Собственное время, общее для всего пространства

Якубовский Е.Г.

e-mail yakubovski@rambler.ru

В произвольной инерциальной системе отсчета в случае неподвижных часов время, измеряемое неподвижными часами в разных точках пространства, является одинаковым. Это справедливо как для СТО, так и для ОТО. Это позволило составить нелинейное уравнения относительно скорости тела, описывающие в ОТО «инерциальную систему отсчета». Решая это нелинейное уравнение получим скорость тела, интегрируя которую получим преобразование координат, связывающее две разные системы отсчета, двигающиеся одна относительно другой с постоянной скоростью, из решения дифференциального уравнения с учетом метрического тензора ОТО. Определив скорость тела, и интегрируя ее, получим как статическое решение преобразуется в системе отсчета, двигающейся с постоянной скоростью относительно статического решения. В этой двигающейся системе отсчета координаты тел двигаются с переменными скоростями в зависимости от значения метрического тензора. Скорости в разных системах отсчета зависят от общего времени во всех инерциальных системах координат.

Дело в том, что интервал СТО с фазовой скоростью равен нулю (это определение фазовой скорости $\sum_{k=1}^{3}(\frac{\partial t}{\partial x_k})^2 = \sum_{k=1}^{3}\frac{1}{c_k^2} = \frac{1}{c_F^2} = (\frac{\partial t}{\partial l})^2; dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ для изотропного пространства), а интервал в вакууме со скоростью света в вакууме имеет нулевое значение, а в диэлектриках равен разным константам, и при переходе из вакуума в диэлектрик рвется. Интервал равен $dt'^2 = ds^s / c^2 = (c^2 - V_x^2 - V_y^2 - V_z^2)dt^2 / c^2 = (1 - V^2 / c^2)dt^2$. Причем собственное время t' соответствует системе отсчета с нулевой скоростью часов

$dx' = dy' = dz', V'_x = V'_y = V'_z = 0$, и является общим для разных систем отсчета, двигающихся с не нулевой скоростью в своей системе отсчета $V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 = V^2 \neq 0$. Так как время в системе отсчета, где часы неподвижны единственно, в остальных системах отсчета часы двигаются и показывают разное время, значит это общее время для разных систем отсчета. Т.е. двигаясь в разных точках пространства получается общее одинаковое собственное время. Т.е. времена t разные в разных системах отсчета, а время t' единственно. При этом собственное время оказывается общим для разных точек пространства, и никак не может быть инвариантно с постоянной скоростью света.

Использование скорости света в вакууме, приводит к противоречивому разному собственному времени в разных точках пространства для электромагнитной волны и справедливо только при условии $\varepsilon\mu \to \infty$. Формула для собственного времени в случае рассмотрения электромагнитной волны противоречива.

$$dt'^2 = ds^2 / c^2 = (c^2 - c_F^2) dt^2 / c^2 = (1 - c_F^2 / c^2) dt^2 = (1 - 1/\varepsilon\mu) dt'^2$$

Нужно переходить к фазовой скорости света, тогда собственное время окажется общим для разных точек пространства. Собственное время инвариантно не только в разных инерциальных системах отсчета, оно одинаково во всем пространстве и для соблюдения этого свойства надо переходить к фазовой скорости света вместо скорости света в вакууме. Использование фазовой скорости

$$dt'^2 = ds^s / c_F^2 = (c_F^2 - V_x^2 - V_y^2 - V_z^2) dt^2 / c_F^2 = (1 - V^2 / c_F^2) dt^2 = c_{F0}^2 dt^2 / c_F^2;$$
$$c_F^2 = c_{F0}^2 + V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

делает интервал пропорциональным $ds^2 = c_{F0}^2 dt^2 = c_{F0}^2 (dx'^0)^2 / c^2 = (dx'^0)^2 / \varepsilon\mu$ в разных точках пространства, причем величина c_{F0} зависит от скорости тела, и при нулевой скорости тела совпадает со скоростью света в неподвижном диэлектрике.

$$\frac{c_{F\gamma}^2}{c^2}=(\frac{dx^0}{dx^\gamma})^2-(\frac{dx^1}{dx^\gamma})^2-(\frac{dx^2}{dx^\gamma})^2-(\frac{dx^3}{dx^\gamma})^2=(\frac{dx^0}{dx'^0})^2(\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}})^2-(\frac{dx^1}{dx'^0})^2(\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}})^2-(\frac{dx^2}{dx'^0})^2(\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}})^2-1$$

$$(\frac{c_{F3}}{c})^2[-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2+(\frac{dx^1}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2+(\frac{dx^2}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2+1]=1$$

$$(\frac{c_{F0}}{c})^2[(\frac{dx^1}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2+(\frac{dx^2}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2(\frac{c}{c'_{F0}})^2-1]=1$$

$$\frac{c'_{F0}}{c_{F0}}=\sqrt{(\frac{dx^1}{cdt'})^2+(\frac{dx^2}{cdt'})^2+(\frac{dx^3}{cdt'})^2-\frac{1}{\varepsilon\mu}}$$

Справедливо равенство

$$\frac{dx^0}{dx'_0}=\frac{c'_{F0}}{c_{F3}}+\frac{dx_l^0}{dx'^0}=\sqrt{[\frac{dx^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx^2}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2-\frac{1}{\varepsilon\mu}}+\frac{dx_l^0}{dx'^0}=$$

$$=\sqrt{(\frac{dx^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx^2}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2-\frac{1}{\varepsilon\mu}}+\frac{\frac{c'_{F0}}{c_{F0}}+\frac{V}{c_{F0}}\frac{dx'^1}{dx'^0}}{\sqrt{1-V^2/c_{F0}^2}}$$

$$\frac{dx^1}{dx'_0}=\frac{c'_{F0}}{c_{F1}}+\frac{dx_l^1}{dx'^0}=\sqrt{(\frac{dx^2}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2}+\frac{dx_l^1}{dx'^0}=$$

$$=\sqrt{(\frac{dx^2}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2}+\frac{\frac{dx'^1}{dx'^0}+\frac{c'_{F0}}{c_{F0}}\frac{V}{c_{F0}}}{\sqrt{1-V^2/c_{F0}^2}}$$

$$\frac{dx^2}{dx'_0}=\frac{c'_{F0}}{c_{F2}}+\frac{dx_l^2}{dx'^0}=\sqrt{(\frac{dx^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2}+\frac{dx_l^2}{dx'^0}=$$

$$=\sqrt{(\frac{dx^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx^3}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2}+\frac{dx'^2}{dx'^0}$$

$$\frac{dx^3}{dx'_0}=\frac{c'_{F0}}{c_{F3}}+\frac{dx_l^3}{dx'^0}=\sqrt{(\frac{dx^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx^2}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx^0}{dx'^0})^2}+\frac{dx_l^3}{dx'^0}=$$

$$=\sqrt{(\frac{dx'^1}{dx'^0})^2+(\frac{dx'^2}{dx'^0})^2+\frac{1}{\varepsilon\mu}-(\frac{dx'^0}{dx'^0})^2}+O(\frac{V^2}{c^2}\frac{dx'^1}{cdt'})+O[\frac{V}{c}(\frac{dx'^1}{cdt'})^2]+\frac{dx'^3}{dx'^0}$$

По существу доказано, что скорости в разных системах координат зависят от общего времени во всех системах координат. Это общее время описывается неподвижными часами в произвольной инерциальной системе координат. К скорости относительно собственной системы отсчета, определенной из метрического интервала, добавим скорость, полученную из преобразования Лоренца относительно общего инварианта, времени собственной системы отсчета. Из этой системы нелинейных уравнений определим значения скоростей $\frac{dx^k}{dx'^0}$. В результате получим значение скорости в произвольной инерциальной системе координат, для тел, которые двигаются в собственной системе отсчета со скоростью $\frac{dx'^k}{dx'^0}$. Формула для сложения скоростей сложная, зато она зависит от одного времени, общего для разных инерциальных систем отсчета. В формуле сложения скоростей в СТО, каждая скорость определяется разным временем в разных системах отсчета.

Выпишем первое приближения для скорости тела для одной из координат

$$\frac{dx^1}{dx'_0} = \sqrt{(\frac{dx_l^2}{dx'^0})^2 + (\frac{dx_l^3}{dx'^0})^2 + \frac{1}{\varepsilon\mu} - (\frac{dx_l^0}{dx'^0})^2} + \frac{dx_l^1}{dx'^0}$$

$$\frac{dx^1}{cdt'} = \frac{dx_l^1}{cdt'} + \sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu} + (\frac{dx_l^2}{cdt'})^2 + (\frac{dx_l^3}{cdt'})^2 - (\frac{dt_l}{dt'})^2}$$

Где величина

$$\frac{dx_l^0}{dx'^0} = \frac{\frac{c'_{F0}}{c_{F0}} + \frac{V}{c_{F0}}\frac{dx'^1}{dx'^0}}{\sqrt{1-V^2/c_{F0}^2}}; \frac{dx_l^1}{dx'^0} = \frac{\frac{dx'^1}{dx'^0} + \frac{c'_{F0}}{c_{F0}}\frac{V}{c_{F0}}}{\sqrt{1-V^2/c_{F0}^2}}; \frac{dx_l^2}{dx'^0} = \frac{dx'^2}{dx'^0}; \frac{dx_l^3}{dx'^0} = \frac{dx'^3}{dx'^0}$$

$$\frac{dt_l}{dt'} = \{\frac{\sqrt{(\frac{dx'^1}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^2}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^3}{cdt'})^2 - \frac{1}{\varepsilon\mu}}(1+\frac{V}{c}\frac{dx'^1}{cdt'})}{\sqrt{1-V^2[(\frac{dx'^1}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^2}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^3}{cdt'})^2 - \frac{1}{\varepsilon\mu}]/c^2}} + O(\frac{V^2 dx'^1}{c^3 dt}) + O[\frac{V}{c}(\frac{dx'^1}{cdt})^2]\}$$

$$\frac{dx_l^1}{cdt'} = \frac{\frac{dx'^1}{cdt'} + [(\frac{dx'^1}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^2}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^3}{cdt'})^2 - \frac{1}{\varepsilon\mu}]\frac{V\sqrt{\varepsilon\mu}}{c}}{\sqrt{1-V^2[(\frac{dx'^1}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^2}{cdt'})^2 + (\frac{dx'^3}{cdt'})^2 - \frac{1}{\varepsilon\mu}]/c^2}}[1+O(\frac{V^2 dx'^1}{c^3 dt})];$$

$$\frac{dx_l^2}{dx'^0} = \frac{dx'^2}{cdt'}; \frac{dx_l^3}{dx'^0} = \frac{dx'^3}{cdt'}$$

получается из преобразования Лоренца из штрихованной в не штрихованную систему отсчета, при общем собственном времени x'^0.

Используется преобразование Лоренца с фазовой скоростью света см. [1]

$$dx^1 = \frac{dx'^1 + c'_d dt' \frac{V}{c_d}}{\sqrt{1 - V^2 / c_d^2}} = \frac{dx''^1 + c''_d dt \frac{V}{c_d}}{\sqrt{1 - V^2 / c_d^2}}, c_d dt = \frac{c'_d\ dt' + \frac{V}{c_d} dx'^1}{\sqrt{1 - V^2 / c_d^2}} = \frac{c''_d\ dt'' + \frac{V}{c_d} dx''^1}{\sqrt{1 - V^2 / c_d^2}},$$

$$dy'' = dy' = dy; dz'' = dz' = dz$$

Покажем, что определение собственного времени в ОТО противоречиво при описании электромагнитных волн.

Интервал при описании электромагнитных волн с постоянной скоростью света и используя определение собственного времени, получим

$$ds^2 = (g_{00} + 2g_{0\alpha} c^\alpha + g_{\alpha\beta} c^\alpha c^\beta)(dx^0)^2 = g'_{00}(dx'^0)^2$$

И содержит противоречивые формулы. Между тем, определенный с помощью фазовой скоростью света интервал не имеет противоречий

$$ds^2 = (g_{00} + 2g_{0\alpha} u^\alpha + g_{\alpha\beta} u^\alpha u^\beta)(dx^0)^2 = c_{F0}^2 dt^2 = c'^2_{F0} dt'^2 = (dx'^0)^2 / \varepsilon\mu$$

$$c_{F\gamma}^2 / c^2 = g_{\gamma\gamma} + 2g_{0\alpha} \frac{dx^\alpha}{dx^\gamma} + g_{\alpha\beta} \frac{dx^\alpha}{dx^\gamma} \frac{dx^\beta}{dx^\gamma} = g_{\gamma\gamma} + 2g_{0\alpha} \frac{dx^\alpha}{dx'^0} \frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}} + g_{\alpha\beta} \frac{dx^\alpha}{dx'^0} \frac{dx^\beta}{dx'^0} \left(\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}}\right)^2;.$$

$$c'^2_{F0} / c^2 = g_{00} + 2g_{0\alpha} \frac{dx'^\alpha}{dx'^0} + g_{\alpha\beta} \frac{dx'^\alpha}{dx'^0} \frac{dx'^\beta}{dx'^0}$$

Причем определенное не по ОТО собственное время x'^0 является общим для всех точек пространства, а интервал зависит от координаты пространства. При этом скорость часов в этой системе координат равна нулю, т.е. все тела двигаются в этой системе отсчета и если тела неподвижны в этой системе отсчета, то имеем простую формулу для интервала. При этом можно определить другую инерциальную систему отсчета, где тела движутся при том же метрическом тензоре.

Где в статическом гравитационном поле роль диэлектрической и магнитной проницаемости играет величина $\varepsilon = \mu = \frac{1}{\sqrt{g'_{00}}}$.

Зная общее для всего пространства время x'^0 можно определить интервал. Зная скорости тела и метрический тензор можно определить временную координату. Таким образом задавая общее для всего пространства собственное время x'^0 можно вычислить координаты и время, Зная изменение фазовой скорости тел можно определить время, скорости и координаты из дифференциального уравнения

$$\frac{dx^\gamma}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c_{F\gamma}} = -c'_{F0}\Gamma^\gamma_{pq}u^p u^q, \frac{dx'^\gamma}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c'_{F\gamma}} = -c'_{F0}\Gamma'^\gamma_{pq}u^p u^q$$

$$c^2_{F\gamma}/c^2 = g_{\gamma\gamma} + 2g_{0\alpha}\frac{dx^\alpha}{dx'^0}\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}} + \sum_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3} g_{\alpha\beta}\frac{dx^\alpha}{dx'^0}\frac{dx^\beta}{dx'^0}\left(\frac{c_{F\gamma}}{c'_{F0}}\right)^2;$$

$$\left(\frac{c'_{F\gamma}}{c}\right)^2 = g'_{\gamma\gamma} + 2g'_{0\alpha}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0}\frac{c'_{F\gamma}}{c'_{F0}} + \sum_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3} g'_{\alpha\beta}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0}\frac{dx'^\beta}{dx'^0}\left(\frac{c'_{F\gamma}}{c'_{F0}}\right)^2$$

$$\frac{du^l}{dx'^0} + \sqrt{c'_{F0}}\Gamma^l_{pq}u^p u^q = 0, \frac{dx^p}{dx'^0} = \sqrt{c'_{F0}}u^p(x'^0, x^0, x^1, x^2, x^3)$$

Откуда из квадратного уравнения определится величина

$$\frac{c_{F\gamma}}{c} = \frac{\sum\limits_{\alpha=1}^{3} g_{0\alpha}\frac{dx^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}} \pm \sqrt{\left(\sum\limits_{\alpha=1}^{3} g_{0\alpha}\frac{dx^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}}\right)^2 - g_{\gamma\gamma}\left(\sum\limits_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3}\frac{g_{\alpha\beta}}{(c'_{F0})^2}\frac{dx^\alpha}{dx'^0}\frac{dx^\beta}{dx'^0} - 1\right)}}{\sum\limits_{\alpha,\beta=1}^{3}\frac{g_{\alpha\beta}}{(c'_{F0})^2}\frac{dx^\alpha}{dx'^0}\frac{dx^\beta}{dx'^0} - 1}$$

$$\frac{c'_{F\gamma}}{c} = \frac{\sum\limits_{\alpha=1}^{3} g'_{0\alpha}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}} \pm \sqrt{\left(\sum\limits_{\alpha=1}^{3} g'_{0\alpha}\frac{d'x^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}}\right)^2 - g'_{\gamma\gamma}\left(\sum\limits_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3}\frac{g'_{\alpha\beta}}{(c'_{F0})^2}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0}\frac{dx'^\beta}{dx'^0} - 1\right)}}{\sum\limits_{\alpha,\beta=1}^{3}\frac{g'_{\alpha\beta}}{(c'_{F0})^2}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0}\frac{dx'^\beta}{dx'^0} - 1} \qquad (1.1)$$

$$\left(\frac{c'_{F0}}{c}\right)^2 = g'_{\gamma\gamma} + 2g'_{0\alpha}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0} + \sum_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3} g'_{\alpha\beta}\frac{dx'^\alpha}{dx'^0}\frac{dx'^\beta}{dx'^0}$$

$$\frac{c}{c_{F\gamma}} = \left[\sum_{\alpha=1}^{3} g_{0\alpha}\frac{dx^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}} \mp \sqrt{\left(\sum_{\alpha=1}^{3} g_{0\alpha}\frac{dx^\alpha}{dx'^0 c'_{F0}}\right)^2 + g_{\gamma\gamma}\left(\sum_{\substack{\alpha,\beta=1\\ \alpha=\beta\neq\gamma}}^{3}\frac{g_{\alpha\beta}}{(c'_{F0})^2}\frac{dx^\alpha}{dx'^0}\frac{dx^\beta}{dx'^0} - 1\right]} / g_{\gamma\gamma}$$

Собственное время в разных точках пространства одинаково (нулевая скорость часов соответствует одинаковым условиям в разных точках пространства), а интервал в разных точках разный, зависит от диэлектрической и магнитной проницаемости диэлектрика. Собственное время - это уникальное понятие в природе и в разных средах течет одинаково. В ОТО собственное время равно $ds^2 = c_F^2 d\tau^2 = g'_{00}(dx'^0)^2$, где используется фазовая скорость света, определяющая интервал между двумя событиями в одной точке пространства. Разным фазовым скоростям в разных точках пространства будет соответствовать разный интервал, время определяется общим для всех точек. Собственное время, определенное в ОТО оказывается равным $\tau = \int \frac{\sqrt{g_{00}}}{c_F} dx^0$, докажем что определенное таким образом собственное время τ совпадет с имеющим разные значения в разных точках пространства временем x^0. Эта и все следующие формулы взяты из [2] §84 и модифицированы для использования фазовой скорости, вместо скорости света в вакууме. Так вычисленное между двумя событиями локальное время равно $dx^{0(2)} - dx^{0(1)} = \frac{2}{g_{00}} \sqrt{(g_{0\alpha} g_{0\beta} - g_{\alpha\beta} g_{00}) dx^\alpha dx^\beta}$, откуда имеем формулу для прошедшего времени

$$\tau = \int \frac{2\sqrt{(-g_{\alpha\beta} + \frac{g_{0\alpha} g_{0\beta}}{g_{00}}) \frac{dx^\alpha}{dx^0} \frac{dx^\beta}{dx^0}}}{c_F} dx^0 . \tag{1.2}$$

Где величина dx'^0 соответствует времени прохождению между двумя точками, не зависящему от нахождения точек пространства. Фазовая скорость света в системе отсчета $ds = 0$ определится из формулы $dl = \sqrt{(-g_{\alpha\beta} + \frac{g_{0\alpha} g_{0\beta}}{g_{00}}) \frac{dx^\alpha}{dx^0} \frac{dx^\beta}{dx^0}} dx^0 = c_f dx^0 / 2$. Выбираем множитель у x^0, чтобы выполнялось $c_f = c_F$. Тогда время, вычисленное по формуле (1.2) равно $\tau = \int dx^0 = \Delta x^0$. Причем, время, вычисленное по формуле (1.2) равно собственному времени по версии ОТО, и равно времени, определяющему фазовую скорость и формула

$$\tau = \Delta x^0 = \int \frac{\sqrt{g_{00}}}{c_F} dx^0 \qquad (1.3)$$

определяет собственное время, разное в разных точках пространства, где величина $dx^0 = dx^{0(2)} - dx^{0(1)}$ локальное время. Значит формула (1.3) определяет собственное время, текущее по-разному в разных точках пространства.

Но как считать уравнение движения ОТО. Оно сводится к системе уравнений

$$\frac{dx}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c_{Fч}} + \frac{\dfrac{dx'}{dx'^0} + \dfrac{c'_{F0}}{c}\dfrac{V}{c_{F0}}}{\sqrt{1 - V^2/c_{F0}^2}}, \frac{dx^0}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c_{F0}} + \frac{\dfrac{c'_{F0}}{c_{F0}} + \dfrac{V}{c_{F0}}\dfrac{dx'}{dx'^0}}{\sqrt{1 - V^2/c_{F0}^2}};$$
$$\frac{dy}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c_{Fy}} + \frac{dy'}{dx'^0}; \frac{dz}{dx'^0} = \frac{c'_{F0}}{c_{Fz}} + \frac{dz'}{dx'^0} \qquad (1.4)$$

Где правые части определены по формулам (1.1). Причем эта система координат описывает двигающиеся тело с тем же метрическим тензором, но с добавкой к скорости величины, соответствующей преобразованию Лоренца. Где производится дифференцирование по времени, общему для всего пространства. При переходе в другую “инерциальную систему координат” добавляется дополнительная скорость, причем в добавке участвует как временная часть преобразования Лоренца, так и скорость двигающегося тела. Возникла интересная ситуация, при скорости системы координат, равной нулю и неподвижными телами в собственной системе отсчета добавка к пространственной части нулевая, а к временной части - конечная. По-видимому, это связано с Доплер эффектом. Эту систему уравнений необходимо разрешить относительно скорости тел $\frac{dx^0}{dx'^0}, \frac{dx}{dx'^0}, \frac{dy}{dx'^0}, \frac{dz}{dx'^0}$ и проинтегрировать по общему времени x'^0, причем $\frac{dx'^0}{dt'} = c$.

Литература

1. Якубовский Е.Г. По поводу преобразований Лоренца. «Энциклопедический фонд России», 2018, 128 стр. http://www.russika.ru/userfiles/390_1535629295.pdf

2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля т.II, Наука, М.,1973,564с.