

И. В. ЕФИМОВ
iv-efimov@mail.ru

Графические иллюстрации к инерциальным системам отсчета

Аннотация. Предложенные к рассмотрению графические иллюстрации и пояснения к ним позволяют наглядно представить, как происходят во времени процессы испускания и поглощения волн света. Показано, как это выглядит относительно разных систем отсчета. Даны пояснения касательно эффекта Доплера, преобразований Галилея и Лоренца. На конкретных примерах показано, что следует понимать под понятиями «время» и «одновременность». Преобразования Галилея представлены в следующей редакции: $x' = x - v_0 t$; $y' = y \cdot \cos \alpha$; $z' = z \cdot \cos \alpha$. Сделаны соответствующие выводы.

В статье «О динамике электрона» А. Пуанкаре предложил к рассмотрению систему уравнений под названием «Преобразования Лоренца», противопоставив их преобразованиям Галилея. Пуанкаре утверждал, что эти преобразования соответствуют повороту в четырехмерном пространстве-времени, но математически это никак не обосновал. Нет ясности, что именно под понятием «время» имел он в виду, представив формулу, указывающую на его замедление. Рассмотрим эти вопросы, приведя примеры с конкретными цифрами и сопроводив соответствующими иллюстрациями.

Пусть из источников, находящихся в точках А; В; С; D; E; F; G и расположенных на дуге окружности радиусом $R = 3 \times 10^8$ м равномерно через каждые 60° ($\psi_n = 60^\circ \cdot n$, начиная от $n = 0$) непрерывно испускаются волны света с частотой $f_0 = 100 \text{ с}^{-1}$, и, соответственно, длиной волны $\lambda = 3 \times 10^6$ м. В момент времени $t_0 = 0$ фронт волн от этих источников **одновременно** пришел в точку О и точку О'. Точка О является началом неподвижной системы координат системы ХOZ. Точка О' – начало движущейся системы координат Х'O'Z', находится на оси Х с координатой $X_{O'} = -1,5 \times 10^8$ м и движется со скоростью $V_0 = 1,5 \times 10^8$ м/с вдоль оси Х в направлении точки О. Проведя линии от источников к точкам О (цвет черный) и О' (цвет красный), получим траектории лучей от моментов испускания и до момента, когда все лучи соберутся в точке О. По факту, траектории лучей, обозначенные черным цветом – это следы на плоскости ХOZ от волн света, испущенных источниками А; В; С; D; E; F; G в течении одной секунды, то есть до момента

t_0 . Что касается траекторий, обозначенных красным цветом, рассмотрим позже, по ходу повествования.

На Рис.1 отобразим, как всё это выглядит на момент времени t_0 относительно системы отсчета с центром в точке O .

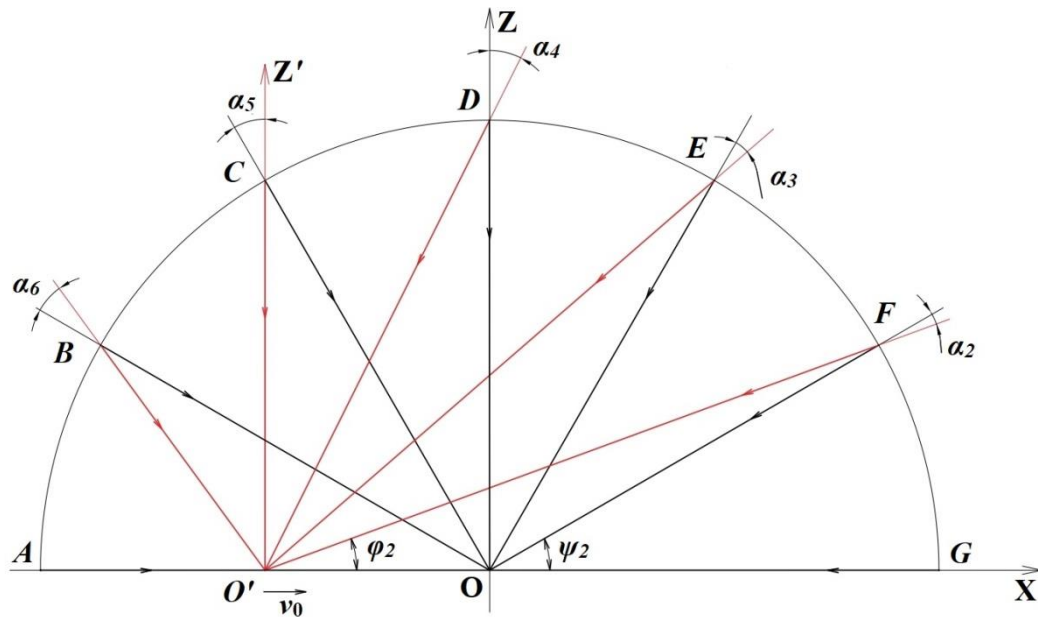


Рис. 1. Графическое построение для неподвижной системы отсчета с центром в точке O

Проекция точки B на ось X находится на координате $X_B = -2,60 \times 10^8 \text{ м}$, проекция на ось Z на координате $Z_B = 1,50 \times 10^8 \text{ м}$. Последующие проекции: $X_C = -1,50 \times 10^8 \text{ м}$, $Z_C = 2,60 \times 10^8 \text{ м}$; $X_D = 0$, $Z_D = 3 \times 10^8 \text{ м}$; $X_E = 1,50 \times 10^8 \text{ м}$, $Z_E = 2,60 \times 10^8 \text{ м}$; $X_F = 2,60 \times 10^8 \text{ м}$, $Z_F = 2,60 \times 10^8 \text{ м}$. Все указанные величины являются катетами прямоугольных треугольников, потому несложно произвести необходимые расчеты.

Углы между осью X и направлением от источников к точке O' : угол φ_1 представлен прямым отрезком на оси X , и равен, соответственно, 0 градусов; далее, против часовой стрелки: $\varphi_2 = 20^\circ 6'$; $\varphi_3 = 45^\circ$; $\varphi_4 = 63^\circ 26'$; $\varphi_5 = 90^\circ$; $\varphi_6 = 126^\circ 12'$; $\varphi_7 = 180^\circ$

Результаты расчета углов абберации: $\alpha_1 = 0^\circ$; $\alpha_2 = 9^\circ 54'$; $\alpha_3 = 15^\circ$; $\alpha_4 = 26^\circ 34'$; $\alpha_5 = 30^\circ$; $\alpha_6 = 33^\circ 48'$; $\alpha_7 = 0^\circ$

Длины всех лучей, пришедших в точку O , одинаковые, равны радиусу дуги R и составляют по 3×10^8 метров.

Длины лучей, пришедших в точку O' разные: $AO' = 1,5 \times 10^8 \text{ м}$; $BO' = 1,86 \times 10^8 \text{ м}$; $CO' = 2,60 \times 10^8 \text{ м}$; $DO' = 3,35 \times 10^8 \text{ м}$; $EO' = 3,67 \times 10^8 \text{ м}$; $FO' = 4,365 \times 10^8 \text{ м}$; $GO' = 4,50 \times 10^8 \text{ м}$.

Исходя из условий задачи, можно сделать некоторые выводы.

В момент $t_0 = 0$ **одновременно**: фронты первых волн от источников сошлись в точке О а также завершились процессы испускания последних, сотых по счету волн.

Но процесс испускания первых волн, **направленных к точке О**, начался раньше, и тоже **одновременно**, начиная от момента $t_{-1} = -1\text{с}$. В течении одной секунды, вплоть до момента $t_0 = 0$, каждый из источников испустил по сто волн длиной $\lambda = 3 \times 10^6 \text{м}$ каждая.

Если в точке О расположен материальный объект, поглощающий волны, то процесс поглощения этих волн тоже будет **одновременным**, будет происходить с частотой $f_0 = 100\text{с}^{-1}$ **в одной точке пространства**, займет одну секунду и завершится в момент $t_1 = 1\text{с}$

Также в момент $t_0 = 0$ в точке О' **одновременно** сошлись фронты первых волн, испущенных от этих самых источников. Длины лучей разные, значит, процесс испускания волн начинался разное время. Относительно момента времени $t_0 = 0$, это выглядит так: $t_{AO'} = -0,5\text{с}$; $t_{BO'} = -0,61\text{с}$; $t_{CO'} = -0,867\text{с}$; $t_{DO'} = -1,12\text{с}$; $t_{EO'} = -1,22\text{с}$; $t_{FO'} = 1,455\text{с}$; $t_{GO'} = -1,5\text{с}$.

Если в точке О' расположен материальный объект, поглощающий волны, то, начиная от момента t_0 , начнется процесс поглощения. Этот процесс будет происходить в движущейся системе, но **не в одной точке, а на участке** от точки $X_{O'} = -1,5 \times 10^8 \text{м}$ до точки О, будет длиться одну секунду и завершится в момент времени $t_{-1} = 1\text{с}$.

Таким образом, **волны, испущенные в разное время, будут поглощены за одинаковый промежуток времени** – за одну секунду. Если поделить время испускания волн на время поглощения, получим частоты: $f_{AO'} = 50\text{с}^{-1}$; $f_{BO'} = 62\text{с}^{-1}$; $f_{CO'} = 87\text{с}^{-1}$; $f_{DO'} = 111\text{с}^{-1}$; $f_{EO'} = 122\text{с}^{-1}$; $f_{FO'} = 145,5\text{с}^{-1}$; $f_{GO'} = 150\text{с}^{-1}$.

Ранее значение этих частот мы получили, применив формулу, описывающую эффект Доплера: $f = f_0(1 + v/c)$.

Но в случае, если известно время испускания волн $t_{\text{исп}}$ и время поглощения $t_{\text{погл}}$, то для определения частот в движущихся системах можно применять более простую формулу: $f = f_0(t_{\text{исп}} : t_{\text{погл}})$

Касательно эффекта Доплера, то описания этого эффекта имеются во множестве источников. Приводятся формулы, по которым можно рассчитать, **как** изменяются частоты, но нет пояснений **почему** этот эффект имеет место. Именно эта формула и позволяет найти ответ. Если система движется относительно источника световых волн, то время, затраченное на испускание фотонов, отличается от времени, затраченного на поглощение. Если вектор скорости света от источника совпадает с вектором скорости движущейся системы, то время на поглощение больше, а частота, соответственно, меньше. Если вектора направлены навстречу, то время на поглощение меньше, частота больше. Такое пояснение указывает на то, что нет никаких

оснований рассуждать о релятивистском сокращении времени в движущихся системах.

Ранее были определены длины лучей в движущейся системе. Поскольку рассмотренный процесс по времени длился 1 секунду, а скорость света является величиной постоянной, то получается, что из точек А; В; С; D; E; F; G по направлению к точке O' волны света движутся с **относительными** скоростями: $v_{AO'} = 1,5 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{BO'} = 1,86 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{CO'} = 2,60 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{DO'} = 3,35 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{EO'} = 3,67 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{FO'} = 4,365 \times 10^8 \text{ м/с}$; $v_{GO'} = 4,50 \times 10^8 \text{ м/с}$.

На Рис.2 покажем, как это выглядит на момент времени $t_0 = 0$, относительно инерциальной системы отсчета с центром в точке O'.

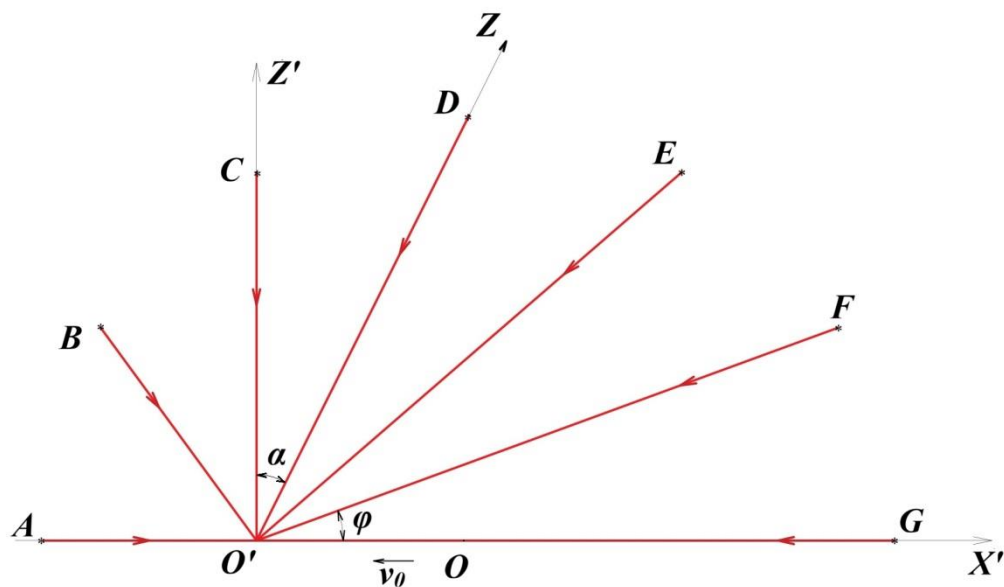


Рис. 2. Графическое построение для инерциальной системы отсчета с центром в точке O'

Траектории лучей, обозначенных красным цветом – это следы на плоскости X'O'Z' от волн света, испущенных источниками А; В; С; D; E; F; G, от моментов времени: $t_{AO'} = -0,5\text{с}$; $t_{BO'} = -0,61\text{с}$; $t_{CO'} = -0,867\text{с}$; $t_{DO'} = -1,12\text{с}$; $t_{EO'} = -1,22\text{с}$; $t_{FO'} = 1,455\text{с}$; $t_{GO'} = -1,5\text{с}$ и до момента $t_0 = 0$. Траектории и длины лучей соответствуют тому же, что и на Рис.1, но изменилось направление скорости V_0 . Обращаем внимание на то, что ось Z отклонена от оси Z' в направлении оси X. Величина угла между направлением DO' и осью Z определяется из формулы $\text{tg } \alpha = v_0/c$. На Рис.1 точка D – это источник, волн, расположенный на оси Z. Поскольку ось Z отклонена на угол α , то получается преобразование: $Z' = Z \cos \alpha$

Если бы вместо дуги окружности рассматривалась сфера, то в движущейся инерциальной системе отсчета **плоскость** [Y;Z] воспринималась бы, как **поверхность конуса**. Тогда:

- угол при вершине конуса рассчитывается по формуле $\beta = 180^\circ - 2\alpha$;
- преобразования для осей Y' и Z' имеют вид: $Y' = Y \cos \alpha$; $Z' = Z \cos \alpha$

Мы рассмотрели пример, когда движущаяся **система отсчета приближается** к началу координат неподвижной системы отсчета.

Если **система отсчета удаляется** со скоростью V_0 , то графическое изображение следует строить, исходя из тех условий, что в момент времени $t_0 = 0$ точки O и O' совмещены, а через секунду, в момент времени $t_1 = 1$ с, точка O' находится на координате $x = V_0 t_1$, то есть графически – вправо от неподвижной точки O . Не станем отвлекаться на графические построения. Каждый, кто заинтересуется представленной темой, сможет сделать это самостоятельно, и самостоятельно сделать соответствующие выводы.

Теперь вернемся к вопросу о времени. Под временем следует понимать совокупность и последовательность всех без исключения элементарных действий, происходящих во Вселенной. Под элементарным действием следует понимать длящийся во времени процесс испускания или поглощения отдельного фотона. Именно произведение энергии фотона на длительность процесса испускания или поглощения и является элементарным действием. Это так и называется: квант действия, или Постоянная Планка. Любое событие, любой процесс, сопровождающийся выделением или поглощением энергии в какой-либо системе, является результатом суммы всех элементарных действий, произошедших в системе.

Длительность испускания фотона может занимать разное время. Поэтому, рассуждая о том, что считать «раньше», «позже» или «одновременно», следует рассматривать фронт волн испущенных фотонов, то есть отсчитывать от начала действия. Если фронты испущенных фотонов прошли одинаковое расстояние, то начало рассматриваемых событий произошло одновременно. Если энергия и длины волн этих фотонов совпадают, то не только начало, но и сами элементарные действия следует считать одновременными. Если фронты волн прошли разные расстояние, то «раньше» - если фронт волны прошел большее расстояние, а «позже» - меньшее.

Наглядно это отображено на Рис.1. В ранее рассмотренном примере пояснялось, какие события и действия происходили одновременно, а какие нет. Если исходить из того, что скорость света постоянна на всех просторах Вселенной, то логичным будет полагать, что во Вселенной существует некая выделенная неподвижная система отсчета. **Неподвижной является та система, в которой длительность испускания каждого из фотонов совпадает с длительностью их поглощения.** Что касается понятия «одновременность» в движущейся системе, то

длительность испускания не совпадает с длительностью поглощения, в этом случае говорить об одновременности не корректно

Из рассмотренного примера следует, что скорость движения наблюдателя не может оказывать никакого влияния на процессы, происходящие во Вселенной. Из этого следует, что понятие «релятивистское замедление времени» - результат логических и математических ошибок; теорема сложения скоростей – математическая фикция, не имеющая ни малейшего отношения к действительности.

В начале повествования было упоминание о преобразованиях Галилея. Эти преобразования представлены в виде

$$x'=x-vt ; y'=y ; z'=z ; t'=t$$

Вернувшись к рассмотрению Рисунков 1 и 2, видим, что первое из уравнений верное. Что касается времени, то и это соответствует действительности. Но выражения $y'=y$ и $z'=z$ содержат логическую ошибку.

Как уже было доказано, в движущейся инерциальной системе отсчета **плоскость [Y;Z]** воспринимается, как **поверхность конуса**.

В таком случае уравнения Галилея следует представить в следующей редакции:

$$x'=x-v_0t; \quad y' = y \cdot \cos\alpha; \quad z' = z \cdot \cos\alpha.$$

Поскольку время инвариант, то лишний раз упоминать о нем нет необходимости.

Та же сама ошибка и у Пуанкаре. Но в преобразованиях Лоренца есть ещё то, что требует пояснений. Ведь знаменатель в множителе Лоренца, представленный в виде $(1 - v^2/c^2)^{0,5}$ по сути является тригонометрической функцией: $(1 - v^2/c^2)^{0,5} = \sin\gamma$, где $\gamma = \arccos(v/c)$. Можно предложить другой вариант: $(1 - v^2/c^2)^{0,5} = \cos\gamma$, где $\gamma = \arcsin(v/c)$, но ни в первом, ни во втором случае физический смысл угла γ не просматривается, на представленных рисунках угол γ не фигурирует.

Как известно, дальнейшее развитие воззрений Галилея и Пуанкаре нашло своё место в трудах Эйнштейна, Минковского и их последователей, но имеются основания пересмотреть сложившиеся представления самым радикальным образом.

Литература

1. Э. Шмутцер. Теория относительности. Современное представление. Издательство «Мир», М. 1981
2. А. Пуанкаре. О динамике электрона
3. А. Эйнштейн. К электродинамике движущихся тел.