Квант действия и релятивистские кинематические эффекты

Когда на рубеже XIX-XX веков физики обнаружили отсутствие инвариантности электродинамики Максвелла в ее применении к движущимся телам, очень многие из ученых того времени занялись поиском объяснения этой несвойственной физическим явлениям асимметрии. В итоге возникшая проблема была математически решена заменой преобразований координат Галилея преобразованиями Лоренца. Физическое обоснование такого решения чуть позже дал Эйнштейн в рамках созданной им специальной теории относительности (СТО).

Как известно, вывод релятивистского преобразования координат опирался на уточненное понятие одновременности событий и два ключевых постулата, которые Эйнштейн сформулировал так:

«Дальнейшие соображения опираются на принцип относительности и на принцип постоянства скорости света. Мы формулируем оба принципа следующим образом.

Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к какой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся.

Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом»[1].

Второй из постулатов Эйнштейна, prima facie, противоречит интуитивным механическим представлениям о сложении скоростей перемещения наблюдаемых объектов. Выясним, в чем состоит это противоречие и как его разрешает автор СТО.

Для установления факта одновременности происходящих событий два разных наблюдателя, один из которых (B) движется со скоростью v относительно другого (A), выполняют процедуру синхронизации своих часов, используя еще одного наблюдателя (M), который покоится в системе отсчета наблюдателя A (Рис. 1).

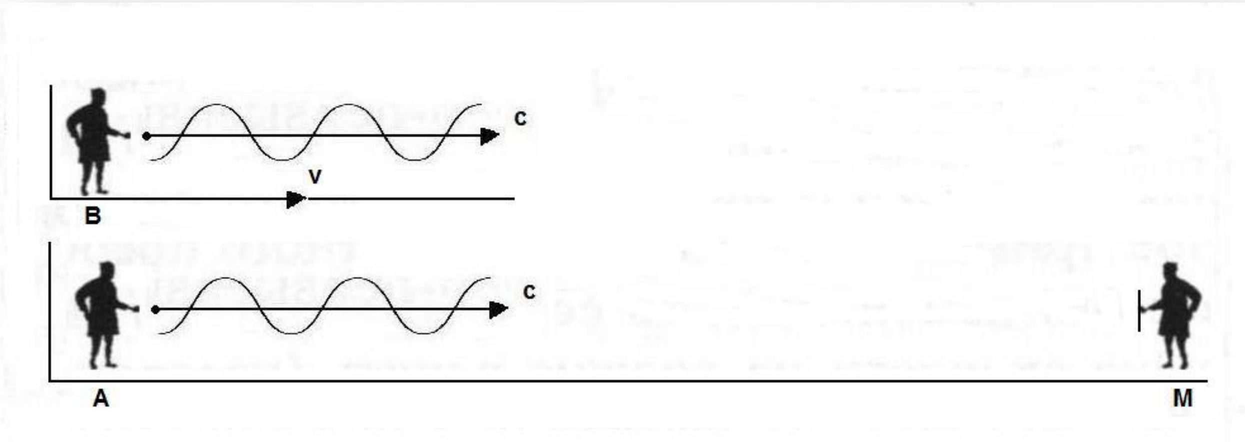

Рис. 1. Синхронизация часов. Отправка светового сигнала.

Процедура синхронизации часов заключается в следующем. В тот момент времени, когда значения абсцисс наблюдателей A и B совпадают, каждый из них отправляет свой световой сигнал в направлении наблюдателя M, который держит зеркало. Через определенный интервал времени сигналы, отразившись от зеркала, возвращаются к пославшим их наблюдателям.

[1] Эйнштейн А., Собр. науч. тр., Т. 1. Работы по теории относительности. 1905-1920, М. 1965. («Zur Elektrodynamik bewegter Körper», §2).

Согласно классическим представлениям[2], скорости, отправленных наблюдателями А и В сигналов не равны между собой. Если скорость сигнала, который послан наблюдателем А, в его системе отсчета равна c, то скорость сигнала, отправленного наблюдателем В относительно системы отсчета наблюдателя А равна $c + v$.

Поэтому должны отличаться и промежутки времени, затраченные сигналами от разных наблюдателей на прохождение расстояния от источника до приемника и обратно. Обозначим расстояние между наблюдателями А и М буквой L. Время, которое потребуется сигналу А на весь путь, туда и обратно, равно:

$$t_A = \frac{2L}{c} \tag{1}$$

Поскольку, наблюдатель В движется по направлению к наблюдателю М, то в момент приема своего отраженного сигнала он окажется в некоторой точке N, которая будет находиться на расстоянии $l > 0$ от точки А (Рис. 2), даже если $v \ll c$. Иначе говоря, сигнал В проходит несколько меньшее расстояние[3], чем сигнал А.

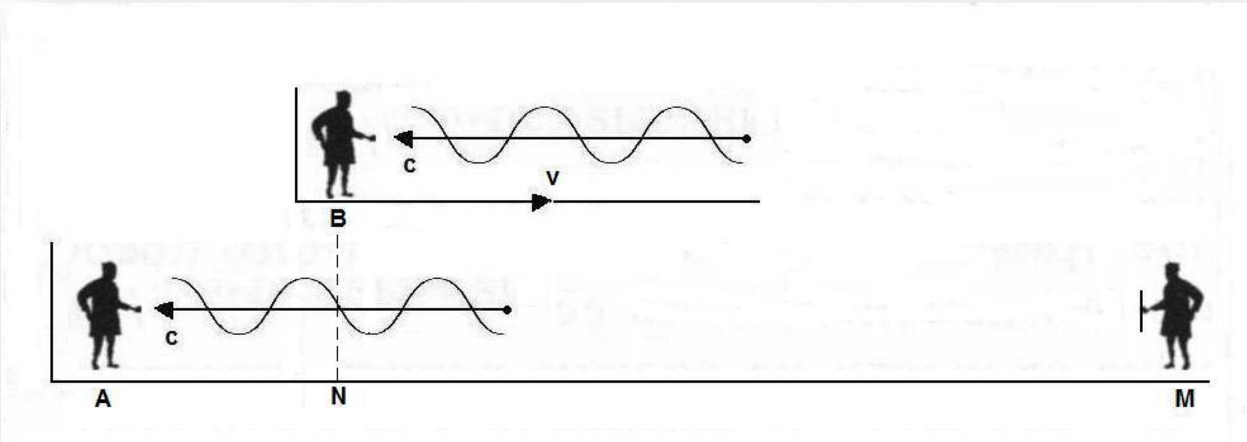

Рис. 2. Синхронизация часов. Возвращение светового сигнала.

Тем не менее, сигнал В за счет перемещения его источника относительно покоящегося наблюдателя А, находится в пути туда и обратно, по крайней мере, не дольше сигнала А ($t_B \preccurlyeq t_A$), то есть в любом случае, затрачивает на свое перемещение другое время, которое равно:

$$t_B = \frac{2L - l}{c + v} \tag{2}$$

Однако, все реальные эксперименты[4], связанные с посылкой световых сигналов, свидетельствуют о том, что, на самом деле, эти сигналы всегда попадают в приемник одновременно, вне зависимости от состояния относительного перемещения источника сигнала, его приемника и неподвижного наблюдателя (то есть, и в рассмотренном выше мысленном эксперименте также должно выполняться равенство $t_B = t_A$).

[2] Точнее, согласно принципу относительности Галилея и корпускулярной теории света Ньютона.

[3] Формально при v=c, разница в расстояниях, которые проходят эти сигналы, максимальна и равна L, а $t_B=t_A/4$. При v=0, естественно, что и расстояние l=0, а $t_B=t_A$.

[4] Самый известный из них – опыт Майкельсона-Морли.

Попытки согласовать подобные экспериментальные результаты и классическую теорию привели к постулату независимости скорости света от состояния движения его источника или второму постулату Эйнштейна.

Другими словами, Эйнштейн таким, в известном смысле, вынужденным способом устранил существующее противоречие за счет отказа от классического принципа сложения скоростей, сохранив, тем не менее, обычное механическое определение скорости[5]. Точнее, он заменил классический принцип сложения релятивистским. В случае релятивистского сложения скоростей, эта математическая операция формально ничего не меняет: скорость светового сигнала в неподвижной системе отсчета физически непостижимым образом остается равной его скорости относительно подвижной системы отсчета, и одновременность прибытия сигналов, действительно, не нарушается. На самом деле, произошла лишь замена одного противоречия, касающегося одновременности прибытия световых сигналов, другим - противоречием с классическим законом сложения скоростей.

Возможно, что так получилось по причине представления светового сигнала волной распространяющейся в электромагнитном поле, то есть объектом, не локализованным в пространстве, поведение которого качественно отличается от перемещения локализованных вещественных объектов. Иначе говоря, более корректным вариантом решения данной проблемы могло бы стать использование корпускулярных представлений о природе света, вместо волновых. Этот вариант позволяет сохранить как классический принцип сложения скоростей, так и условие одновременности прибытия сигналов.

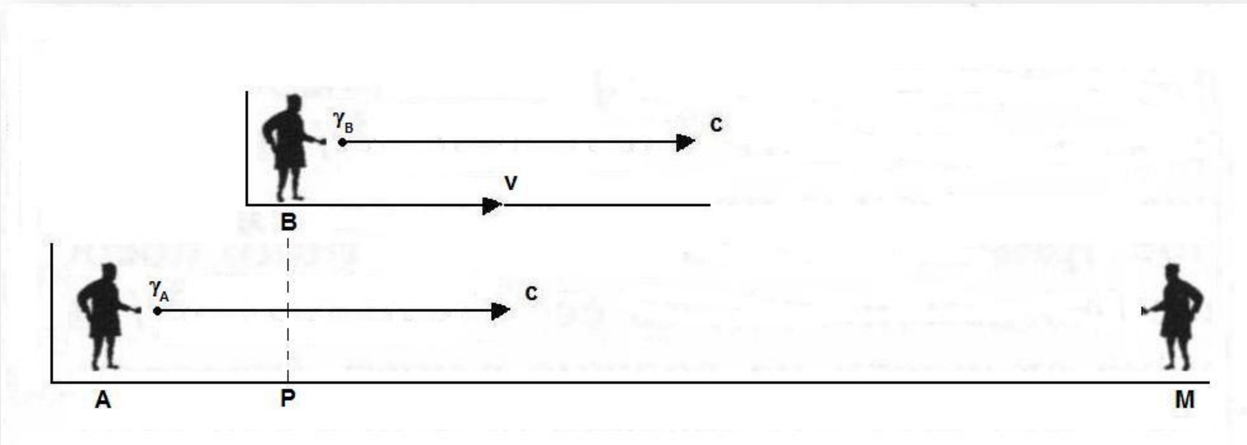

Рис. 3. Отправка и регистрация фотонов.

Выясним, каким образом можно совместить указанные принцип сложения и условие одновременности. Рассмотрим мысленный эксперимент, подобный описанной выше процедуре синхронизации часов. Пусть в момент времени, когда совпадают абсциссы неподвижного наблюдателя A и наблюдателя B, движущегося со скоростью v относительно наблюдателя A в сторону неподвижного наблюдателя M, наблюдатели A и B одновременно отправляют ему по одному фотону (Рис. 3). Наблюдатель M регистрирует время прибытия этих частиц.

Если скорость фотона γ_A, отправленного наблюдателем A, и скорость фотона γ_B, отправленного наблюдателем B, в их собственных системах отсчета одинаковы и равны c,

[5] То есть, не разрешив его окончательно. Осталось непонятным, почему нельзя классически складывать скорость света со скоростью его источника, если и та и другая определяются абсолютно одинаково, как расстояние, проходимое за единицу времени?

то скорость фотона γ_B относительно системы отсчета А, согласно классическому принципу сложения скоростей, будет равна $c + v$.

A parte отметим одно изменившееся обстоятельство: в случае использования для передачи сигналов частиц света, несовпадение расстояний, которые проходят сигналы, отправленные наблюдателями А и В, становится далеко не очевидным.

Действительно, наблюдатель В оказывается в точке Р в момент прибытия сигнала от него в точку М (Рис. 3). С другой стороны, утверждение о том, что этот сигнал якобы проходит расстояние $L - {}^{vL}/_{c}$ равносильно признанию момента прибытия фотона γ_B в точку М, моментом его отправки из точки Р. Иначе говоря, создается впечатление, что наблюдатель В, за счет своего движения, подобно фантастическому лангольеру, «выгрызает» линейный фрагмент пространства длиной ${}^{vL}/_{c}$.

На самом же деле, наблюдатель В и сигнал от него движутся, хотя и вместе, но независимо друг от друга. То, что наблюдатель В через промежуток времени ${}^{L}/_{c}$ приходит в точку Р никоим образом не сказывается на расстоянии, проходимым фотоном γ_B, которое так же как и для фотона γ_A равно L.

Тем не менее, с точки зрения наблюдателя А, фотон γ_B, за счет разницы в скорости, должен достичь приемника раньше ($t_B < t_A$), фотона γ_A, отправленного им самим, тогда как по факту оба сигнала прибывают в точку М одновременно ($t_B = t_A$).

Кажется, что от замены переноса сигнала волной его переносом корпускулой ничего не изменилось. Однако решить проблему все-таки можно, если подойти к ней с несколько неожиданной стороны. Воспользуемся некоторыми из ключевых понятий квантовой механики, то есть попробуем найти решение макроскопической задачи на основе микроскопического подхода.

Предварительно выскажем одно важное соображение, которое положим в основу всех дальнейших рассуждений. Свяжем предполагаемое различие сравниваемых интервалов времени с тем весьма вероятным обстоятельством, что покоящийся и движущийся наблюдатели объективно используют для измерения этих интервалов свои, количественно отличающиеся временные масштабы. То есть действительному совпадению сравниваемых интервалов времени соответствует существование некоторого масштабного коэффициента перехода от одной системы отсчета к другой (k_t).

Другими словами, можно записать следующее равенство:

$$t_A = k_t \cdot t_B \qquad (3) \qquad \text{или } {}^{L}/_{c} = k_t \cdot {}^{L}/_{(c+v)},$$ откуда находим, что:

$$k_t = 1 + {}^{v}/_{c} \tag{3.1}$$

Очевидно, что, если наблюдатель В, удаляется от неподвижного наблюдателя М, то есть движется со скоростью $-v$ относительно наблюдателя А, то выражение (3.1) принимает вид:

$$k_t = 1 - {}^{v}/_{c} \tag{3.2}$$

Обратимся теперь к квантовой механике. Воспользуемся предположением де Бройля о том, что «… “масса покоя” каждого светового кванта имеет заданную величину m_0; поскольку атомы света обладают скоростями, очень близкими по величине к эйнштейновской предельной скорости c, они должны иметь малую (но не бесконечно малую в математическом смысле) массу …»[6].

[6] Louis de Broglie, A Tentative Theory of Light Quanta, The London, Edinburg, and Dublin Phil. Mag. and J. Sci. 47 (No. 278), 446—458 (February 1924).

Согласиться с этим предположением позволяет повседневное наблюдение взаимодействия фотонов с веществом, для чего каждая частица света обязана иметь, пусть и ничтожную, но не нулевую массу[7]. В конце концов, даже самые ярые сторонники идеи отсутствия у фотонов массы покоя не станут отрицать наличие у этих частиц отличных от нуля импульса и энергии.

Поэтому, в соответствии с идеей де Бройля о наличии у частиц вещества волновых свойств, можно говорить о том, что перемещение фотона со скоростью V, происходит согласовано с протеканием некоторого внутреннего периодического процесса, частота которого равна: $\nu_D = {mV^2}/{h}$, где m – масса фотона, h – постоянная Планка.

Хорошо известно, что выяснение физической природы этого процесса всегда сопровождалось ожесточенными спорами. Также не секрет, что успешно используемую вероятностную интерпретацию волновой функции Шредингера, предложенную Борном, некоторые известные ученые считают, в физическом смысле, не более чем паллиативом. Достигнуть окончательного согласия не удалось до сих пор, и нельзя утверждать, что природа процесса, предсказанного де Бройлем, определена раз и навсегда. Поэтому, в нашем случае, ничто не мешает связать его существование с существованием единиц измерения длительности и длины, которые можно назвать естественными[8].

Что означает понятие «естественности» в отношении указанных масштабов? Это понятие самым тесным образом связано с процессом взаимодействия материальных объектов и физическим смыслом постоянной Планка или кванта действия.

Дело в том, что кажущиеся непрерывно длящимися процессы, в действительности, представляют собой дискретную последовательность элементарных актов обмена определенными порциями энергии между взаимодействующими объектами. Каждый из таких, согласованных между собой, актов состоит из мгновенных моментов испускания/поглощения порции энергии, разделенных интервалом времени, в течение которого взаимодействие между объектами можно считать отсутствующим. Постоянная Планка численно равна той минимальной порции энергии, которой успевают обменяться объекты в течение одного элементарного акта взаимодействия[9].

Поэтому величину $T_D = {1}/{\nu_D} = {h}/{mV^2}$, где V – относительная скорость перемещения объектов, вполне логично можно считать естественной единицей времени процессов, происходящих с этими объектами, а расстояние $\lambda_D = VT_D = {h}/{mV}$, на которое успевает сместиться движущийся объект за этот интервал времени, соответственно можно принять за естественную единицу длины.

Временной масштаб в системе отсчета наблюдателя А обозначим, в соответствии с вышеизложенными соображениями, как $\tau_A = {h}/{mc^2}$, а временной масштаб, определяемый этим наблюдателем для системы отсчета наблюдателя В, который

---

[7] Заметим, что признание массы фотона нулевой до сих пор нельзя считать окончательным. По разным оценкам, верхняя граница этой величины находится в пределах от 10^{-46} кг до 10^{-52} кг (Кобзарев И. Ю., Окунь Л. Б. О массе фотона. УФН, Том 95, вып. 1, 1968 г. Май). Из недавних оценок можно сослаться на результаты эксперимента (Сюэ Фэн-Ву, Сон-Бо Чжан и др. Ограничения на массу фотона в связи с быстрыми радиовсплесками. Февраль 2016 г.), в котором получено значение $\leq 1{,}6\cdot 10^{-52}$ кг.

[8] Подобно тому, как в теории элементарных частиц предполагается существование фундаментальной длины и соответствующего интервала времени. Как известно, эти понятия используются в решении проблемы расходимостей вычисляемых значений некоторых физических параметров частиц с помощью процедуры перенормировки.

[9] Определенный таким образом физический смысл постоянной Планка непосредственно следует из соотношения неопределенностей Гейзенберга для энергии $\Delta E\cdot\Delta t \geq h/2\pi$, но это – тема для отдельного разговора.

сближается с наблюдателем M, как $\tau_B = {}^{h}/_{m(c+v)^2}$. Тогда можно будет записать, что: $t_A = n_A \cdot \tau_A$, и $t_B = n_B \cdot \tau_B$, где n_A, n_B – достаточно большие натуральные числа.

Из сопоставления выражения (3) и только что найденных выражений для интервалов времени t_A и t_B следует, что масштабный коэффициент для длительностей равен:

$$k_t = \frac{t_A}{t_B} = \frac{n_A \tau_A}{n_B \tau_B} = \frac{n_A}{n_B} \cdot \frac{(c+v)^2}{c^2} = \frac{n_A}{n_B} \cdot (1 + {}^{v}/_{c})^2 \qquad (4)$$

Это выражение тождественно совпадает с выражением (3.1), полученным ранее из макроскопических соображений, при условии, что:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{1}{1 + {}^{v}/_{c}} \qquad (4.1)$$

Предполагаемому существованию подобного масштабного коэффициента квантового происхождения, в СТО можно поставить в соответствие известный релятивистский кинематический эффект «замедления» времени, который математически описывается следующим выражением для отношения длительностей t_A и t_B, анализируемых процессов отправки и приема световых сигналов:

$$t_A = \frac{t_B}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ или } \frac{t_A}{t_B} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (5)$$

Результаты вычислений, выполненных согласно сопоставляемым выражениям (5) и (3.1), графически отображены на Рис. 4. Они позволяют говорить, как минимум, о качественном совпадении данных зависимостей и даже известной количественной близости сравниваемых значений, вплоть до величины ${}^{v}/_{c} \approx 0{,}84$.

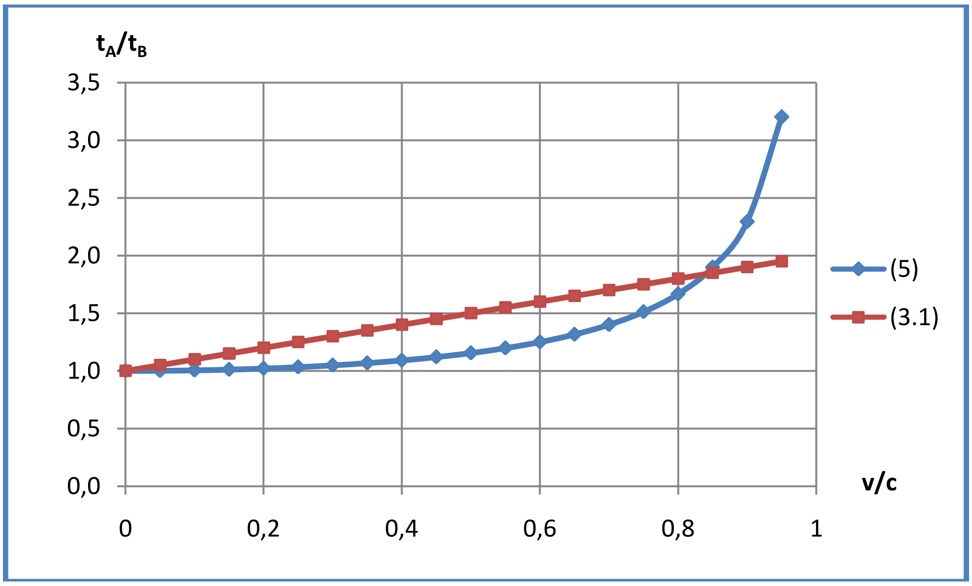

Рис. 4. Эффект «замедления» времени.

Рассмотрим теперь вариант удаления наблюдателя B от наблюдателя M. В этом случае временной масштаб, определяемый для B наблюдателем A, должен быть записан следующим образом: $\tau_B = {}^{h}/_{m(c-v)^2}$.

Тогда и масштабный коэффициент для длительностей будет выглядеть иначе:

$$k_t = {}^{n_A}/_{n_B} \cdot (1 - {}^{v}/_{c})^2$$

Это выражение, в свою очередь, тождественно совпадает с выражением (3.2), полученным ранее, при условии, что:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{1}{1 - {}^{v}/_{c}}$$

Однако сравнение между собой выражений (5) и (3.2) демонстрирует кардинальное расхождение вычисленных согласно этим выражениям значений (Рис. 5), что физически может быть интерпретировано, как существование, sui generis, релятивистского кинематического эффекта «ускорения» времени, дополнительного эффекту его «замедления».

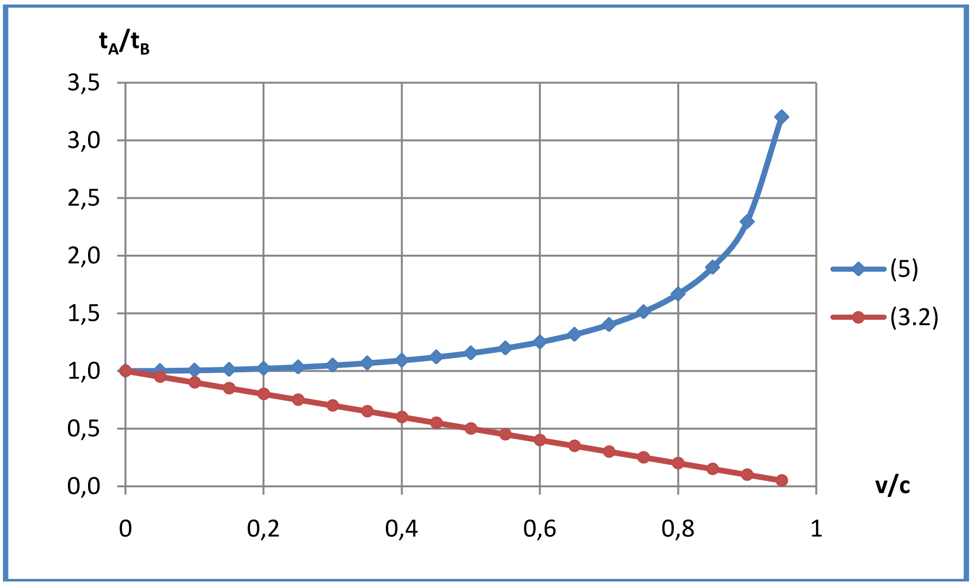

Рис. 5. Эффект «ускорения» времени.

В СТО подобный эффект отсутствует, что, разумеется, порождает весьма серьезные сомнения в корректности, предложенного в данной статье, квантово-корпускулярного подхода к разрешению противоречия физического содержания второго постулата Эйнштейна и классического закона сложения скоростей.

Все мои попытки найти причину расхождения, отображенного на Рис. 5, более полугода оказывались совершенно безрезультатными, и я был близок к тому, чтобы окончательно отказаться от своей идеи подведения квантового фундамента под известные релятивистские эффекты.

Однако около месяца назад, я с интересом прочитал работу независимого исследователя и научного журналиста Льва Верховского, посвященную СТО[10], которая позволила мне сдвинуться с мертвой точки и, в какой-то степени, вернуть оптимизм первоначальных поисков.

[10] Верховский Л.И., Мемуар по теории относительности и единой теории поля. М. 2000 г.

Автор указанной работы обратил внимание на то обстоятельство, что формулы преобразования пространственных координат и времени были выведены Эйнштейном исключительно для частного случая, когда используется дополнительная система отсчета, удаляющаяся от приемника светового сигнала. Введение этой системы отсчета было предпринято ad hoc и потребовалось для выяснения физического смысла некоторого функционального коэффициента в искомых линейных преобразованиях.

Вот, что сам Эйнштейн пишет об этом: *«... Выведенные формулы преобразования содержат неизвестную функцию φ от* v*, которую мы теперь определим.*

Для этой цели вводим еще одну, третью координатную систему K' которая относительно системы k совершает поступательное движение параллельно оси Ξ таким образом, что ее начало координат движется со скоростью $-v$ *по оси Ξ»*[11].

Далее он доказывает, что коэффициент $\varphi(v) = 1$. Поэтому в найденных преобразованиях его можно опустить, с чем, со своей стороны, были полностью согласны и Лоренц, и Пуанкаре.

Верховский обобщил выводы Эйнштейна и показал, что функция $\varphi(v)$, кроме тождественного равенства единице, может также принимать значения, как меньшие единицы, так и большие ее, в зависимости от направления перемещения объектов относительно той или иной системы отсчета (знака их скорости). Он связал это обобщение с эффектом Доплера, в соответствие с которым длина волны светового сигнала испытывает либо красное смещение (при взаимном удалении источника и приемника сигнала), либо фиолетовое смещение (при их взаимном сближении).

Согласно Верховскому, в преобразования Лоренца, в качестве множителя, вместо коэффициента $\varphi(v) = 1$, должен входить коэффициент Доплера *(D)*, равный в случае взаимного сближения источника и приемника светового сигнала:

$$D = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \tag{6}$$

а в случае их взаимного удаления:

$$D = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \tag{7}$$

С учетом этого обстоятельства, выражение (5), описывающее отношение длительностей в случае взаимного сближения источника и приемника сигнала, приобретает следующий вид:

$$\frac{t_A}{t_B} = \frac{\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{5.1}$$

Результаты вычислений, выполненных с использованием этого выражения, свидетельствуют о качественном соответствии друг другу хода зависимостей, заданных как выражением (3.1), так и выражением (5.1), которые описывают отношение интервалов времени t_A и t_B, а также об их общем соответствии стандартному релятивистскому эффекту «замедления» времени (Рис. 6).

[11] Эйнштейн А., Собр. науч. тр., Т. 1. Работы по теории относительности. 1905-1920, М. 1965. («Zur Elektrodynamik bewegter Körper», §3).

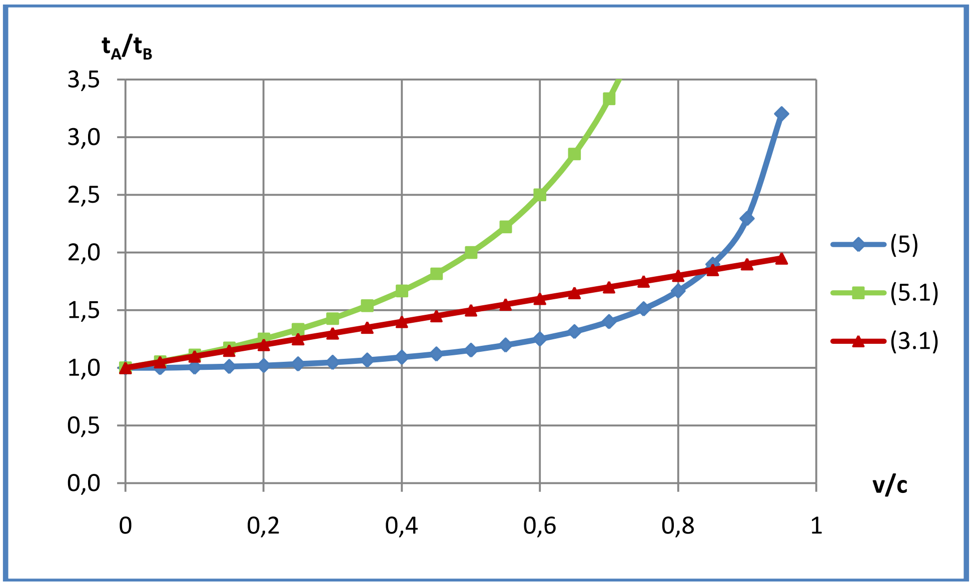

Рис. 6. Эффект «замедления» времени с учетом множителя Доплера.

Взаимное удаление источника и приемника светового сигнала соответственно требует приведения выражения (5) к виду:

$$\frac{t_A}{t_B} = \frac{\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \tag{5.2}$$

В этом случае, как и в случае, который описывает найденное на основе квантово-корпускулярного подхода выражение (3.2), появляется релятивистский эффект «ускорения» времени, качественно симметричный эффекту «замедления» времени (Рис. 7).

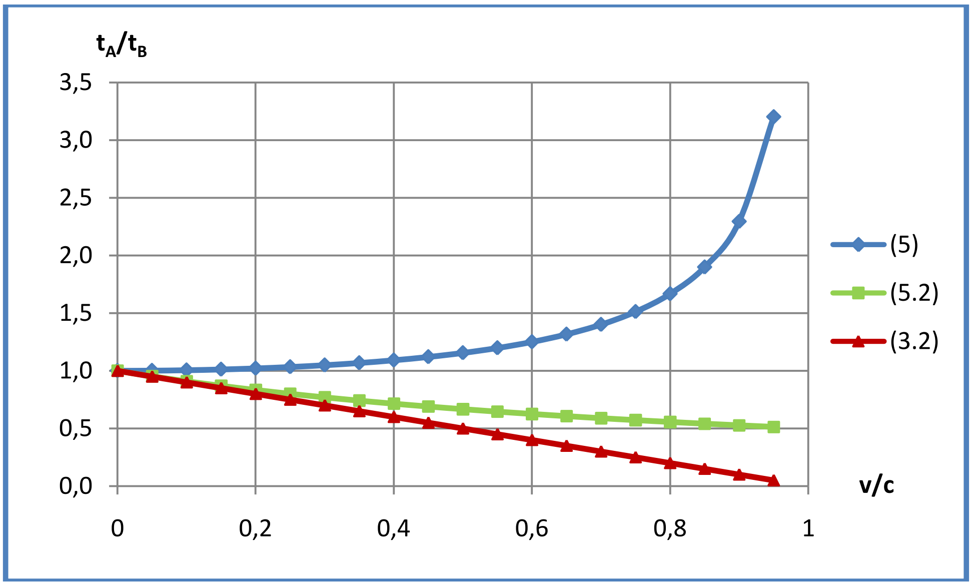

Рис. 7. Эффект «ускорения» времени при использовании множителя Доплера.

Отметим и то, что данные, вычисленные с использованием выражений (3.1) и (5.1), а также выражений (3.2) и (5.2), демонстрируют, кроме качественного соответствия друг другу, известную близость своих значений в количественном отношении, особенно в диапазоне $0 \leq v/c \leq 0{,}4$.

Теперь сравним данные по релятивистскому кинематическому эффекту изменения длины движущегося стержня. Этот эффект связан с особенностями процедуры измерения размеров движущихся объектов, и в определенном смысле является следствием только что рассмотренного релятивистского эффекта изменения интервалов времени.

Дело в том, что длина движущегося стержня определяется как расстояние между точками покоящейся системы отсчета (наблюдатель А), с которыми совпадают начало и конец движущегося стержня в некоторый момент времени по часам покоящейся системы отсчета. То есть в этой системе отсчета концы движущегося стержня засекаются одновременно, чего нельзя утверждать в отношении движущейся системы отсчета (наблюдатель В), поскольку показания ее часов в момент засечки концов стержня, с точки зрения наблюдателя А, не совпадают.

Совпадение показаний часов происходит в другой момент времени, что равносильно признанию соответствующего изменения длины движущегося стержня.

Пусть стержень движется относительно наблюдателя А в направлении наблюдателя М с той же скоростью v, что и наблюдатель В, то есть относительно последнего стержень находится в покое (Рис. 8).

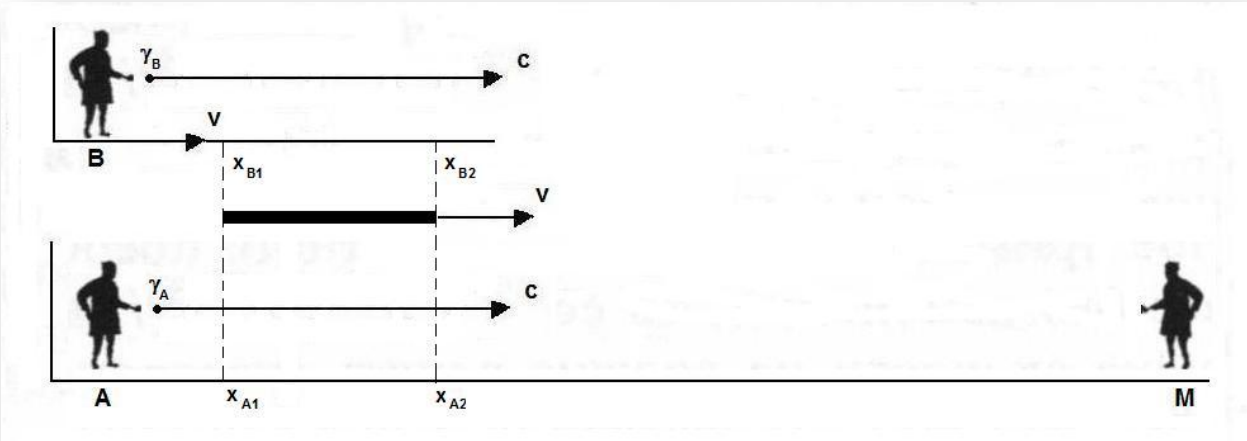

Рис. 8. Сближение стержня и приемника сигнала.

Длина покоящегося стержня l_B по определению равна $x_{B2} - x_{B1}$, а длина движущегося l_A, соответственно равна $x_{A2} - x_{A1}$, где x_{ij} обозначают координаты концов стержня. Отношение этих длин задается в СТО следующим преобразованием:

$$l_A = l_B\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \text{ или } \frac{l_A}{l_B} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{8}$$

Таким образом, длина движущегося стержня оказывается меньше длины покоящегося ($l_A < l_B$), то есть можно сказать, что согласно СТО расстояния «сокращаются».

Теперь, исходя из корпускулярных представлений о природе света, предположим, что фактическому совпадению сравниваемых длин соответствует существование некоторого пространственного масштабного коэффициента перехода от одной системы отсчета к другой (k_l). Другими словами, можно записать следующее равенство:

$$l_A = k_l \cdot l_B \tag{9}$$

В случае сближения источника и приемника светового сигнала (Рис. 8), наблюдатель А обнаруживает, что фотон γ_A догоняет стержень, проходя расстояние l_A со скоростью $c-v$ за время t_A, тогда как для наблюдателя В, фотон γ_B проходит мимо неподвижного стержня длиной l_B со скоростью c за время t_B. Поэтому выражение (9) можно переписать в таком виде: $(c-v)t_A = k_l \cdot ct_B$.

Откуда находим, что пространственный масштабный коэффициент равен:

$$k_l = \frac{t_A}{t_B}\left(1-\frac{v}{c}\right) = \left(1+\frac{v}{c}\right)\left(1-\frac{v}{c}\right) = 1-\frac{v^2}{c^2} \tag{9.1}$$

Если наблюдатель В и стержень, удаляются от неподвижного наблюдателя М, то есть движутся со скоростью $-v$ относительно наблюдателя А (Рис. 9), то последний обнаруживает, что фотон γ_A движется навстречу стержню, проходя расстояние l_A со скоростью $c+v$ за время t_A. Для наблюдателя В, фотон γ_B, и в этом случае, проходит мимо неподвижного стержня длиной l_B со скоростью c за время t_B.

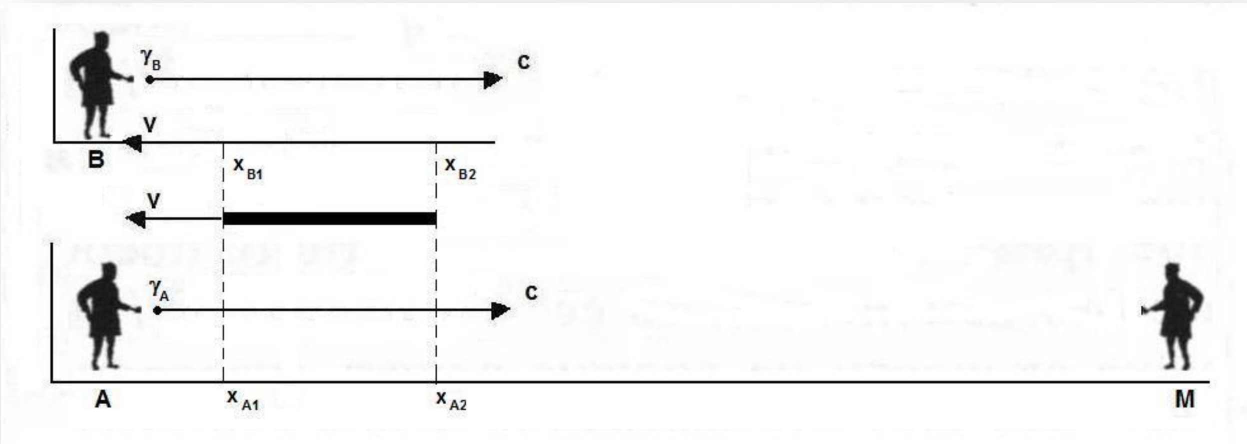

Рис. 9. Взаимное удаление стержня и приемника сигнала

Поэтому выражение (9) принимает вид: $(c+v)t_A = k_l \cdot ct_B$, но выражение для пространственного масштабного коэффициента (9.1) не изменяется, поскольку изменяется знак скорости в выражении, задающем отношение соответствующих интервалов времени:

$$k_l = \frac{t_A}{t_B}\left(1+\frac{v}{c}\right) = \left(1-\frac{v}{c}\right)\left(1+\frac{v}{c}\right) = 1-\frac{v^2}{c^2}$$

Опираясь на предположение о существовании естественных единиц измерения длительности и длины, высказанное ранее, обозначим пространственный масштаб в системе отсчета наблюдателя А как $\lambda_A = {}^{h}/_{mc}$, а пространственный масштаб, определяемый им для системы отсчета наблюдателя В, сближающегося с наблюдателем М, как $\lambda_B = {}^{h}/_{m(c-v)}$. Тогда можно будет записать, что: $l_A = n_A \cdot \lambda_A$, и $l_B = n_B \cdot \lambda_B$, где n_A, n_B – достаточно большие натуральные числа.

Теперь пространственный масштабный коэффициент может быть записан иначе:

$$k_l = \frac{l_A}{l_B} = \frac{n_A\lambda_A}{n_B\lambda_B} = \frac{n_A}{n_B}\cdot\frac{c-v}{c} = \frac{n_A}{n_B}\cdot(1-\frac{v}{c}) \tag{10}$$

Это выражение тождественно совпадает с выражением (9.1), при условии, что:

$$\frac{n_A}{n_B} = 1 + \frac{v}{c} \tag{10.1}$$

Сравнение результатов вычислений, выполненных согласно выражениям (8) и (9.1), свидетельствует, по меньшей мере, о качественном совпадении сопоставляемых зависимостей (длина стержня «сокращается») и даже – о достаточной количественной близости сравниваемых значений, особенно на отрезке $0 \leq {}^{v}/_{c} \leq 0{,}5$ (Рис. 10).

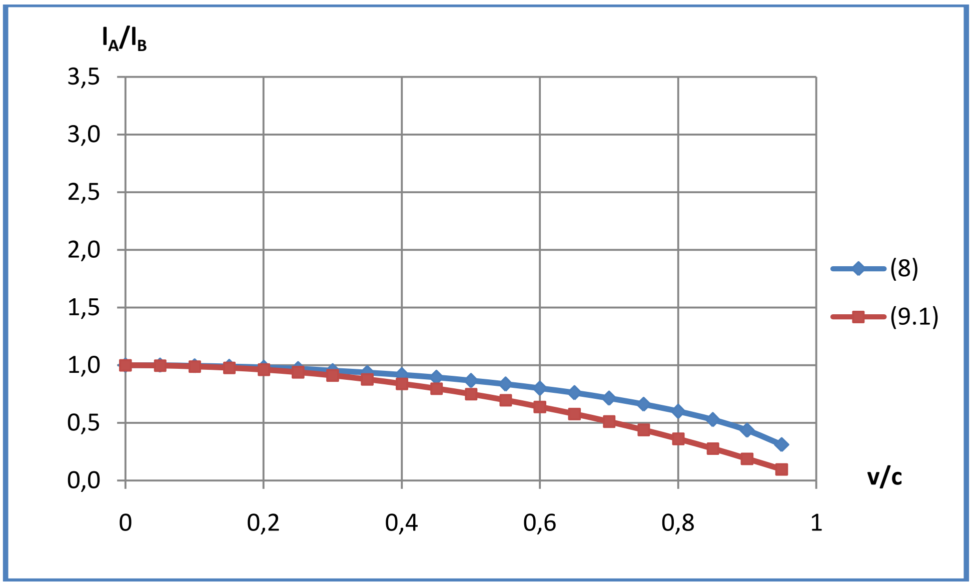

Рис. 10. Эффект «сокращения» длины движущегося стержня.

При удалении наблюдателя B и стержня от наблюдателя M, пространственный масштаб, определяемый для B наблюдателем A, должен быть записан следующим образом: $\lambda_B = {}^{h}/_{m(c+v)}$, а собственный масштаб: $\lambda_A = {}^{h}/_{mc}$. Тогда:

$$k_l = \frac{l_A}{l_B} = \frac{n_A \lambda_A}{n_B \lambda_B} = \frac{n_A}{n_B} \cdot \frac{c+v}{c} = \frac{n_A}{n_B} \cdot (1 + \frac{v}{c})$$

Однако окончательное выражение для пространственного масштабного коэффициента (9.1) не изменяется, как было показано ранее. Иным станет лишь отношение, обеспечивающее тождественное совпадение последнего из выражений и выражения (9.1):

$$\frac{n_A}{n_B} = 1 - \frac{v}{c}$$

Поэтому в случае удаления наблюдателя B и стержня от наблюдателя M, сохраняется релятивистский эффект «сокращения» длины движущегося стержня. Другими словами, при использовании квантово-корпускулярного подхода никакого эффекта «растяжения» стержня не обнаруживается. Аналога описанного ранее эффекта «ускорения» времени, дополняющего эффект его «замедления» при сближении источника и приемника не существует.

Тем не менее, эффект «растяжения» движущегося стержня все же появляется, если исходить из существования зависимости функции $\varphi(v)$ от направления относительного перемещения объектов, которое было обосновано в упомянутой выше работе Льва Верховского. Предлагаемый им учет коэффициента Доплера приводит к следующему изменению выражения (8), в случае сближения наблюдателя B и стержня с наблюдателем M:

$$\frac{l_A}{l_B} = \frac{\sqrt{1 - {v^2}/{c^2}}}{\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}} \tag{8.1}$$

Характер зависимости, определяемый выражением (8.1), качественно и, в достаточной степени, количественно соответствует (Рис. 11) как релятивистскому (8), так и квантово-корпускулярному эффекту «сокращения» длины стержня (9.1).

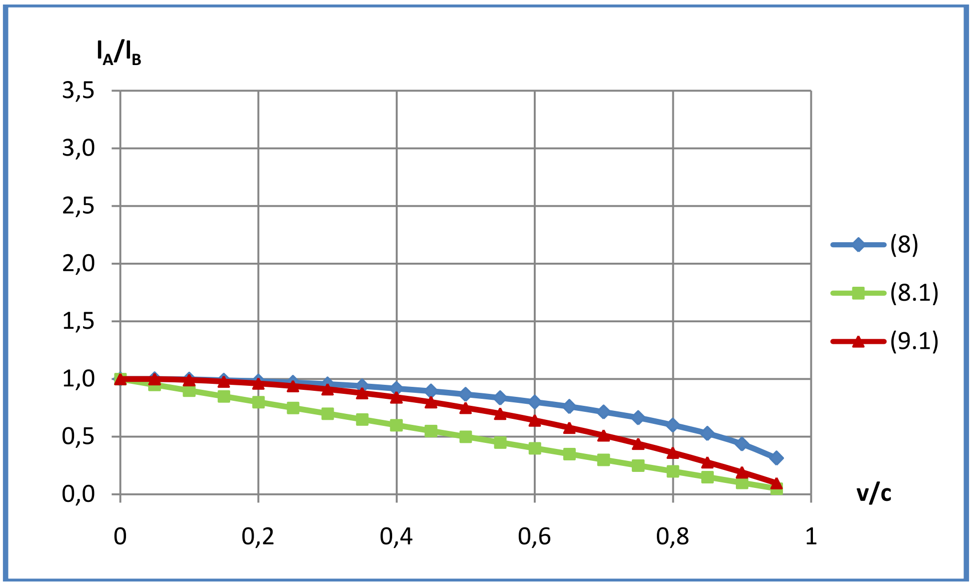

Рис. 11. Эффект «сокращения» длины стержня с учетом множителя Доплера.

Однако, в случае удаления стержня от наблюдателя M, отношение длин, измеренных разными наблюдателями, выглядит следующим образом:

$$\frac{l_A}{l_B} = \frac{\sqrt{1 - {v^2}/{c^2}}}{\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}} \tag{8.2}$$

И найденная зависимость (8.2) противоречит как СТО (8), так и квантово-корпускулярному подходу (9.1), но может быть интерпретирована, как существование релятивистского кинематического эффекта «растяжения» движущегося стержня (Рис. 12), дополнительного эффекту его «сокращения» в направлении движения.

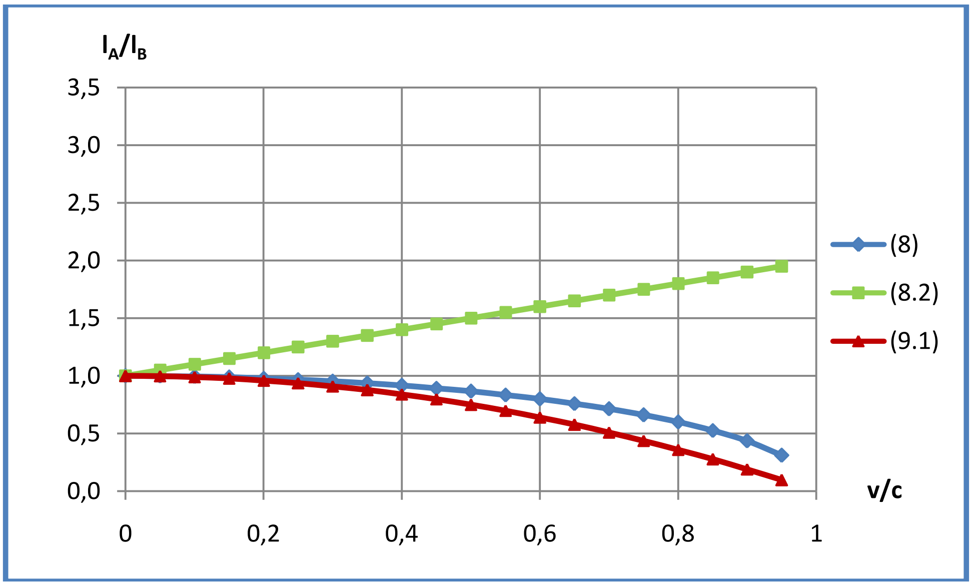

Рис. 12. Эффект «растяжения» стержня с учетом множителя Доплера.

Итак, подведем некоторые итоги. С одной стороны, в трех случаях (Рис. 6, 7 и 11) из четырех обнаружено определенное сходство в поведении кривых, построенных по данным, которые вычислены двумя различными способами: волновым (множитель Доплера D) и корпускулярным (масштабный коэффициент k).

С другой стороны, данные, полученные на основе корпускулярного подхода, также в трех случаях (Рис. 6, 11 и 12) сходны с данными, которые вычислены согласно СТО, тогда как данные, полученные на основе волнового подхода, соответствуют данным СТО только в двух случаях (Рис. 6 и 11).

Конечно, из соображений симметрии, более логичным выглядел бы такой вариант, когда корпускулярный подход также, как и волновой, приводил бы к эффекту «растяжения» стержня при его удалении от приемника сигнала или, когда корпускулярный подход, напротив, не давал бы эффекта «ускорения» времени в случае взаимного удаления источника и приемника сигнала. Тем не менее, даже получение частично сходных выводов двумя разными независимыми способами - волновым и корпускулярным - позволяет сохранить надежду на правильность выбранного направления поиска квантовых оснований релятивистских кинематических эффектов.

В заключение, хочу выразить благодарность Льву Иосифовичу Верховскому за предложение оформить идеи, высказанные мной в переписке по электронной почте, в виде статьи, а также за возможность ее публикации в блоге моего адресата.

Дмитрий Жарников
Октябрь-ноябрь 2016 г.