

# Релятивистский эффект Доплер (ВЕРСИЯ – ЭТО)

---

*Халецкий Михаил Борисович*

*Израиль, г.Хадера, 2023 г.*

[hal123mih@gmail.com](mailto:hal123mih@gmail.com)

## **АННОТАЦИЯ**

Исследуются эффекты Рёмера – Доплера по изменению частоты и длины волн принимаемого электромагнитного сигнала при движении источника излучения со скоростью близкой к скорости света. За основу анализа принимаются ВЕРСИЯ Элементарной теории относительности и преобразования Лоренц – ВЕРСИЯ, «статьи на сайте <https://halmich.ru> ».

**Ключевые слова:** эффект; частота колебаний; скорость движения; источник; приёмник; системы отсчёта.

## **Содержание**

- 1. Постановка задачи**
- 2. Эффект Доплера для разобщённых систем отсчёта**
- 3. Заключение**
- 4. Эффект Доплера для совмещённых систем отсчёта**
- 5. Заключение**

### Принятые сокращения.

ЭТО – Элементарная теория относительности

СТО – Специальная теория относительности

ИСО – Инерциальная система отсчёта

ВЕРСИЯ – Вариант элементарной теории относительности

Лоренц – ВЕРСИЯ; – преобразования координат в варианте ВЕРСИЯ

### 1. Постановка задачи.

В абсолютном пространстве единой ИСО заданы две альтернативные системы отсчёта, основная ИСО и параллельная ИСО. В единой ИСО движется источник  $C_0$  и излучает электромагнитные сигналы постоянной частоты. Источник движется в вакууме, скорость источника  $v_0$  известна только в основной ИСО. В центрах координат основной и параллельной ИСО ( $A_0, A_1$ ) находятся собственные приёмники сигналов. Один и тот-же источник, в зависимости от собственной скорости движения, может создавать в приёмниках альтернативных ИСО разные по частоте колебания.

**Стоит задача:** найти соотношение частот принимаемых и излучаемых сигналов в альтернативных ИСО. Графическая иллюстрация приведена на рисунке 1.

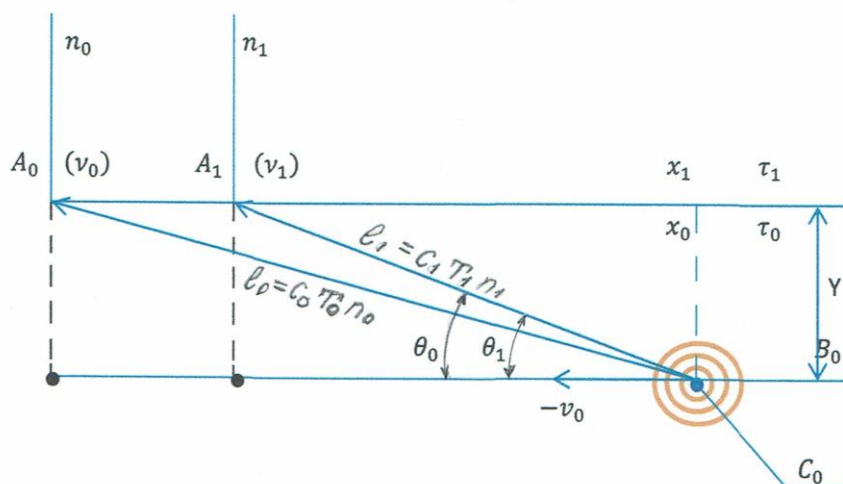


Рисунок 1

Где:

$$l_0 = c_0 T_0 n_0 = \lambda_0 n_0; \quad l_1 = c_1 T_1 n_1 = \lambda_1 n_1;$$

$$c_0 = c \approx 30 * 10^7 \text{ m/s}; \quad c_1 = c / \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right). \quad (1)$$

$T_0, T_1$  – периоды излучаемых сигналов;

$\lambda_0, \lambda_1$  – длины волн принимаемых сигналов;

$B_0$  – условная траектория;  $y$  – сдвиг траектории в поперечном направлении.

События приёма сигнала в центрах координат двух систем отсчёта  $A_0, A_1$  объединены причинно-следственными связями. Координаты событий разнесены в пространстве и времени единой системы отсчёта. В силу основного принципа относительности ВЕРСИИ, для альтернативных ИСО можно записать:

$$\frac{l_0}{\lambda_0} = \frac{l_1}{\lambda_1} = n_0 = n_1 = n. \quad (2)$$

Где:  $n$  – общая история совместных циклов колебаний источника и приёмников сигнала из ряда натуральных чисел 1, 2, 3, 4, 5, ....

Для упрощения преобразований принимаем  $n = 1$ . Используем преобразования координат и времени в варианте Лоренц – ВЕРСИЯ, найдём соотношения частот излучателя и приёмников. Статусы систем отсчёта:  $x_0, t_0$  – основная ИСО;  $x_1, t_1$  – параллельная ИСО. Основная ИСО принимается за лабораторную систему отсчёта, скорость света в ней постоянная величина.

## 2. Эффект Доплера для разобщённых систем отсчёта.

Координаты альтернативных систем отсчёта **не совпадают** в пространстве и времени единой ИСО.

**2.1** Источник излучения находится в основной ИСО, приёмник в параллельной ИСО (**прямые преобразования координат**):

$$T_0 = T_1 \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} + x_1 \frac{(-v_0)}{c^2} \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Скорость источника принимается со знаком минус (источник удаляется от приёмника). Найдём отношение периодов колебаний:

$$\frac{T_0}{T_1} = \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} + \frac{x_1}{T_1 c} \frac{(-v_0)}{c} \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Используем выражения (1) для скорости света в параллельной ИСО:

$$\frac{x_1}{T_1 c_1} = \frac{x_1}{T_1 c} \left(1 + \frac{v_0^2}{c^2}\right) = \cos \theta_1 \Rightarrow \frac{x_1}{T_1 c} = \frac{\cos \theta_1}{1 + \frac{v_0^2}{c^2}}.$$

Отношение периодов приводится к виду соотношения частот:

$$\frac{T_0}{T_1} = \frac{1 - \frac{v_0}{c} \cos \theta_1}{\sqrt{1 + \frac{v_0^2}{c^2}}} = \frac{v_1}{v_0}.$$

Обозначим отношение  $v_0/c = \beta$  тогда, соотношение частот принимает вид:

$$\frac{\nu_1}{\nu_0} = \frac{1 - \beta \cos \theta_1}{\sqrt{1 + \beta^2}}. \quad (3)$$

**Продольный эффект** при  $\theta_1 = 0$ ,  $\cos \theta_1 = 1$ .

$$\nu_1 = \nu_0 \frac{1 - \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}}. \quad (4)$$

**Поперечный эффект** при  $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\cos \theta_1 = 0$ , относительно центра координат  $A_1$ :

$$\nu_1 = \nu_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \beta^2}}. \quad (5)$$

**2.2** Источник излучения находится в параллельной ИСО, приёмник в основной ИСО (обратные преобразования координат):

$$T_1 = \frac{T_0 - x_0 \left( \frac{-v_0}{c^2} \right)}{\left( 1 + \frac{v_0^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \left( 1 - \frac{v_0^2}{c^2} \right)}.$$

Скорость света в основной ИСО равна постоянному значению  $c_0 = c \approx 30 * 10^7 \text{ м/с}$ ,

$$\frac{x_0}{T_0 c} = \cos \theta_0.$$

Отношение периодов колебаний приводится к виду соотношения частот:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{1 + \frac{v_0}{c} \cos \theta_0}{\left( 1 + \frac{v_0^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \left( 1 - \frac{v_0^2}{c^2} \right)} = \frac{\nu_0}{\nu_1}.$$

Соотношение частот.

$$\frac{\nu_0}{\nu_1} = \frac{\sqrt{1 + \beta^2} (1 + \beta \cos \theta_0)}{1 - \beta^2}. \quad (6)$$

**Продольный эффект** при  $\theta_0 = 0$ ,  $\cos \theta_0 = 1$ .

$$\nu_0 = \nu_1 \frac{\sqrt{1 + \beta^2} (1 + \beta)}{1 - \beta^2} = \nu_1 \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 - \beta}. \quad (7)$$

**Поперечный эффект** при  $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$ ,  $\cos \theta_0 = 0$ , относительно центра координат  $A_0$ .

$$\nu_0 = \nu_1 \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 - \beta^2}. \quad (8)$$

### 3. Заключение:

**3.1** В продольном направлении, приёмники обеих систем отсчёта одинаково реагируют на источник излучения. Соотношение излучаемых и принимаемых частот имеют взаимно обратный характер.

**3.2** Существует два поперечных эффекта. Первый соответствует положению источника сигналов в основной ИСО напротив центра  $A_1$ . Второй поперечный эффект соответствует положению источника сигналов в параллельной ИСО напротив центра  $A_0$ .

## 4. Эффект Доплера для совмещённых систем отсчёта

Координаты альтернативных систем отсчёта **совпадают** в пространстве и времени единой ИСО

### 4.1 Продольный эффект.

Центры собственных координат  $A_0, A_1$  и координатные оси совмещены в абсолютном пространстве единой ИСО,  $\cos \theta_0 = \cos \theta_1 = \cos \theta$ . Источник излучения находится одновременно в основной и параллельной ИСО. Запишем формулы (3), (6) через общий косинус:

$$\nu_1 = \nu_0 \frac{1 - \beta \cos \theta}{\sqrt{1 + \beta^2}}; \quad \nu_1 = \nu_0 \frac{1 - \beta^2}{\sqrt{1 + \beta^2}(1 + \beta \cos \theta)}. \quad (9)$$

Обозначим отношения частот,  $\nu_1/\nu_0 = \gamma$ . Тогда, исключая из последних выражений общий косинус, получим уравнение для  $\gamma$ . Уравнение имеет четыре инверсионных решения:

$$\gamma^2(1 + \beta^2) - 2\gamma\sqrt{1 + \beta^2} + (1 - \beta^2) = 0. \quad (10)$$

Корни уравнения при постоянном значении  $\nu_0$ :

$$1) \quad \gamma = \frac{1 - \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}} \rightarrow \nu_1 = \nu_0 \frac{1 - \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}};$$

$$2) \quad \gamma = \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}} \rightarrow \nu_1' = \nu_0 \frac{1 + \beta}{\sqrt{1 + \beta^2}}.$$

Корни уравнения при постоянном значении  $\nu_1$ :

$$3) \quad \gamma^{-1} = \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 - \beta} \rightarrow \nu_0 = \nu_1 \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 - \beta};$$

$$4) \quad \gamma^{-1} = \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 + \beta} \rightarrow \nu_0' = \nu_1 \frac{\sqrt{1 + \beta^2}}{1 + \beta}.$$

Первый корень уравнения соответствует удалению источника сигнала от совмещённых центров координат. Второй корень соответствует приближению к совмещённым центрам координат. Частоту  $\nu_0$  ассоциируют с частотой излучателя, частоту  $\nu_1$  ассоциируют с частотой приёмника. В общем случае, инверсия решений приводит к

взаимной перестановке местами источников и приёмников сигнала или объединению источника и приёмника в одном приборе (радиолокация и пеленгация объектов). Сравнивая между собой корни уравнений 1) и 2) или 3) и 4) можно получить известные соотношения частот.

Для отдельно взятой **параллельной** системы отсчёта:  $\nu'_1$  – частота источника сигнала;  $\nu_1$  – частота приёма сигнала,  $\beta$  – меняет знак.

$$\nu_1 = \nu'_1 \frac{1-\beta}{1+\beta} \text{ – красное смещение;}$$

$$\nu_1 = \nu'_1 \frac{1+\beta}{1-\beta} \text{ – синее смещение.}$$

Для отдельно взятой **основной** системы отсчёта:  $\nu'_0$  – частота источника сигнала;  $\nu_0$  – частота приёма сигнала,  $\beta$  – меняет знак.

$$\nu_0 = \nu'_0 \frac{1+\beta}{1-\beta} \text{ – синее смещение;}$$

$$\nu_0 = \nu'_0 \frac{1-\beta}{1+\beta} \text{ – красное смещение.}$$

#### 4.2 Поперечный эффект.

Источник сигнала постоянно вращается вокруг совмещённых центров координат:

$$\cos \theta_0 = \cos \theta_1 = 0; \quad \theta_0 = \theta_1 = \frac{\pi}{2}.$$

Повторяются формулы (5) и (8) для разобшённых систем отсчёта. Из разложения функций в степенные ряды можно утверждать, для  $|\beta| \ll 1$ :

$$\sqrt{1 + \beta^2}^{-1} \cong \sqrt{1 - \beta^2}^{+1}.$$

Формулы (5) и (8) приводятся к виду поперечного эффекта Рёмера:

$$\nu_0 \cong \nu_1 (1 - \beta^2)^{-\frac{3}{2}}; \quad \nu_1 \cong \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

### 5. Заключение.

**5.1** Продольный эффект Доплера через преобразования Лоренц – ВЕРСИЯ принципиально не отличается от выводов СТО и классической физики. Если источник удаляется от приёмника,  $\beta$  принимают с положительным знаком; если приближается,  $\beta$  принимают с отрицательным знаком. Формы записи продольного эффекта Доплера в основной и параллельной ИСО совпадают.

**5.2** Существует два поперечных эффекта Рёмера относительно совмещённых центров координат. Приёмник принадлежит или центру  $A_0$ , или центру  $A_1$ . Соответственно излучатель располагается в противоположной ИСО, формулы (5) и (8).

$$v_0 = v_1 \frac{\sqrt{1+\beta^2}}{1-\beta^2}; \quad v_0 \in A_0;$$

$$v_1 = v_0 \frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}}; \quad v_1 \in A_1.$$

### Литература:

1. Джемс Трефил / 200 законов мироздания; - Москва; Гелеос, 2007. – 528 с. – ISBN978-5-8189 – 0807-6(в пер.).
2. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1970г., 478 стр.
3. Касаткина И. Л. Репетитор по физике. Электромагнетизм. Колебания и волны. Оптика. Элементы теории относительности и атомного ядра. / Под ред. Т.В. Шкиль. – Ростов н/Д; изд-во «Феникс», 2000. – 896с. – ISBN 5-222-01327-8, ББК22.3Я72-К 38.
4. Википедия. <http://ru.org/wiki/> Специальная теория относительности.
5. А. Эйнштейн. К ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ. [interstellar – flight.ru/03/kedt.pdf](http://interstellar-flight.ru/03/kedt.pdf), 15 февраля 2010.
6. Халецкий М. Б., ВЕРСИЯ Элементарной теории относительности (ВЕРСИЯ – ЭТО), <https://halmich.ru>, 2022г.
7. Журнал «ДНА» №56 / Под ред. С.И. Хмельник, «ВЕРСИЯ Элементарной теории относительности», [publisherdna@gmail.com](mailto:publisherdna@gmail.com), 2022г.
8. Халецкий М. Б., Преобразования Лоренца (ВЕРСИЯ - ЭТО), <https://halmich.ru>, 2022г.

