

ОПЫТ ФИЗО

Юшкевич Р.С.

Опыт Физо был поставлен в XIX, XX в., результаты опыта были получены теоретически с использованием релятивистской теории сложения скоростей, но приближенно и только для малых скоростей.

В предлагаемой статье получен точный результат опыта и без ограничения скорости. Для этого постулат о постоянстве скорости света в вакууме относительно любой системы отсчета заменен постулатом о постоянстве той же скорости только относительно источника света и связанных с ним систем отсчета. Такая замена затрагивает фундаментальные основы некоторых современных положений физики, поэтому должна вызывать интерес в научном мире.

В статье так же новым является представление показателя преломления света составным, состоящим из показателей преломления светонесущей среды и вещества.

Опыт Физо, поставленный в 1851 г. по измерению скорости света в движущейся среде, показал, что при скорости света в неподвижной среде $c_0 = \frac{c}{n}$ (где n – показатель преломления среды, c – скорость света в вакууме) и скорости среды v скорость света в ней равна

$$c_1 = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right). [1, с.182]$$

Эту же формулу получают, используя релятивистский закон сложения скоростей, но приближенно.

Попытаемся в обход релятивистской теории, избегая приближенных значений, получить этот же результат.

Известно, что скорость света в среде зависит от рода вещества, т.е. от его внутренней структуры.

Влияние это характеризуется показателем преломления n .

Предположим, что показатель преломления любого вещества включает в себя показатель преломления вакуума и ту часть показателя, которая зависит от структуры вещества.

В дальнейших рассуждениях вместо понятия вакуум будем использовать понятие светонесущая среда.

Получается, что показатель преломления вещества имеет две составляющие: светонесущей среды и структуры вещества.

Уменьшение скорости света в среде вызвано наличием барьеров в ней. Влияние этих барьеров равносильно увеличению длины пути для прохождения света. Назовем эти барьеры «извилинами». Элементарные частицы, входящие в состав атомов, обладают свойствами волны. Не исключено, что эти свойства распространяются за пределы, признаваемые размерами атомов. Эти волны создают неровности для прохождения света. По этим неровностям проходит световая волна, которая сама имеет гребни и впадины. Образующиеся «извилины» и увеличивают путь света. Особо отметим, что в однородном веществе эти «извилины» распределены равномерно, на каждом участке пути длина их одинакова и количество извилин пропорционально длине участка.

При распространении света скорость среды влияет на скорость света в среде, поэтому будем считать, что показатель преломления покоящейся и движущейся среды различны.

Обратимся к опыту Физо. В опыте через трубы, заполненные водой, пропускать свет вдоль оси трубы, затем создавался ток воды, и определялось влияние скорости воды на скорость света.

В дальнейших наших расчетах сечение труб не будет иметь никакого значения, поэтому на схематическом рисунке



Рис. 1

изобразим трубу и ток воды в виде отрезка прямой линии (Рис. 1).

Примем длину участка покоящейся воды $AB=L$, а число «извилин» на этом участке N , тогда длина одной «извилины»

будет равна $\frac{L}{N}$.

Показатель преломления покоящейся воды относительно светонесущей среды

$$n = \frac{c}{c_0}.$$

Теперь рассмотрим случай, когда направление света и направление течения воды совпадают.

В текущей воде, как показывает опыт, скорость света изменяется, обозначим ее c_1 , а показатель преломления движущейся воды $n_1 = \frac{c}{c_1}$.

Если показатель преломления воды относительно светонесущей среды $n = \frac{c}{c_0}$, то

показатель преломления светонесущей среды относительно воды будет $\frac{c_0}{c} = \frac{1}{n}$.

Это число показывает, какую долю показатель преломления светонесущей среды составляет в показателе преломления воды. Будем считать, что светонесущая среда не увлекается движущейся водой, поэтому ее показатель преломления останется равным $\frac{1}{n}$ и для движущейся воды.

Если $\frac{1}{n}$ – это часть показателя преломления n , которая создается светонесущей средой, то

$n - \frac{1}{n}$ – часть показателя, определяемая структурой вещества

$n_1 - \frac{1}{n}$ – та же часть только в движущейся воде.

В воде, движущейся со скоростью v , свет со скоростью c_1 пройдет расстояние L

$$\text{за время } t = \frac{L}{c_1} = \frac{L}{\frac{c}{n_1}} = \frac{Ln_1}{c}$$

За это же время вода вынесет из участка $AB=L$ столько «извилин», сколько их будет в длине vt . Мы определили длину одной «извилины» $\frac{L}{N}$, следовательно, вода

из участка AB вынесет $\frac{vt}{\frac{L}{N}} = \frac{vtN}{L} = \frac{vNLn_1}{Lc} = \frac{vNn_1}{c}$ извилин. На

пути света останется $N - \frac{vNn_1}{c} = N \left(1 - \frac{vn_1}{c} \right)$ извилин. При-

чем, что составляющая показателя преломления, определяемая структурой вещества, пропорциональна числу «извилин».

$$\frac{n - \frac{1}{n}}{n_1 - \frac{1}{n}} = \frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c} \right)} \quad (\text{пояснение см. ниже})$$

$$\frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c} \right)} = \frac{1}{1 - \frac{vn_1}{c}} = \frac{c}{c - vn_1}$$

$$\frac{n - \frac{1}{n}}{n_1 - \frac{1}{n}} = \frac{c}{c - vn_1}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n_1 n - 1} = \frac{c}{c - vn_1}.$$

Из полученного уравнения находим n_1 .

$$cn^2 - c - n^2 vn_1 + vn_1 = cn_1 n - c$$

$$cn^2 = n_1 nc + n^2 vn_1 - vn_1$$

$$n_1 = \frac{cn^2}{cn + vn^2 - v}, \text{ но } n_1 = \frac{c}{c_1}, \text{ отсюда}$$

$$c_1 = \frac{c}{n_1}, \text{ следовательно}$$

$$c_1 = \frac{c}{\frac{cn + vn^2 - v}{cn^2}} = \frac{cn + vn^2 - v}{n^2} =$$

$$= \frac{cn}{n^2} + v - \frac{v}{n^2} = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$c_1 = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Коэффициент увлечения света движущейся водой равен $1 - \frac{1}{n^2}$, что точно

соответствует результатам опыта Физо.

Проверим верность пропорции:

$$\frac{n - \frac{1}{n}}{n_1 - \frac{1}{n_1}} = \frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c}\right)}$$

Найдем время t_0 и t_1 прохождения участка L в стоячей и текущей воде и представим показатели преломления n и n_1 в виде суммы составляющих их частей.

$$t_0 = \frac{L}{c_0} = \frac{L}{\frac{c}{n}} = \frac{Ln}{c} = \frac{L \left(n - \frac{1}{n} + \frac{1}{n}\right)}{c} =$$

$$= \frac{L \left(n - \frac{1}{n}\right)}{c} + \frac{L \times \frac{1}{n}}{c}$$

$$t_1 = \frac{L}{c_1} = \frac{L}{\frac{c}{n_1}} = \frac{Ln_1}{c} = \frac{L \left(n_1 - \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_1}\right)}{c} =$$

$$= \frac{L \left(n_1 - \frac{1}{n_1}\right)}{c} + \frac{L \times \frac{1}{n_1}}{c}$$

Здесь второе слагаемое в обоих случаях представляет собой время прохождения светом светонесущей среды на участке L ,

оно одинаково и для стоячей и для текущей воды.

Первые слагаемые представляют собой время прохождения светом пути, созданного «извилинами» соответственно в стоячей и текущей воде. Путь, обусловленный «извилинами» в воде, пропорционален числу «извилин», создающих этот путь. Значит можно записать:

$$\frac{\frac{L \left(n - \frac{1}{n}\right)}{c}}{\frac{L \left(n_1 - \frac{1}{n_1}\right)}{c}} = \frac{L \left(n - \frac{1}{n}\right)}{L \left(n_1 - \frac{1}{n_1}\right)} = \frac{N}{N - \frac{vn_1 N}{c}} =$$

$$= \frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c}\right)}$$

получаем

$$\frac{n - \frac{1}{n}}{n_1 - \frac{1}{n_1}} = \frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c}\right)}$$

Используемая нами пропорция верна.

До сих пор мы рассматривали взаимодействие света с водой для случая, когда источник света покоился, а вода двигалась со скоростью v по направлению распространения света. Но из принципа относительности движений можно рассматривать это же взаимодействие для случая, когда вода покоится, а источник света движется со скоростью $-v$. Взаимодействие света и воды от этого не должно измениться и выводы должны остаться прежними, т.е. уравнение, определяющее скорость света в воде, не должно меняться в зависимости от того, что движется вода или источник света.

Для рассмотрения этого вопроса будем считать, что светонесущая среда движется вместе с источником света, что она существует независимо от наличия световых волн и свет в ней распространяется со скоростью c относительно источника света, что она пронизывает вещества (по

крайней мере, прозрачные), не взаимодействуя с ними.

Рассмотрим прохождение света через неподвижную воду от источника света, движущегося со скоростью $-v$ относительно воды. В этом случае свет распространяется со скоростью c относительно источника к воде, а светонесущая среда

сносит его вместе с источником со скоростью $-v$.

Выберем участок на пути света в воде от покоящегося источника. Фиксируем концы этого участка (для светонесущей среды обозначим их А и В, а для воды С и D). (Рис. 2)

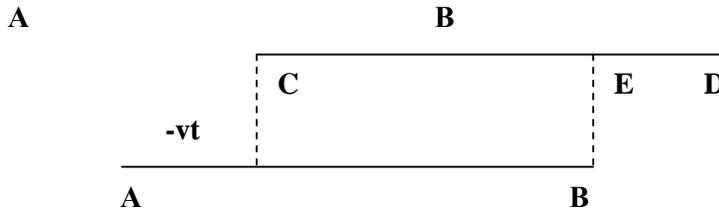


Рис. 2

Пусть длина участка будет L , а число «извилины» на выбранном участке воды CD будет N , тогда длина одной «извилины» будет $\frac{L}{N}$.

Теперь рассмотрим случай, когда источник света движется со скоростью $-v$ (по рисунку влево). Свет, пройдя точку А, распространяется вправо, двигаясь в воде, одновременно смещаясь влево вместе со светонесущей средой. Скорость света в воде от движущегося источника света обозначим c_1 , а соответственно показатель преломления воды n_1 .

Участок светонесущей среды $AB=L$ свет пройдет за время $t = \frac{L}{c_1} = \frac{Ln_1}{c}$ при

этом светонесущая среда вместе с источником света сместится влево на расстояние $ED=vt$. Со светом будет взаимодействовать вода на участке $CE = L - vt = L - \frac{vLn_1}{c}$. Число «извилины»

на участке воды ED будет $\frac{vLn_1N}{cL} = \frac{vn_1N}{c}$,

а взаимодействовать со светом на участке CE будет $N - \frac{vn_1N}{c} = N \left(1 - \frac{vn_1}{c}\right)$ «извилины».

В случае с движущейся водой мы пришли к выводу, что составляющие показателей преломления, определяемых структурой вещества и частотой света, пропорциональны числу «извилины», проходящих светом, поэтому можно записать:

$$\frac{n - \frac{1}{n}}{n_1 - \frac{1}{n_1}} = \frac{N}{N \left(1 - \frac{vn_1}{c}\right)} \quad \text{или}$$

$$\frac{n^2 - 1}{n_1 - 1} = \frac{c_1}{c - vn_1}$$

Из полученного равенства находим n_1 и, учитывая, что $n_1 = \frac{c}{c_1}$ или $c_1 = \frac{c}{n_1}$,

$$\text{находим } c_1 = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Мы дважды получили одну и ту же формулу. Первый раз она получена, исходя из опыта Физо. В этом случае наблюдатель и источник света покоились относительно друг друга, и, значит, формула давала скорость света в воде относительно наблюдателя и относительно источника света, но относительно движущейся воды она бы изменилась на v . Во втором случае формула показывала скорость света относительно источника света, который двигался относительно наблюдателя. Она бу-

дет также отличаться на v . Окончательно формула примет вид:

$$c_1 = \frac{c}{n} + v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) - v, \text{ если наблюдатель и}$$

вода удаляются от источника света или источник света удаляется от них. При сближении их надо знак v менять на противоположный.

При скорости воды $v=0$

$$c_1 = \frac{c}{n}$$

При скорости воды $v=c$ свет не догонит воду и будет распространяться в светонесущей среде, показатель преломления которой $n=1$, получаем

$$c_1 = \frac{c}{1} + c \left(1 - \frac{1}{1^2} \right) = c$$

Эти же результаты получит и наблюдатель, покоящийся относительно источника света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Г.А. Зисман, О.М. Тодес, Курс общей физики т. 3. – М.: «Наука», 1972.

FIZEAU EXPERIMENT

Yushkevich R.S.

Fizeau experiment was run in XIX-XX centuries, the results of the experiment were obtained theoretically, using the relativistic velocity addition theory, but approximately and only for low speeds. In the clause offered the exact result is obtained, the speed being not limited. To do it the vacuum light speed constancy postulate is altered by the postulate of the same speed constancy but relative to the light source and associated with it reference systems. Such an alteration touches fundamental bases of some modern principles of physics, that is why it must arouse great interest in the scientific world.

The refraction index represented as a composed of those of the substance and light-bearing medium is also new.