

Эксперимент Физо с Движущейся Водой.

Соколов Геннадий, Соколов Виталий

gennadiy@vtmedicalstaffing.com

Во всех работах, посвящённых интерферометрическому эксперименту Физо с движущейся водой, анализ включает утверждение: "Одно и то же расстояние L лучи проходят за разные

промежутки времени $t_1 = \frac{L}{C/n+V}$, $t_2 = \frac{L}{C/n-V}$ и возникает смещение $\delta_V = \frac{C(t_2 - t_1)}{\lambda_0}$ ".

Уже здесь допускается основная ошибка, из-за которой расчётное смещение δ_V оказывается больше смещения δ , наблюдаемого в эксперименте. В эфирной гипотезе несоответствие смещения δ расчётному значению δ_V объясняется френелевским коэффициентом увлечения

$\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ и утверждается, что "светоносный эфир" не полностью, а лишь частично увлекается

движущейся водой. Релятивистский закон сложения скоростей это несоответствие объясняет лишь приблизительно. Само значение расчётного смещения δ_V сомнению никем никогда не подвергалось.

Ниже показано, что расчёт интерферометра с движущейся водой, выполненный Физо просто по разности времён, ошибочен, так как не учитывает влияние изменения частот интерферирующих лучей. Расчётное значение смещения, определённое с учётом изменения частот, точно соответствует экспериментальному значению.

1. Общепринятый расчёт интерферометра.

Вместо реальной схемы эксперимента рассмотрим более простую эквивалентную схему Рис.1, в которой когерентные лучи входят в две одинаковые трубы со встречным движением воды. В воздухе лучи идут с частотой ν_0 и длиной волны $\lambda_0 = \frac{C}{\nu_0}$, в воде их длина волны уменьшается до $\frac{\lambda_0}{n}$.

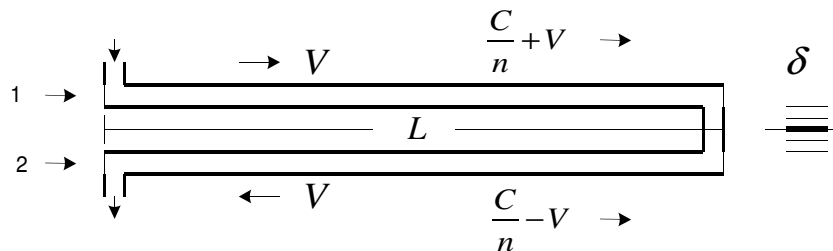


Рис.1.

Относительно воды лучи идут со скоростью $\frac{C}{n}$, но из-за увлечения света движущейся со скоростью V водой их скорости относительно интерферометра оказываются разными:

луч 1 идёт со скоростью $\frac{C}{n}+V$ и расстояние L проходит за время $t_1 = \frac{L}{\frac{C}{n}+V}$,

луч 2 идёт со скоростью $\frac{C}{n}-V$ и расстояние L проходит за время $t_2 = \frac{L}{\frac{C}{n}-V}$.

Так как относительно воды лучи идут с одинаковой скоростью $\frac{C}{n}$, за разные промежутки времени t_1 и t_2 в воде они проходят разные расстояния:

луч 1 за время t_1 относительно воды проходит расстояние $L_1 = \frac{C}{n}t_1 = \frac{LC}{n\left(\frac{C}{n}+V\right)} < L$,

луч 2 за время t_2 относительно воды проходит расстояние $L_2 = \frac{C}{n}t_2 = \frac{LC}{n\left(\frac{C}{n}-V\right)} > L$.

Это позволяет перейти к более простой схеме Рис.2, в которой когерентные лучи

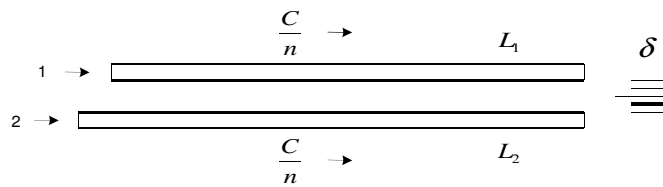


Рис.2.

одновременно входят в трубы с неподвижной водой, разные расстояния L_1 и L_2 проходят с одинаковой скоростью $\frac{C}{n}$ и выходят из воды на одинаковом расстоянии от экрана. Если предположить, как это сделал Физо, что лучи идут с одинаковой частотой ν_0 , смещение в интерферометре должно определяться выражением

$$\delta_V = \frac{C(t_2 - t_1)}{\lambda_0} = \frac{2LVC}{\lambda_0 \left(\frac{C}{n} + V\right) \left(\frac{C}{n} - V\right)}.$$

2. Влияние частоты интерферирующих лучей на смещение полос.

Монохроматический луч мы представляем как последовательность волновых фронтов, состоящих из фотонов одинаковой частоты ν_0 и движущихся в пустоте со скоростью C . Расстояние между волновыми фронтами, состоящими из фотонов одинаковой фазы, равно длине волны $\lambda_0 = \frac{C}{\nu_0} = CT_0$ (Рис.3).

Пусть в момент $t=0$ в трубы с движущейся водой входит волновой фронт 1, фазу фотонов которого мы примем за 0.

Входя в движущуюся воду, фотоны этого волнового фронта изменяют частоту и в

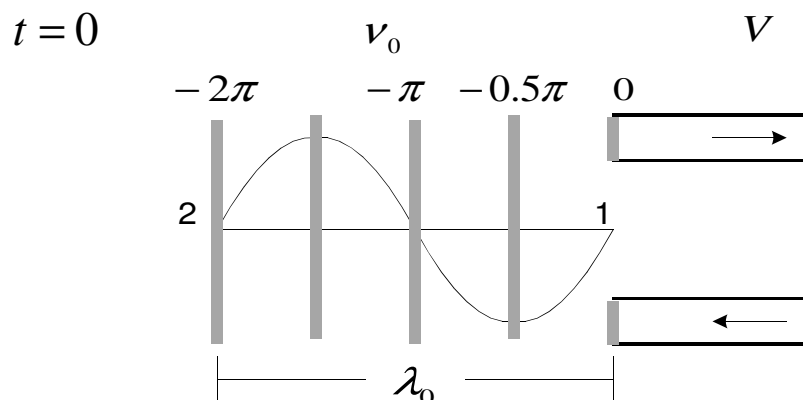


Рис.3.

воде идут с частотами $\nu_1 = \nu_0(1 - \frac{V}{C}) < \nu_0$ и $\nu_2 = \nu_0(1 + \frac{V}{C}) > \nu_0$. Относительно интерферометра фотоны идут с разными скоростями $\frac{C}{n} + V$ и $\frac{C}{n} - V$, но относительно воды их скорость одинакова и равна $\frac{C}{n}$.

Относительно воды за время T_0 фотоны ν_1 и ν_2 проходят в каждой трубе такое же расстояние $\frac{C}{n}T_0 = \frac{\lambda_0}{n}$, как и фотоны частоты ν_0 , и в момент $t = T_0$, когда в воду входит волновой фронт 2, находятся в положении 1 (Рис.4).

За время T_0 фотоны ν_0 приходят в положение 1 и их фаза изменяется на 2π .

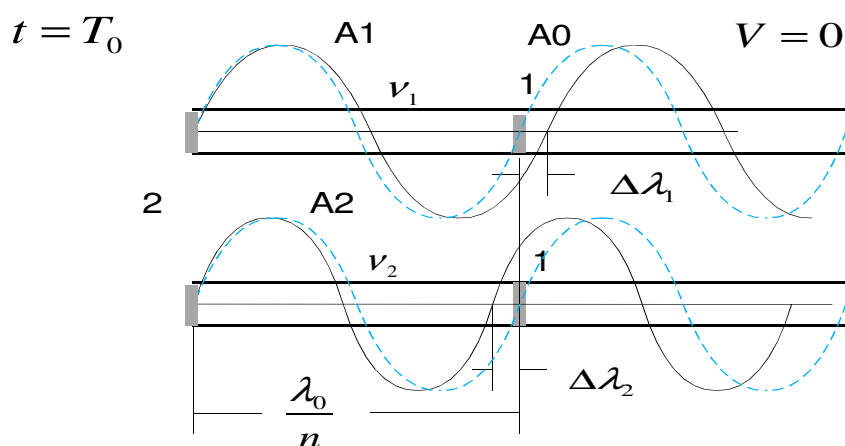


Рис.4.

Фотоны частоты $\nu_1 < \nu_0$ за время T_0 проходят такое же расстояние $\frac{\lambda_0}{n}$, но их фаза изменяется меньше, чем на 2π . Их фаза изменяется на 2π лишь в момент T_1 ,

когда фотоны проходят расстояние λ_1 , на $\Delta\lambda_1 = \lambda_1 - \frac{\lambda_0}{n}$ большее чем $\frac{\lambda_0}{n}$ (кривая A1).
 То есть каждое колебание частоты $\nu_1 < \nu_0$ отстаёт от колебания частоты ν_0 на расстояние $\Delta\lambda_1$.

Фаза колебаний фотонов частоты $\nu_2 > \nu_0$ оказывается равной 2π уже в момент T_2 , когда фотоны проходят расстояние λ_2 , на $\Delta\lambda_2 = \frac{\lambda_0}{n} - \lambda_2$ меньшее чем $\frac{\lambda_0}{n}$ (кривая A2).
 То есть каждое колебание частоты $\nu_2 > \nu_0$ опережает соответствующее колебание частоты ν_0 на расстояние $\Delta\lambda_2$.

Отметим, что колебания частоты ν_0 в первой трубе, относительно интерферометра смещённые на $\Delta\lambda_1$ назад, оказываются синхронными с колебаниями частоты ν_0 во второй трубе, смещёнными на $\Delta\lambda_2$ вперёд.

Сравним две следующие ситуации в трубах с неподвижной водой:

а) В момент $t=0$ в одинаковые трубы с неподвижной водой одновременно входит один и тот же волновой фронт частоты ν_0 , то есть в трубы одновременно входят имеющие одинаковую фазу фотоны ν_0 . Очевидно, что расстояние L в воде фотоны проходят за одинаковое время $t_L = \frac{Ln}{C}$ и в момент t_L одновременно выходят из воды (Рис.5).

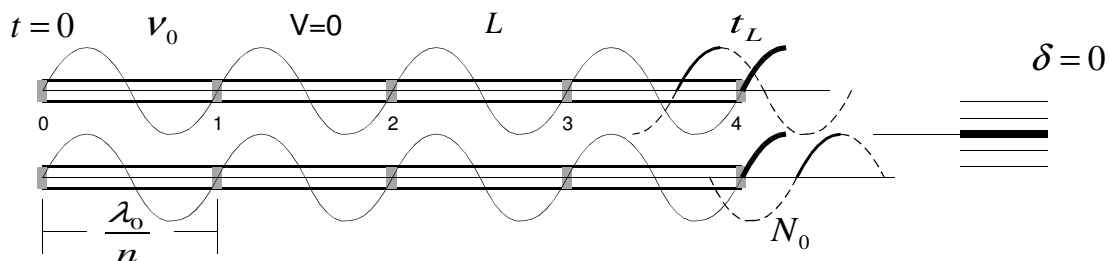


Рис.5.

За время t_L в фотонах совершаются N_0 колебаний и на расстоянии L в воде в обеих трубах укладываются одинаковые количества $N_0 = \frac{t_L}{T_0} = \frac{Ln}{\lambda_0}$ длин волн $\frac{\lambda_0}{n}$.

То есть в момент t_L на одинаковом расстоянии от экрана из воды одновременно выходят **синхронные** фотоны. Смещение полос δ в интерферометре определяется этими синхронными фотонами и в данном случае равно нулю. Фотоны следующего волнового фронта проходят расстояние L за такое же время t_L , в момент выхода из воды также остаются синхронными и создают

интерференционную полосу в той же части экрана.

б) Теперь предположим, что на входе в трубы с неподвижной водой фотоны изменяют частоты и расстояние L проходят не с ν_0 , а с частотами $\nu_1 < \nu_0$ и $\nu_2 > \nu_0$. В воде фотоны движутся с такой же скоростью $\frac{C}{n}$ и расстояние L проходят за то же самое время $t_L = \frac{Ln}{C}$ (здесь и ниже мы полагаем, что ν_1 и ν_2 отличаются от ν_0 незначительно и поэтому дисперсией пренебрегаем). На выходе из воды фотоны снова изменяют частоты и на экране интерферируют с одинаковой частотой ν_0 (Рис.6).

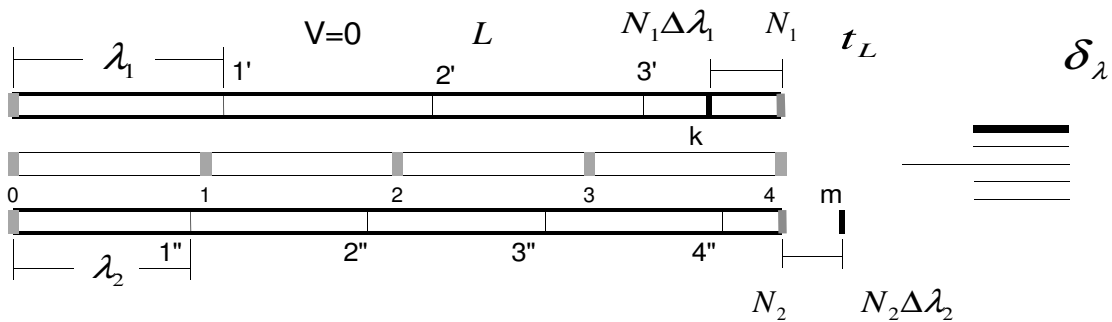


Рис.6.

Одновременно вошедшие в воду фотоны частот ν_1 и ν_2 приходят к выходу из воды в момент t_L так же одновременно, как и фотоны частоты ν_0 на Рис.5.

Но фотоны в воде идут с разными частотами и их фазы изменяются на 2π не в точках 1,2,3,4, как в луче частоты ν_0 , а в точках 1',2',3' в луче 1 и в точках 1'',2'',3'',4'' в луче 2, и в момент выхода из воды фазы фотонов оказываются неодинаковыми ($N_1 \neq N_2$).

На расстоянии L в воде укладываются $N_1 = \frac{L}{\lambda_1}$ длин волн λ_1 . Так как каждое колебание частоты $\nu_1 < \nu_0$ отстаёт от колебания частоты ν_0 на расстояние $\Delta\lambda_1$, N_1 -е колебание оказывается смещённым относительно от N_0 -го колебания частоты ν_0 на расстояние $N_1\Delta\lambda_1$. При этом $N_1\Delta\lambda_1 = N_1\lambda_1 - N_1\frac{\lambda_0}{n} = L - N_1\frac{\lambda_0}{n} = N_0\frac{\lambda_0}{n} - N_1\frac{\lambda_0}{n}$.

На расстоянии L в воде укладываются $N_2 = \frac{L}{\lambda_2}$ длин волн λ_2 , и N_2 -е колебание смещено относительно N_0 -го в направлении опережения на расстояние

$$N_2\Delta\lambda_2 = N_2\frac{\lambda_0}{n} - N_2\lambda_2 = N_2\frac{\lambda_0}{n} - L = N_2\frac{\lambda_0}{n} - N_0\frac{\lambda_0}{n}.$$

Одновременно вошедшие в воду фотоны частоты ν_0 проходят в воде одинаковое

расстояние L , в момент t_L одновременно и на одинаковом расстоянии от экрана выходят из воды с одинаковыми фазами и смещение $\delta = 0$ (кривая А0 на Рис.7).

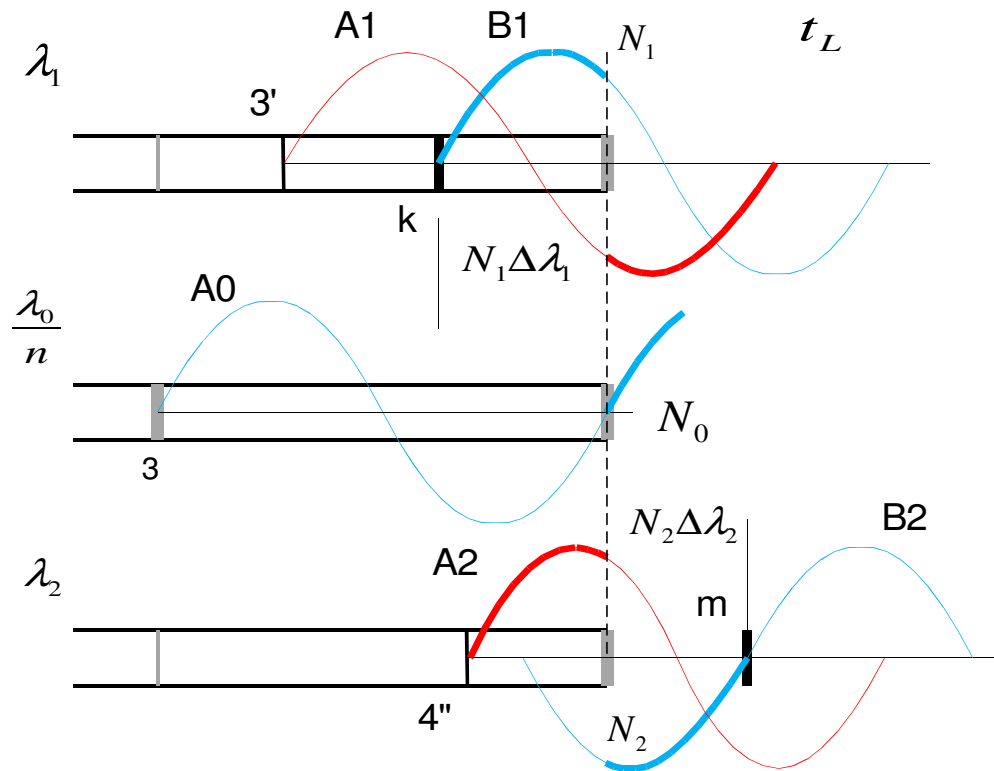


Рис.7.

Фотоны ν_1 и ν_2 так же одновременно входят в воду, проходят в воде то же самое расстояние L и в тот же самый момент t_L выходят из воды, но к выходу из воды они приходят с разными фазами (кривая В1, проходящая через точку к, смещённую относительно кривой А0 на $N_1\Delta\lambda_1$, и кривая В2, проходящая через точку м, смещённую относительно кривой А0 на $N_2\Delta\lambda_2$). На выходе из воды фотоны изменяют частоты и к экрану идут с одинаковой частотой ν_0 и с разными фазами.

Интерферометер "видит", что вместо синхронных фронтов N_0 из трубы 1 в момент t_L выходит N_1 -й волновой фронт, смещённый относительно интерферометра на $N_1\Delta\lambda_1$ назад (кривая А1), и в тот же самый момент t_L из второй трубы выходит синхронный с ним волновой фронт N_2 , смещённый относительно интерферометра на $N_2\Delta\lambda_2$ вперёд (кривая А2). Смещение полос в интерферометре оказывается таким, как в случае, если из воды одновременно выходят синхронные волновые фронты, смещённые относительно выхода из труб на $N_1\Delta\lambda_1$ назад и $N_2\Delta\lambda_2$ вперёд или один относительно другого на $\Delta\lambda_1N_1 + \Delta\lambda_2N_2$.

Таким образом, если лучи изменяют частоту и проходят одинаковое расстояние L

с разными частотами $\nu_1 < \nu_0$ и $\nu_2 > \nu_0$, в интерферометре возникает смещение $\delta_\lambda = \frac{N_1 \Delta\lambda_1 + N_2 \Delta\lambda_2}{\lambda_0}$, как в случае, если лучи идут с разными скоростями и за одно и то же время $t_L = \frac{Ln}{C}$ проходят в воде разные расстояния $L_1 = L - \Delta\lambda_1 N_1$ и $L_2 = L + \Delta\lambda_2 N_2$.

3. Смещение полос в интерферометре Физо.

В интерферометре Физо лучи за разные промежутки времени t_1 и t_2 проходят относительно воды разные расстояния L_1 и L_2 (Рис.) и, если предположить, что

$$\delta_v = \frac{2LVC}{\lambda_0 \left(\frac{C}{n} + V \right) \left(\frac{C}{n} - V \right)}.$$

лучи не изменяют частоты, должно возникнуть смещение

Но лучи идут не с одинаковой, а с разными частотами, и поэтому смещение оказывается меньше, чем δ_v .

Входя в движущуюся воду, лучи в соответствии с эффектом Доплера изменяют частоту:

$$\text{в луче 1 частота фотонов уменьшается до } \nu_1 = \nu_0 \left(1 - \frac{V}{C} \right),$$

$$\text{в луче 2 частота фотонов увеличивается до } \nu_2 = \nu_0 \left(1 + \frac{V}{C} \right).$$

Расстояния L_1 и L_2 в воде фотоны проходят с разными частотами ν_1 и ν_2 . В момент, когда лучи выходят из движущейся воды, частота фотонов в луче 1 изменяется в $\left(1 + \frac{V}{C} \right)$ раз и становится равной $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{V^2}{C^2} \right)$. Частота фотонов луча 2

соответственно изменяется в $\left(1 - \frac{V}{C} \right)$ раз и также становится равной $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{V^2}{C^2} \right)$.

Интерферируют лучи с одинаковой частотой $\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{V^2}{C^2} \right) \approx \nu_0$ и поэтому интерференционная картина на экране получается неподвижной.

В неподвижной воде фотоны частоты ν_0 имеют длину волны $\frac{C}{n\nu_0} = \frac{\lambda_0}{n}$.

Луч 1 проходит расстояние L_1 в воде с частотой $\nu_1 = \nu_0 \left(1 - \frac{V}{C} \right)$ и его длина волны

$$\text{равна } \lambda_1 = \frac{C}{n\nu_1} = \frac{CC}{n\nu_0(C-V)} = \frac{\lambda_0}{n} \frac{C}{(C-V)} = \frac{\lambda_0}{n} + \frac{\lambda_0 V}{n(C-V)} = \frac{\lambda_0}{n} + \Delta\lambda_1,$$

на $\Delta\lambda_1 = \frac{\lambda_0 V}{n(C-V)}$ больше, чем $\frac{\lambda_0}{n}$. За время t_1 , пока луч 1 проходит расстояние L_1 ,

в фотонах совершаются $N_1 = \frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{L(C-V)}{\lambda_0 \left(\frac{C}{n} + V \right)}$ колебаний и к моменту выхода из воды

волновой фронт смещается на $\Delta\lambda_1 N_1 = \frac{LV}{n \left(\frac{C}{n} + V \right)}$.

Луч 2 проходит расстояние L_2 в воде с частотой $\nu_2 = \nu_0 \left(1 + \frac{V}{C} \right)$ и длиной волны,

равной $\lambda_2 = \frac{C}{n\nu_2} = \frac{CC}{n\nu_0(C+V)} = \frac{\lambda_0}{n} \frac{C}{(C+V)} = \frac{\lambda_0}{n} - \frac{\lambda_0 V}{n(C+V)} = \frac{\lambda_0}{n} - \Delta\lambda_2$, то есть длина волны

на $\Delta\lambda_2 = \frac{\lambda_0 V}{n(C+V)}$ меньше, чем $\frac{\lambda_0}{n}$. За время t_2 , пока луч 2 проходит расстояние L_2 ,

в фотонах совершаются $N_2 = \frac{L_2}{\lambda_2} = \frac{L(C+V)}{\lambda_0 \left(\frac{C}{n} - V \right)}$ колебаний и к моменту выхода из воды

волновой фронт смещается на $\Delta\lambda_2 N_2 = \frac{LV}{n \left(\frac{C}{n} - V \right)}$.

Возникающее из-за изменения частот суммарное смещение волновых фронтов

$$\Delta\lambda_1 N_1 + \Delta\lambda_2 N_2 = \frac{LV}{n \left(\frac{C}{n} + V \right)} + \frac{LV}{n \left(\frac{C}{n} - V \right)} = \frac{LV}{n} \frac{\frac{C}{n} + V + \frac{C}{n} - V}{\left(\frac{C}{n} + V \right) \left(\frac{C}{n} - V \right)} = \frac{2LVC}{n^2 \left(\frac{C}{n} + V \right) \left(\frac{C}{n} - V \right)}$$

приводит к уменьшению смещения полос в интерферометре на $\delta_\lambda = \frac{\Delta\lambda_1 N_1 + \Delta\lambda_2 N_2}{\lambda_0}$,

Смещение полос в интерферометре оказывается равным

$$\delta = \delta_v - \delta_\lambda = \frac{2LVC}{\lambda_0 \left(\frac{C}{n} + V \right) \left(\frac{C}{n} - V \right)} - \frac{2LVC}{n^2 \lambda_0 \left(\frac{C}{n} + V \right) \left(\frac{C}{n} - V \right)} = \delta_v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

Заключение

Физо допустил ошибку в расчёте своего интерферометра и поэтому результат его эксперимента был объяснён ошибочно. Расчёт интерферометра с движущейся водой, выполненный с учётом изменения частот интерферирующих лучей, даёт значение смещения, точно соответствующее результату, полученному в эксперименте. Поэтому эксперимент Физо не может рассматриваться как подтверждение специальной теории относительности или гипотезы эфира и все попытки объяснения этого эксперимента частичным увлечением света движущейся средой или релятивистским сложением скоростей являются ошибочными.

