше изложенного, координатная сетка движущейся с.о. по отношению к АСО галилеевой с.о. нанесена без учета каких либо масштабных коэффициентов по отношению к ней. Масштабные коэффициенты могут соответствовать релятивистским эффектам типа замедления времени и сокращения длин.*

На [рис.4](#) координатная сетка построена из следующих соображений (могут быть и другие). Если использовать принцип соответствия (первый предположение Эйнштейна), то по "генетическому" признаку применения одного и того же эталона и для галилеева АСО, 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 линия  $Ot'$ , соединяющая начало пути фронта волны с ее концом. Причем в предположении, что время распространения луча "туда – обратно" не изменилась, необходимо точке В необходимо присвоить координату  $t' = 2$ . И длина плеча также не изменилась – следовательно, координата конца отрезка маршрута также известна и должна быть равна единице. Что и выполнено на [рис.4](#).

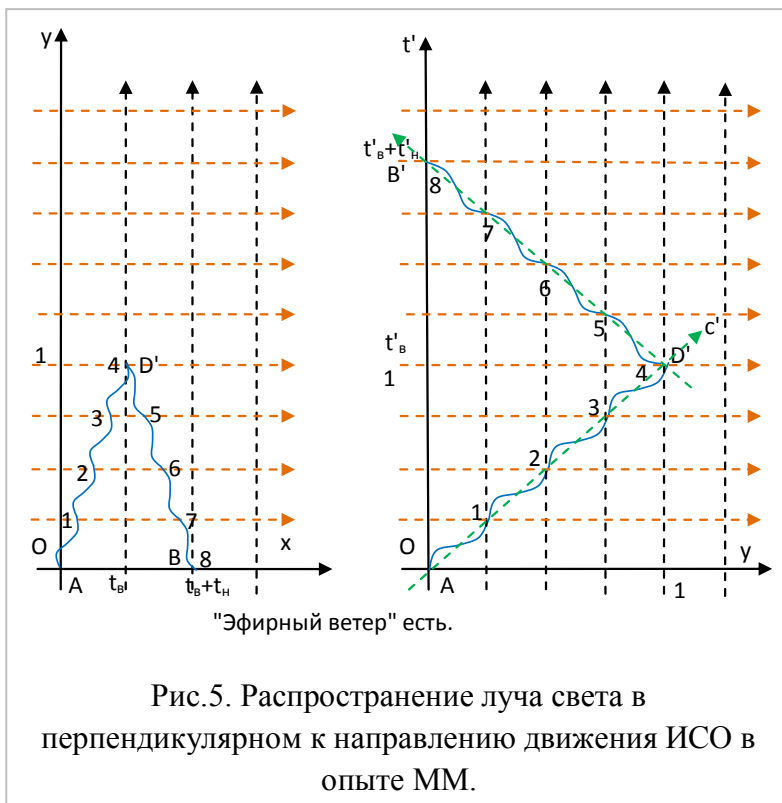
Но вот задача проведения оси координат  $Ox'$  не столь однозначна. Она должна быть параллельна линии  $EC$ , следовательно, отрезок  $AE$  должен соответствовать времени движения волны "туда", а отрезок  $EB$  должен соответствовать времени движения волны "обратно". В галилеевом пространстве с абсолютными эталонами эти времена рассчитываются теоретически и могут быть в принципе однозначно экспериментально измерены. Но в волновом пространстве это не так. Точка  $E$  может быть в любом месте – с т.з. галилеева АСО: варианты – это точки  $E'$  и  $E''$  – если можно найти соответствующее оправдание этого выбора. Вариант галилеева пространства с АСО и других пространств с "абсолютным" временем (например, пространство с преобразованиями Тангерлини) – точка  $E_T$ .

Но здесь нам в помощь первый постулат Эйнштейна. Все (волновые) с.о. равноправны. Следовательно, время прохождения волны "туда" и "обратно" должны быть равны. Поэтому точка  $E$  определяется однозначно: середина отрезка  $AE$ ...

## 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 релятивистского эффекта замедления времени и сокращения длины.

Случай распространения луча света в перпендикулярном к направлению движения ИСО с установкой 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 происходит также одинаково. Но с существенными, можно сказать – принципиальными отличиями. Для этого рассмотрим [рис.5а](#), 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 АСО эфира) длиной  $1$  ед. в направлении оси  $y$  и  $2vt$  в направлении оси  $x$  (по построению установки). На [рис. 5б](#) показано движение этого же луча в плоскости  $(t, x)$ . Это

движение происходит со скоростью света. 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.

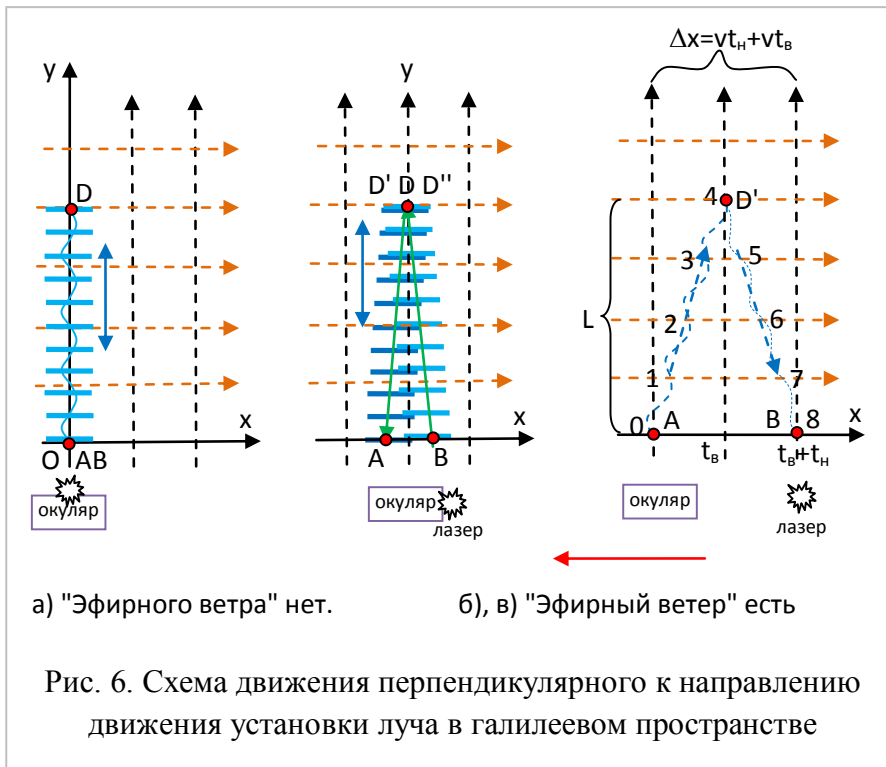
Поэтому характер движения монохроматического луча света в галилеевом и волновом пространствах в направлении, перпендикулярном к направлению движения ИСО, могут существенно отличаться. Рассмотрим эти отличия.

## Распространение луча света в перпендикулярном к движению установки направлению в галилеевом пространстве

На [рис. 6а](#) 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  $x$ .

## Michelson-Morley Experiment

На рис. 5б графически показано движение этого достаточно широкого монохромного луча света в галилеевом пространстве при наличии "ветра" с тем, чтобы показать положения фронтов колебаний ЭМП волны. Вопросов у многих может и не возникнуть. Но есть вопрос: 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 галилеевом пространстве даже при движении установки фронт испущенных лазером волн остается параллельным оси  $x$ , как

оси одновременности (и 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. АСО. В каком-то смысле это движение каждой отдельной волны похоже на движение точек колеблющейся струны. Т.е. каждая отдельная волна движется так же, как и на рис. 5а: например, волна испущенная с точки  $A$ , отразится от зеркала не в точке  $D$ , а в точке  $D'$ , соответствующей положению точки  $D$  в момент испускания луча. В результате мы получим рисунок фронтов этих отдельных волн в какой-то момент, соответствующий рис.5б. С т.з. ИСО установки "видимой" траекторией движения луча является  $ADB$  (рис. 5в). Это рассмотрение также доказывает формулу (7), но опровергает метод вывода этой формулы на основании закона сложения скоростей в галилеевом пространстве. В результате количество волн для выбранного на рисунках случая остается неизменным и равным точно четырем (рис. 5в), несмотря на то, что "видимая длина пути луча из АСО" увеличилась.

Еще одним выводом из этого рассмотрения может быть вывод, что при достаточно узком луче и строго перпендикулярном направлении ее движения относительно движения установки в галилеевом пространстве вернувшийся обратно луч не попадет в зону получения интерференционной картины (см. рис.6б). 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  $t_{\perp} = vT_{\perp} = 2vL/c = 2 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 30/3 \cdot 10^8 = 6 \cdot 10^{-3}$  м = 0,6 мм. Т.е. для строго перпендикулярной юстировки необходимо установки необходимо установить зеркало  $D$  на

## Michelson-Morley Experiment

расстоянии 30 м с точностью 0,6 мм, что практически очень сложно (или почти невозможно?). Поэтому, чтобы интерференционная картина появилась, необходимо обеспечить хотя бы частичное наложение обратного луча на прямой луч 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.

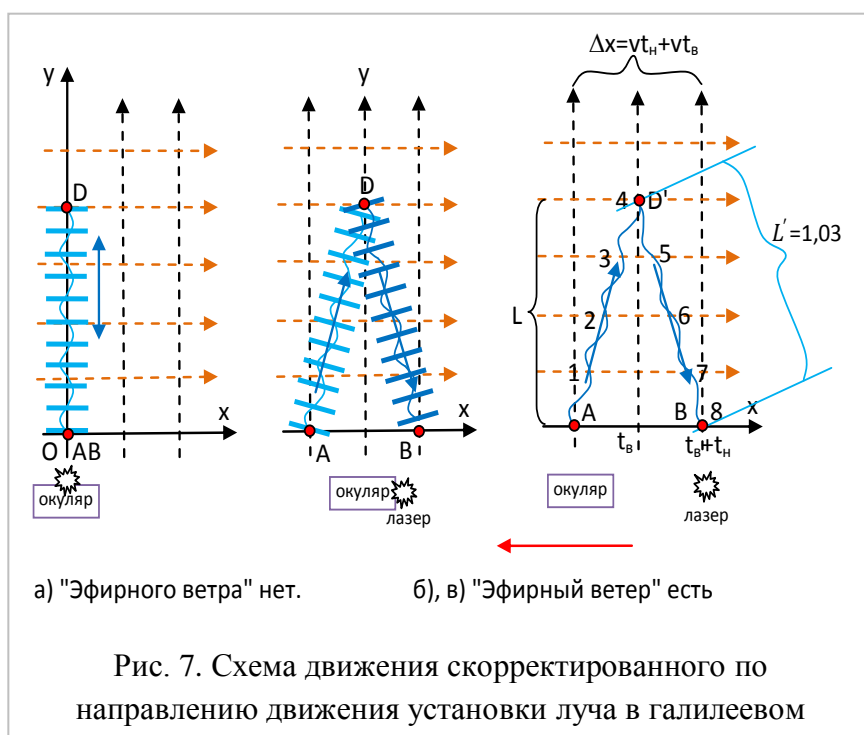


Рис. 7. Схема движения скорректированного по направлению движения установки луча в галилеевом

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. 7. Основа рис.7 ничем не отличается от рис.6. Но в объяснении хода луча имеются существенные отличия.

Рис.7а соответствует движению луча в покоящейся относительно АСО установке и ничем не

отличается от соответствующего луча рис.6а. Но рис. 6б показывает движение не абсолютно перпендикулярного луча, а немножко отюстированного и наклоненного в сторону движения установки луча. Поэтому фронты волн этого луча немножко не параллельны оси  $x$ . В связи с этим длина пути этого луча изменяется и определяется длиной боковых сторон треугольника  $ADB$ . Геометрически именно эта траектория должна считаться перпендикулярной: отраженный луч возвращается в точку испускания. Найдем длину этого пути и время ее прохождения.

$$L'_{\perp} = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (17)$$

$$t'_{\perp} = \frac{2L'_{\perp}}{c} = \frac{2L}{c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Здесь  $L'_{\perp}$  - это длина боковой стороны треугольника  $ADB$ . Разность фаз двух перпендикулярных лучей будет пропорциональна разности времен прохождения своих путей каждым из лучей. С учетом (17) и (5) имеем:



$$\begin{aligned}
 \delta_t &= c(t'_{\perp} - T'_{\parallel}) = 2 \left( \frac{L}{c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{L}{c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)} \right) = \\
 &= 2 \frac{L}{c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \left( 1 - \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \right) = \frac{2L}{c} \left( \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \right) = \frac{2L}{c} \left( \frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} - 1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \right) = \\
 &\sim -\frac{2L}{c} \frac{v^2}{2c^2} = -\frac{L}{c} \frac{v^2}{c^2}.
 \end{aligned} \tag{18}$$

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 (16), видим, что они не равны. А результат реального эксперимента оказался отрицательным.

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

Случай перпендикулярного к "эфирному ветру" направления движения луча для случая волнового пространства также требует отдельного рассмотрения. В соответствии с принципом формирования эталона и ее применения в волновом ИСО, как и в случае параллельного движения луча, при перпендикулярном направлении движения луча, на маршруте ее движения должно укладываться то же самое число длин волн луча выбранной частоты, что и при параллельном к "ветру" движении. Это приводит к *проявлению релятивистского эффекта замедления времени и сокращения длины*.

## Варианты пространств с волновыми эталонами

Но 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 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".

## Michelson-Morley Experiment

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

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

Расшифруем ее:

$$\frac{2L}{c} \leq \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L}{\gamma^2 c}. \quad (17)$$

В пространствах с волновыми эталонами левая часть должна быть равна правой. Для этого левую и правую стороны уравнения (17) умножим на уравнивающие коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$\begin{aligned} T_{\perp} \leq T_{\parallel} &\rightarrow \\ \alpha \frac{2L}{c} &= \beta \frac{2L}{\gamma^2 c}. \end{aligned} \quad (18)$$

и решим ее:

$$\begin{aligned} \alpha \frac{2L}{c} &= \beta \frac{2L}{\gamma^2 c} \rightarrow \\ \alpha \frac{L}{c} &= \frac{\beta L}{\gamma^2 c} \rightarrow \\ \alpha &= \frac{\beta}{\gamma^2} = \frac{\beta}{1 - v^2}. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь коэффициент  $\alpha$  соответствует коэффициенту замедления хода времени  $L/c$ , а  $\beta$  - коэффициенту сокращения продольной длины  $L$  (в направлении движения) соответствующего пространства. Выбирая различные значения для  $\beta$ , соответственно получим различные значения и для  $\alpha$ . Также можно заметить, что каждой паре  $(\alpha, \beta)$  будет соответствовать и множество других пара, получающихся из пары  $(\alpha, \beta)$  умножением ее элементов на произвольный множитель, не обязательно постоянный.

Каждой паре значений  $(\alpha, \beta)$  будет соответствовать соответствующе пространство с соответствующим вариантом преобразований координат, точнее – преобразования промежутка времени и длины. Здесь возможны несколько вариантов отдельно для абсолютных (или "почти абсолютных") и для относительных (взаимозависимых) 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  $\beta$ .

### Относительные координаты

1). Если  $\beta = \sqrt{1 - v^2}$ , то  $\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2}}$ . Это соответствует стандартному релятивистскому замедлению хода времени и сокращению длины при переходе в движущуюся с.о. (см. СТО Эйнштейна). Преобразования координат в этом случае совпадают с преобразованиями Лоренца:

## Michelson-Morley Experiment

$$\begin{aligned}t' &= \frac{t - vx}{\sqrt{1 - v^2}}, \\x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2}}, \\y' &= y.\end{aligned}\tag{20}$$

(смотрите следующую часть). Обратное к ней преобразование отличается только знаком при параметре скорости  $v$ :

$$\begin{aligned}t &= \frac{t' + vx'}{\sqrt{1 - v^2}}, \\x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2}}, \\y &= y'.\end{aligned}\tag{21}$$

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

2). Уравнение (20) не пострадает, если и правую, и левую части ее умножить на любую функцию, например, на  $\sqrt{1 - v^2}$ :

$$\begin{aligned}t' &= t - vx, \\x' &= x - vt, \\y' &= y.\end{aligned}\tag{22}$$

Преобразование (20) 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

$$\begin{aligned}t &= \frac{t' + vx'}{1 - v^2}, \\x &= \frac{x' + vt'}{1 - v^2}, \\y' &= y.\end{aligned}\tag{23}$$

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 (23) вполне соответствует (22), т.к. эффекты второго порядка не учитываются и можно продолжать пользоваться (22). С учетом этого замечания.

Преобразования (22, 23) являются ортогональными, но не являются нормированными. Они также не являются симметричными относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой.

### Абсолютные координаты

3). Третье – с преобразованиями Тангерлини, при которых время преобразуется "абсолютно", но с релятивистским коэффициентом  $\gamma = \sqrt{1 - v^2}$ :

## Michelson-Morley Experiment

$$\begin{aligned}
 t' &= t\gamma, \\
 x' &= \frac{x - vt}{\gamma}, \\
 y' &= y.
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

*Замечание: встречается и другое определение  $\gamma$ , обратное к ней:  $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2}$  (см. 27).*

Обратное к ней преобразование следующее:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{t'}{\gamma'}, \\
 x &= x' \gamma' + \frac{vt'}{\gamma'}, \\
 y &= y'.
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

Данные преобразования не являются ортонормированными. Они также не являются симметричными относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой. Но здесь необходимо учитывать, что (24) является преобразованием из "АСО" в "ИСО", а (25) - преобразованием из "ИСО" в "АСО". 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, ограниченных плоскостью  $(t, x)$ , можно произвести с помощью уравнений

$$\begin{cases}
 x'' = \gamma'' \left( \frac{x'}{\gamma'} - \gamma' t' (v'' - v') \right) = \\
 \quad = \frac{\gamma''}{\gamma'} x' - \gamma'' \gamma' (v'' - v') t', \\
 y'' = y', \\
 z'' = z', \\
 t'' = \frac{\gamma'}{\gamma''} t',
 \end{cases}
 \tag{26}$$

В уравнениях (26) 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 (26) 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.

4). Следующее является "обратным" вариантом преобразований Тангерлини (24) и соответствует "абсолютному" времени с "релятивистским" коэффициентом и соответствует базовому преобразованию (см. также 24):

$$\begin{aligned}
 t' &= \frac{t}{\sqrt{1 - v^2}}, \\
 x' &= (x - vt)\sqrt{1 - v^2},
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

## Michelson-Morley Experiment

$$y' = y.$$

Обратное к ней преобразование следующее:

$$\begin{aligned}t &= t' \sqrt{1 - v^2}, \\x &= \frac{x + vt'}{\sqrt{1 - v^2}}, \\y' &= y.\end{aligned}\tag{28}$$

Данные преобразования не являются ортонормированными. Они также не являются симметричными относительно замены штрихованных и нештрихованных координат между собой.

### Вывод

Также с каждой парой значений  $(\alpha, \beta)$  можно связать еще бесконечное множество значений  $(\gamma\alpha, \gamma\beta)$  с произвольным (возможно, функциональным) множителем  $\gamma$ .

Недостатком всех преобразований, кроме (20), является их не ортонормированность. (20) 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 (см. 20), соответствует первому представленному выше случаю.

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

### 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

$$t_{\text{в}} = \frac{L}{c + v}.\tag{3}$$

$$t_{\text{н}} = \frac{L}{c - v}.\tag{4}$$

и, как и раньше,

$$T_{\parallel} = t_{\text{в}} + t_{\text{н}} = \frac{L}{c + v} + \frac{L}{c - v} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2}.\tag{5*}$$

Однако результат опыта ММ можно объяснить, если считать, что

## Michelson-Morley Experiment

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L}{c}. \quad (29)$$

(независимо от величины  $v$ ).

Но возможно ли такое? Как известно, вся теория относительности построена на двух принципах или постулатах Эйнштейна. Эйнштейн предположил, что в любой системе координат, безотносительно к существованию или не существованию "мирового эфира", уравнение распространения электромагнитного поля должно иметь вид:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2. \quad (30)$$

Этим он исключил из расчетов "эфир" и формула (29) 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

$$c \# v = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c - v}{1 - \frac{cv}{c^2}} = c, \quad (31)$$

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

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

$$T_{\parallel} = T_{\parallel}' = t_{\text{в}} + t_{\text{н}} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \quad (5^*)$$

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

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

$$\frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2 \left( L_{\text{СТО}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} \rightarrow \quad (32)$$

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

Для перпендикулярного луча имеем (8):

## Michelson-Morley Experiment

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

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

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

$$T_{\text{СТО}} = \frac{2L_{\perp\text{СТО}}}{c}. \quad (33)$$

Мы видим полное соответствие друг другу формул (2), (32) и (33). Только с одним существенным отличием: (2) верен только в выделенной эфиром АСО, а (29) и (30) в любой ИСО – как будто выделенной эфиром с.о. (АСО) вовсе нет.

Обратный переход от (32) из ИСО СТО в АСО покоящегося "эфира" осуществляется по следующей процедуре. В СТО имеем:

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

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

$$\frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L_{\text{СТО}}}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow$$

$$\frac{T_{\text{СТО}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2L_{\text{СТО}}}{c} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow$$

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

$$T_{\parallel} = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (34)$$

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

## Литература

1. Аквивис 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. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. - М.: Бином, 2017. - 146 с.
4. Димитриенко Ю.И. Тензорное исчисление: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с. 74
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
7. Эйнштейн А Собрание научных трудов Т. 1 (М.: Наука, 1965) с. 7 [Einstein A Ann. Physik 322 891 (1905)]

## Мои работы

[http://vixra.org/author/valery\\_timin](http://vixra.org/author/valery_timin)