

Эфир в теории относительности: за и против

Сергей ФЕДОСИН, Анатолий КИМ

Наличие разных типов волн приводит к расширению принципа относительности: законы физики в том или ином волновом представлении инвариантны относительно соответствующих преобразований Лоренца. Сделаю вывод о том, что эфир согласуется с теорией относительности, но с помощью внутренних волновых экспериментов в инерциальных системах не обнаруживается.

Введение

В современной физике общепринятым является положение о том, что электромагнитные колебания могут распространяться в вакууме и никакой несущей среды для них, то есть эфира, не нужно. Действительно, из специальной теории относительности, основанной на принципе относительности и на принципе постоянства скорости света, вытекает равноправие всех инерциальных систем отсчёта. Существование же эфира обязательно должно выделить некоторую систему отсчёта, в которой скорости частиц эфира изотропны, сделав такую систему привилегированной. Целью данной работы является более углубленный анализ проблемы эфира и теории относительности. Напомним в этой связи о статье Эйнштейна [1], где он указал, что наша неспособность выделить эфир в какой-либо системе отсчёта и теория относительности в целом недостаточны для того, чтобы отвергнуть эфир.

Волновые явления в движущихся относительно эфира инерциальных системах отсчёта

Покажем вначале, что существование эфира не противоречит теории относительности, если он свободно проходит сквозь тела. Пусть имеется система отсчёта K , в которой эфир изотропен, и две зафиксированные друг относительно друга точки, являющиеся приёмником и источником волн. Можно также рассматривать данные приёмник и источник как части одного материального тела, движущегося в K . Что увидит наблюда-

тель из системы K в том случае, когда скорость тела и линия от приёмника к источнику направлены в одну сторону? Поскольку источник движется относительно эфира и удаляется от излучаемых им волн, то в силу эффекта Доплера в направлении приёмника наблюдатель отметит уменьшение частоты волны по сравнению со статическим случаем (при котором тело покоится в K). Одновременно приёмник набегаёт на волны от источника и для него опять-таки с учётом эффекта Доплера частота принимаемых волн увеличивается ровно настолько, чтобы скомпенсировать первоначальное уменьшение частоты волны от источника. Те же самые рассуждения справедливы и в отношении длины волны: наблюдатель из K зафиксирует в своей системе отсчёта увеличение длины волны от источника, однако эффективная длина волны для приёмника уменьшается из-за его движения по направлению к распространяющимся в эфире волнам. В результате и частота, и длина волны принимаемого сигнала в приёмнике будут такими же, как и в статическом случае, останутся прежней и эффективная скорость распространения волновых сигналов в движущейся в эфире инерциальной системе отсчёта, равная произведению частоты и длины волны. Это же самое получается и в том случае, когда скорость движения тела в эфире и линия от приёмника к источнику не совпадают по направлению [2], причём здесь неважно, учитываются ли релятивистские эффекты или нет. Тем самым объясняются результаты знаменитого опыта Майкельсона 1881 года, более точного опыта Майкельсона – Морли 1887 года, опыта Кеннеди – Торндайка 1932 года с различными плечами интерферометра и других – любые подобные эксперименты в принципе не могут определить ни движение прибора через эфир, ни движение эфира через прибор.

Предположим теперь, что первоначально всепроникающий эфир начинает частично увлекаться движущимся телом. С точки зрения распространения волны это эквивалентно тому, как если бы уменьшилась эффективная скорость движения тела сквозь эфир. Поскольку при любой постоянной скорости движения система отсчёта тела остаётся инерциальной, волновая картина будет неизменной независимо от степени увлечения эфира.

Следует сказать, что данные рассуждения справедливы не только для эфира и электромагнитных волн, но и вообще для всех типов и видов

волновых колебаний в несущих средах, будь они продольные или поперечные, звуковые или магнитные волны и т.д. В частности измеряемая через частоту и длину волны скорость звука не должна зависеть от скорости движения системы отсчёта K' , в которой покоятся источник и приёмник колебаний, если скорость их движения меньше скорости звука. Другой способ определения скорости звука заключается в том, что известное расстояние до источника следует разделить на время прохождения сигнала. В этом случае результат будет зависеть от того, как расположены относительно скорости движения наблюдатель и источник сигнала, попадая в интервал значений от $c - V$ до $c + V$, где c – скорость звука в неподвижной среде, V – скорость движения системы отсчёта K' . Однако всё существенно изменяется, если для синхронизации часов разрешается использовать только сами звуковые волны, так как теперь для подсчёта времени сигнал должен пройти путь и в прямом и в обратном направлении. Тогда взаимное расположение наблюдателя и источника сигнала не будет играть никакой роли, и измеряемая скорость звука будет всегда равна величине c . Именно такую картину мы имеем для электромагнитных волн – в силу эффекта Доплера мы не заметим движения через эфир при любой степени его увлечения, а имеющаяся процедура синхронизации часов также заставляет верить нас в постоянство скорости световых сигналов во всех экспериментах.

Эфир и теория относительности

В механике Галилея-Декарта-Ньютона господствовала теория дальнего действия, по которой взаимодействие между телами распространялось с бесконечной скоростью. Вследствие этого часы во всех инерциальных системах отсчёта не только могли быть синхронизированы, но и отмечали один и тот же интервал времени между двумя событиями. Ситуация меняется в том случае, когда мы рассматриваем реальные волновые или частотные эксперименты, поскольку здесь нужно учесть ограниченную скорость волны или сигнала, переносящих информацию о событиях. Теперь уже нельзя заранее утверждать, что наблюдаемые пространственно-временные параметры движущегося в некоторой системе отсчёта тела совпадают с параметрами такого же, но покоящегося тела. Пусть тело излучает с частотой ν_0 , задаваемой его внутренними часами, и произ-

вольно движется относительно неподвижного наблюдателя. Вследствие эффекта Доплера наблюдатель отметит сдвинутую относительно ν_0 частоту волны ν_1 и неравенство периодов T_0 и $T_1 = \frac{1}{\nu_1}$, то есть изменение хода времени. Если же во всех формулах устремить скорость волны к бесконечности, то пропадает и сам эффект Доплера, частота станет независимой от скорости движения тел, а все часы будут эквивалентными как в механике Ньютона.

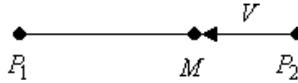


Рис. 1. Система отсчёта связанная с приёмником

Возьмём систему отсчёта K' , которая движется с постоянной скоростью относительно эфира и потому является инерциальной, и два тела в этой системе, одно из которых есть приёмник, а другое – источник волн. Пусть эти тела двигаются с одной и той же постоянной величиной скорости относительно K' навстречу друг другу так, что их скорости совпадают по направлению. Тогда и приемник, и источник сами будут инерциальными системами отсчёта и к ним можно будет применить принцип относительности. В самом деле, выше было показано, что инерциальные системы обладают тем свойством, что в них все внутренние волновые явления протекают так же, как если бы они покоились в эфире. Тогда пространственно-временные параметры одной инерциальной системы относительно другой будут зависеть только от их относительной скорости, а не от скорости относительно эфира. Рассмотрим ситуацию вначале из системы отсчёта приёмника согласно рис. 1, когда источник из точки P_2 движется в точку M с некоторой скоростью V , а приёмник находится в точке P_1 . Если P_1P_2 – путь гребня волны за период волны T_2 , то MP_{12} – путь источника за время T_2 до момента испускания второго гребня в положении M . Величина $MP_1 = \lambda_1$ будет той длиной волны, которая фиксируется приёмником в точке P_1 , и можно записать:

$$P_1P_2 = cT_2, MP_2 = VT_2, P_1P_2 = MP_1 + MP_2, cT_2 = \lambda_1 + VT_2.$$

Поскольку источник движется относительно приёмника со скоростью V , то изменение темпа времени в источнике можно учесть с помощью коэффициента A : $T_2 = AT_0$, где $A = 1$ при $V = 0$, T_0 – период собственных ко-

лебаний и одновременно период часов источника в системе его покоя. Подставляя T_2 , находим для λ_1 :

$$\lambda_1 = AT_0(c - V). \quad (1)$$



Рис. 2. Система отсчёта связанная с перемещающимся приёмником

Перейдём теперь в систему отсчёта источника в соответствии с рис. 2, когда приёмник из точки P_1 перемещается в точку N с той же самой скоростью V . Пусть вначале было $P_1P_2 = \lambda_0 = cT_0$, а за время T по часам источника приёмник достигает точки N и встречается с новым гребнем волны из P_2 , тогда имеем:

$$NP_1 = VT, \quad NP_2 = cT, \quad P_1P_2 = NP_1 + NP_2, \quad cT_0 = VT + cT.$$

Теперь необходимо перевести время T обратно в систему отсчёта приёмника, который из-за движения относительно источника изменяет свой темп времени. С учётом принципа относительности в приёмнике будут отмечаться период волны $T_1 = \frac{T}{A}$ и длина волны $\lambda_1 = cT_1$. Подставляя T , находим:

$$\lambda_1 = \frac{c^2 T_0}{A(c + V)}. \quad (2)$$

Сравнение величин λ_1 из (1) и (2) даёт:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad T' = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad T' \geq T_0, \quad (3)$$

где T_0 – длительность единицы времени в системе отсчёта покоящихся часов, T' – длительность единицы времени аналогичных часов, движущихся с относительной скоростью V , с точки зрения системы отсчёта покоящихся часов.

Согласно (3) в движущихся часах наблюдается эффект замедления времени, причём он не зависит ни от абсолютной скорости движения часов относительно эфира, ни от степени увлечения эфира. В общем случае время в покоящихся и движущихся телах соответственно можно описать так:

$$t = NT_0 + B, \quad t' = N'T' + C,$$

где N, N' – число прошедших единиц времени, B, C – константы.

Часы можно синхронизировать таким образом, чтобы при $N = N' = 0$ было $B = C = 0$, тогда для любого события можно принять $t = t'$ или $NT_0 = N'T'$.

Используя (3), находим:

$$N' = \frac{NT_0}{T'} = N \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}},$$

так что если часы в системе покоя показывают N секунд, то синхронизированные движущиеся часы покажут только N' секунд, причём $N' < N$.

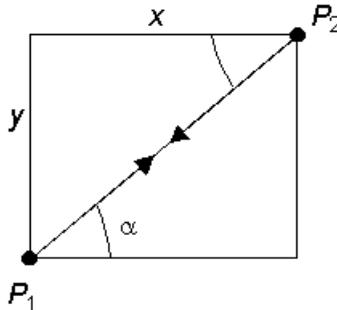


Рис. 3. Покоящиеся волновые часы

Замедление времени в движущихся часах накладывает определённые условия и на их наблюдаемые размеры. Покажем это на примере волновых часов, вначале покоящихся как на рис. 3, а затем движущихся вдоль оси X некоторой инерциальной системы S со скоростью V (рис. 4). Период часов равен промежутку времени, необходимому чтобы волна из источника в точке P_2 достигла отражателя в точке P_1 и вернулась обратно. Для случая покоящихся часов:

$$T_0 = \frac{2\sqrt{y^2 + x^2}}{c}, \quad (4)$$

где y – ширина тела, x – длина тела вдоль оси X , причём $y/x = \operatorname{tg}\alpha$.

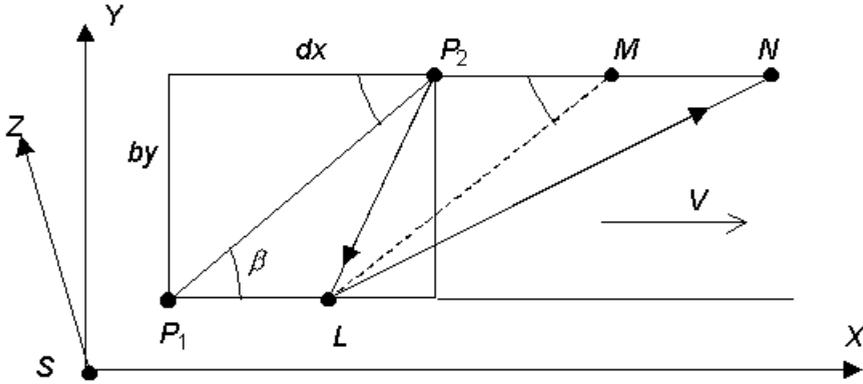


Рис. 4. Движущиеся волновые часы

В движущихся часах, прежде чем волна достигнет отражателя, он переместится в точку L , а сам источник в это время окажется в точке M . Полагая, что видимый размер движущегося тела поперёк скорости движения изменяется в b раз, а вдоль скорости – в d раз, оценим время T_1 , необходимое для прохождения пути из P_2 в L с помощью теоремы косинусов:

$$(LP_2)^2 = (LP_1)^2 + (P_1P_2)^2 - 2(LP_1)(P_1P_2)\cos\beta,$$

$$LP_2 = cT_1, \quad LP_1 = VT_1, \quad P_1P_2 = \sqrt{b^2y^2 + d^2x^2}, \quad (P_1P_2)\cos\beta = dx,$$

$$T_1 = \frac{-Vdx + \sqrt{(c^2 - V^2)b^2y^2 + d^2x^2c^2}}{c^2 - V^2}.$$

Обратное движение волны от отражателя в точке L застанет источник в точке N , тогда для времени T_2 на пути из L в N можно записать:

$$(LN)^2 = (MN)^2 + (LM)^2 - 2(MN)(LM)\cos(\pi - \beta),$$

$$LN = cT_2, \quad MN = VT_2, \quad LM = P_1P_2 = \sqrt{b^2y^2 + d^2x^2},$$

$$T_2 = \frac{Vdx + \sqrt{(c^2 - V^2)b^2y^2 + d^2x^2c^2}}{c^2 - V^2}.$$

Наблюдаемый из инерциальной системы отсчёта S период часов будет равен сумме T_1 и T_2 , с учётом (3) и (4) имеем:

$$T' = T_1 + T_2 = \frac{2\sqrt{(c^2 - V^2)b^2y^2 + d^2x^2c^2}}{c^2 - V^2} = \frac{2\sqrt{y^2 + x^2}}{c\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

$$(c^2 - V^2)(b^2 - 1)y^2 + (d^2c^2 - c^2 + V^2)x^2 = 0.$$

Величины V , c , b , d следует считать независимыми от x и y , поэтому для выполнения равенства при любых x и y необходимо положить $b = 1$,

$$d = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}.$$

Итак, размер тела поперёк скорости его движения остаётся прежним, а видимый размер вдоль скорости уменьшается:

$$\ell' = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}. \quad (5)$$

Соотношение (5) выражает лоренцевское сокращение размеров тел как следствие измерений при относительном движении инерциальных систем отсчёта независимо от того, покоятся ли они или движутся относительно эфира. Используя (3) или (5), можно легко получить преобразования Лоренца, формулу сложения скоростей и другие обычные соотношения теории относительности, связывающие одну инерциальную систему с другой.

Не лишним будет пояснить, почему замедление времени имеет абсолютный характер, а сокращение размеров относительно. Такие измерительные приборы, как линейки и часы, кардинально отличаются друг от друга – если первые могут быть неподвижны, то в часах обязательно что-то движется. С помощью линеек находятя местоположения объектов, а скорость процесса движения объектов сравнивается со скоростью процесса хода часов. Перевод тела из состояния покоя в состояние движения

и обратно оставляет его размеры прежними. Но учтём, что часы – это некоторый процесс, причём необратимый. Если их достаточно долго поддержать в процессе равномерного движения относительно покоящихся контрольных часов, так чтобы не сказывался эффект от их ускорений и торможений на замкнутом прямолинейном пути, то движущиеся часы неизбежно отстанут от контрольных.

Итак, мы показали, что эфир не противоречит ни постоянству скорости света в инерциальных системах, ни релятивистским эффектам замедления времени и сокращения длины, ни теории относительности в целом. Эффект aberrации положения звёзд, открытый Дж. Брэдли в 1728 году, совсем не требует, как это иногда считают, чтобы эфир был неподвижным относительно гелиоцентрической системы отсчёта. Если Солнечная система движется в эфире с постоянной скоростью, то все явления в ней будут протекать так же, как в неподвижном эфире. Соответственно aberrация зависит только от относительной скорости движения наблюдателя и звёзд и их ориентации, а не от скорости относительно эфира. С другой стороны, эфир в опыте Физо по измерению скорости света в текущей воде и в эксперименте Майкельсона с интерферометром не обязан увлекаться ни полностью, ни частично для объяснения полученных результатов. Нам достаточно считать лишь, что инерциальные системы с точки зрения нашей методики измерений равноправны при их движении в эфире. Подчеркнём ещё раз, что все выводы останутся в силе и для других типов волновых колебаний и их несущих сред при условии, что и время и расстояния измеряются с помощью самой волны. Так как скорости волн могут быть разными, то и множители Лоренца в (3) и (5) будут отличаться. Соответственно тела будут выглядеть по-иному в зависимости от вида волны, переносящей информацию об этих телах, и от процедуры пространственно-временных измерений. Однако если мы всегда будем использовать только один тип волны для получения информации, а приёмники и источники волн одинаково реагируют на движение в несущей среде, то из внутренних экспериментов в принципе будет невозможно найти абсолютную скорость движения тел в несущей волны среде и тем самым обнаружить саму несущую среду. Это тем более справедливо для свободных инерциальных систем, движение которых в эфире в силу закона инерции должно происходить с постоянной скоростью.

Считается, что каждая физическая теория, оперирующая в том числе и с пространственно-временными параметрами, должна быть инвариантна относительно преобразований Лоренца. Данные преобразования являются универсальными для любых типов волновых колебаний, но выбор электромагнитных волн обусловлен по-видимому тем, что скорость света достаточно велика, а общепринятые процедуры измерений используют так или иначе электромагнитные процессы. Представим себе теперь такую гипотетическую ситуацию, когда вместо зрения исследователь использует в своих измерениях только слух и тем самым ориентируется только на звуковые колебания и волны, ничего не зная об электромагнитных явлениях. Естественно, что измерение времени и пространственных размеров было бы удобно производить быстро распространяющимся процессом – звуковой волной. Тогда независимо от типа часов их показания передавались бы записывающему или считывающему устройству или самому наблюдателю с помощью звука. В результате мы получим лоренцевские эффекты замедления времени и сокращения размеров, но вместо скорости света в (3) и (5) необходимо будет подставить скорость звука. Любопытно в данном случае рассмотреть движение тел вблизи звукового барьера со сверхзвуковыми скоростями $V \geq c$. При таких скоростях становится невозможным делать преобразование координат из одной инерциальной системы в другую, как это делается с помощью преобразований Лоренца при $V \leq c$. Дело в том, что если скорость волны меньше скорости движения тел, то условие одновременности для измерения размеров тел не может быть выполнено. Это означает также, что при $V \geq c$ применение обычной теории относительности становится незаконным – определение реального движения тел, их энергии и других параметров затруднено малой скоростью передачи информации. В качестве примера рассмотрим движение сверхзвукового объекта на рис. 5.

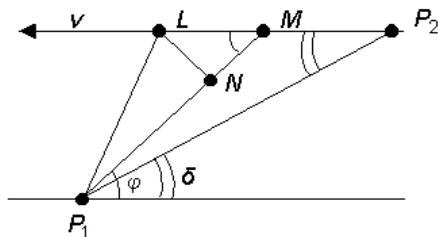


Рис. 5. Движение объекта со сверхзвуковой скоростью

На пути из точки P_2 в точку M и далее объект непрерывно излучает звуковые колебания и в некоторый момент они достигнут, наконец, наблюдателя в точке P_1 под углом φ . Если $P_1P_2 = cT$, $MP_2 = VT_1$, $MP_1 = cT_2$, то должно выполняться условие:

$$T_1 + T_2 \leq T \text{ или } \frac{MP_2}{V} + \frac{MP_1}{c} \leq \frac{P_1P_2}{c}.$$

Используем принцип наименьшего времени, по которому вблизи минимума времени сумма $T_1 + T_2$ одинакова для путей P_2MP_1 и P_2LP_1 . Путь P_2LP_1 длиннее чем P_2MP_1 на отрезке LM , где объект движется со скоростью V , но короче на отрезке NM , по которому звук идёт со скоростью c . При равенстве времён получаем:

$$\frac{LM}{V} = \frac{NM}{c} \text{ или } \frac{c}{V} = \cos \varphi.$$

Если $c = V$, то $\varphi = 0$ и звук от объекта будет идти от линии горизонта, но при $V \gg c$ угол $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и наблюдатель вначале воспримет сигнал прямо у себя над головой. Затем начнут приходить сигналы слева и справа и звуковое изображение объекта раздвоится. Соответственно если бы объект имел сверхсветовую скорость, мы увидели бы два его изображения, удаляющиеся в разные стороны вдоль линии движения. При этом скорость движения изображения V_0 должна превысить скорость волны, что видно из следующего расчёта. Пусть ΔT – разность времён для путей P_2P_1 и P_2MP_1 , то есть:

$$\Delta T = \frac{P_1P_2}{c} - \frac{MP_2}{V} - \frac{MP_1}{c}, \text{ тогда } V_0 = \frac{MP_2}{\Delta T}.$$

С помощью теоремы синусов имеем:

$$\frac{MP_2}{\sin(\varphi - \delta)} = \frac{MP_1}{\sin \delta} = \frac{P_1P_2}{\sin(\pi - \varphi)}, \quad \Delta T = MP_2 \left(\frac{\sin \varphi - \sin \delta}{c \cdot \sin(\varphi - \delta)} - \frac{1}{V} \right)$$

Считая, что угол δ мало отличается от φ , найдём V_0 :

$$V_0 = \frac{c \cdot V}{V \cdot \cos \delta - c}.$$

Вблизи точки первого появления объекта $\cos \delta = \cos \varphi = \frac{c}{V}$ и вначале скорость движения изображения V_0 стремится к бесконечности, а затем она уменьшается.

Очевидно, что для электромагнитных волн системы отсчёта, связанные с фотонами и тахионами, и формулы теории относительности становятся непригодными и требуют корректировки при $V \geq c$. Так, энергия тела

массы m записывается в виде: $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$, и при заданной силе стре-

мится к бесконечности, когда скорость тела V приближается к скорости волны c . Тогда для того, чтобы тело могло достичь скорости света, необходимо выполнить бесконечную работу. Поэтому обычно и считают, что скорость тел не может превысить величину c . Тем не менее мы часто наблюдаем движение тел быстрее, чем скорость той или иной волны. Почему, например возможны сверхзвуковые скорости в воздухе? Ответ следующий – потому что мы можем ускорять тела с помощью не только звукового, но и электромагнитного давления. Если бы тело подгонялось одним звуковым давлением, то при $V = c$ давление на тело исчезло бы и оно двигалось бы по инерции со скоростью звука (здесь мы не учитываем сопротивления несущей звук среды также, как не учитывается сопротивление эфира равномерному движению тел). Отсюда следует, что тахионы, движущиеся со сверхсветовыми скоростями, вполне возможны, поскольку мы знаем о существовании сильного взаимодействия, превосходящего электромагнитное по своей силе.

Заключение

Анализ принципов теории относительности показывает, что постоянство скорости распространения волновых процессов в движущихся инерциальных системах и тем самым равноправие этих систем можно вывести как следствие эффекта Доплера и имеющейся процедуры измерения

пространственно-временных параметров. Поэтому утверждение о постоянстве скорости света не является независимой аксиомой теории относительности. Одновременно преобразования Лоренца и другие релятивистские эффекты остаются справедливыми и для других типов волн при использовании соответствующей процедуры измерений. С учётом данного обстоятельства принцип относительности можно уточнить следующим образом: законы физики в том или ином волновом представлении инвариантны относительно соответствующих преобразований Лоренца. Очевидно, что чем больше скорость волны, переносящей информацию о наблюдаемых явлениях, тем точнее мы сможем судить об окружающем нас мире.

Существование эфира как несущей среды удобно тем, что позволяет объяснить постоянство скорости света, независимость скорости света от типов излучателей и от скорости их движения. Все известные волны и образуются и переносятся согласованным движением одноподобных частиц несущей среды. В отличие от этого электромагнитные колебания обычно отождествляются с переменной частью поля, являющегося самостоятельной формой материи и потому не нуждающимся в носителе. Но поле и вещество как две философские противоположности взаимопорождают и переходят друг в друга. Поле можно представить себе как особым образом движущиеся мельчайшие материальные частицы, потоки и волновые колебания которых воздействуют на окружающие тела. Гравитационное поле благодаря своим свойствам создаёт космические объекты из рассеянной материи, а они в свою очередь являются источниками разнообразных частиц вокруг себя. Поскольку электромагнитные колебания возникают при движении зарядов, то в качестве модели эфира можно предложить совокупность частиц с очень маленькими зарядом и массой, движущихся со скоростью света даже внутри материальных тел. Движение таких частиц в электромагнитной волне должно иметь вращательно-поступательный характер [2].

Так как эфир и теория относительности могут быть согласованы друг с другом, то можно предположить существование выделенной инерциальной системы отсчёта, покоящейся по отношению к эфиру. Логично считать, что в такой системе отсчёта наблюдаемые космические излучения имеют наименьшую анизотропию. В частности это относится к реликто-

вому фоновому излучению, относительно которого скорости движения некоторых изученных галактик невелики [3].

Об авторах:

С.Г. Федосин, А.С. Ким, Пермский государственный университет
614600, Пермь, Россия
e-mail: fedos1@psu.ru

Источники информации:

1. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. 1, 685, М.: Наука, 1965.
2. Федосин С.Г. Физика и философия подобия от преонов до метагалактик. Пермь: Стиль-МГ, 1999.
3. Зельдович Я.Б., Сюняев Р.А. Астрофизика и космическая физика. М.: Наука, 1982.

См. также:

1. Петров В.В. Экспериментальные основания теории относительности. Опыты Араго и теория Френеля. НиТ, 2000.
<http://www.n-t.org/tp/iz/oa.htm>
2. Об эфирном ветре. НиТ, 2000.
<http://www.n-t.org/tp/iz/ev.htm>
3. Рыков А.В. Начала натурной физики. НиТ, 2000.
<http://www.n-t.org/tp/ns/nnf.htm>
4. Горбачевич Ф.Ф. Основы теории непустого эфира (вакуума). НиТ, 2000.
<http://www.n-t.org/tp/ng/ote.htm>

Дата публикации:

24 февраля 2002 года

Электронная версия:

© «Наука и Техника», www.n-t.org