

DOI: 10.17516/1999-494X-0221

УДК 537.877

## A Mathematical Approach to the Determination of the Propagation Speed of a Radio Signal

**Igor P. Popov\***  
*Kurgan State University  
Kurgan, Russian Federation*

Received 03.06.2018, received in revised form 12.05.2019, accepted 21.01.2020

*Abstract.* When determining the speed of a wave electromagnetic pulse, the source with the clock is fixedly set at the coordinate  $x_0 = 0$  of the coordinate system associated with it. At time  $t_0$  it emits a wave electromagnetic pulse. The receiver approaches the source with velocity  $v$ . The device clock, synchronized with the source clock, is set fixedly relative to the source at the coordinate  $x_2$ . It registers the receiver passing through this coordinate at time  $t_0$ . The device clock, synchronized with the clock source, is set fixedly relative to the source at the coordinate  $x_1$ . It records both the receiver and pulse passing through this coordinate at time  $t_1$ . According to the data of motionless observers, the speed of electromagnetic waves in vacuum is composed of the tabular velocity of electromagnetic waves and the velocity difference of the source and receiver.

*Keywords:* electromagnetic waves, velocity, transmitter, receiver.

Citation: Popov I.P. A mathematical approach to the determination of the propagation speed of a radio signal, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2020, 13(3), 284-288. DOI: 10.17516/1999-494X-0221

## Математический подход при установлении скорости распространения радиосигнала

**И.П. Попов**  
*Курганский государственный университет  
Российская Федерация, Курган*

*Аннотация.* При определении скорости волнового электромагнитного импульса источник с часами неподвижно устанавливаются в координате  $x_0 = 0$  связанной с ним системы координат. В момент времени  $t_0$  он излучает волновой электромагнитный импульс. К источнику со скоростью  $v$  приближается приемник. Устройство с часами, синхронизированными с часами источника,

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

\* Corresponding author E-mail address: ip-popov@yandex.ru

установлено неподвижно относительно источника в координате  $x_2$ . Оно регистрирует прохождение приемника через эту координату в момент времени  $t_0$ . Устройство с часами, синхронизированными с часами источника, установлено неподвижно относительно источника в координате  $x_1$ . Оно регистрирует прохождение и приемника и импульса через эту координату в момент времени  $t_1$ . По данным неподвижных наблюдателей, скорость электромагнитных волн в вакууме складывается из табличной скорости электромагнитных волн и разности скоростей источника и приемника.

*Ключевые слова:* электромагнитные волны, скорость, источник, приемник.

Цитирование: Попов, И.П. Математический подход при установлении скорости распространения радиосигнала / И.П. Попов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2020. 13(3). С. 284-288. DOI: 10.17516/1999-494X-0221

## Введение

Определение фазовой скорости электромагнитных волн в вакууме как

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

производилось без учета движения их источника и приемника [1–3]. Однако оно может быть учтено.

**Целью** настоящей работы является вычисление скорости распространения волнового электромагнитного импульса на основе исключительно математического подхода [4–8].

**Актуальность, научная значимость.** Правильный расчет скорости распространения волнового электромагнитного импульса позволит, в частности, корректно определять время прохождения радиосигналов на большие расстояния.

## Определение скорости волнового электромагнитного импульса

Пусть источник И с часами неподвижно установлен в координате  $x_0 = 0$  связанной с ним системы координат (см. рис.) [9]. В момент времени  $t_0$  он излучает волновой электромагнитный импульс.

К источнику со скоростью  $v$  приближается приемник П.

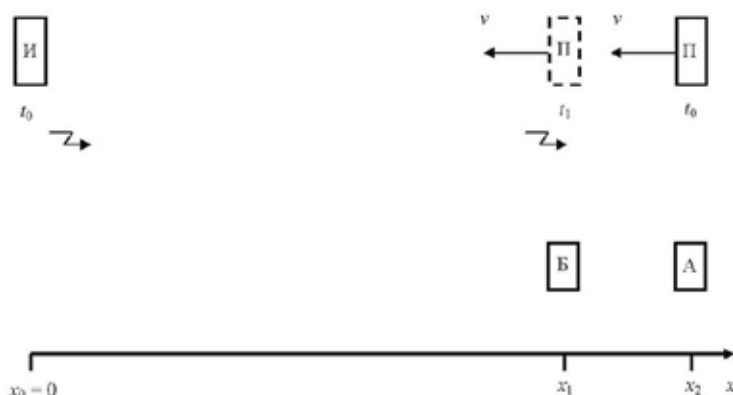


Рис. Расположение источника и приемника

Fig. Disposition of the source and the receiver

Устройство А с часами, синхронизированными с часами источника, установлено неподвижно относительно источника в координате  $x_2$ . Оно регистрирует прохождение приемника через эту координату в момент времени  $t_0$ .

Устройство Б с часами, синхронизированными с часами источника, установлено неподвижно относительно источника в координате  $x_1$ . Оно регистрирует прохождение и приемника, и импульса через эту координату в момент времени  $t_1$ .

По данным неподвижных наблюдателей, скаляр скорости приемника

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_1 - t_0},$$

скаляр скорости волнового электромагнитного импульса относительно источника

$$c = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{x_1}{t_1 - t_0}.$$

По их же данным, скорость перемещения импульса относительно приемника определяется как отношение расстояния между ними

$$x_2 - x_0 = x_2$$

ко времени

$$t_1 - t_0,$$

за которое они это расстояние преодолеют, т.е. сблизятся

$$c^* = \frac{x_2}{t_1 - t_0} = \frac{x_2 - x_1 + x_1}{t_1 - t_0} = \frac{x_2 - x_1}{t_1 - t_0} + \frac{x_1}{t_1 - t_0} = v + c. \quad (2)$$

### Учет релятивистских эффектов

По мнению наблюдателя, движущегося вместе с приемником, система отсчета, связанная с приемником, неподвижна, а система отсчета, связанная с источником, движется со скоростью  $v$ . К приемнику приближается импульс, расстояние до которого равно

$$x_2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (3)$$

Этот импульс достигнет приемника за время

$$(t_1 - t_0) \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4)$$

(величины  $x_2$ ,  $t_1$  и  $t_0$  движущийся наблюдатель может получить по радио от неподвижных наблюдателей и учесть релятивистские поправки). Следовательно, по мнению движущегося наблюдателя, импульс приближается к приемнику со скоростью

$$c^* = \frac{x_2 \sqrt{1 - v^2/c^2}}{(t_1 - t_0) \sqrt{1 - v^2/c^2}} = v + c. \quad (5)$$

К этому же результату движущийся наблюдатель придет и без учета релятивистских поправок.

### Источник движется, приемник неподвижен

В системе координат, связанной с источником, источник неподвижен, а приемник приближается к нему со скоростью  $v$ . В этой системе координат выполняется соотношение (2). При переходе к системе координат, связанной с приемником, в том числе с учетом (3) и (4), реализуется выражение (5).

### Заключение

Практической иллюстрацией полученного результата является разница во времени прохождения радиосигналов на Землю при их передаче с противоположных точек орбиты Меркурия при максимальном расстоянии между планетами [10–11]

$$\begin{aligned} \Delta t &= S_m \left( \frac{1}{c-v} - \frac{1}{c+v} \right) = \\ &= 2,17 \cdot 10^8 \left( \frac{1}{300000-56,6} - \frac{1}{300000+56,6} \right) \approx 0,273(c). \end{aligned}$$

Здесь  $S_m$  – максимальное расстояние между Землей и Меркурием (км);  $c$  – скорость света в вакууме (км/с),  $v$ , – тангенциальная скорость орбитального вращения Меркурия (км/с).

Таким образом, скорость электромагнитных волн в вакууме складывается из (1) и разности скоростей источника и приемника.

### Список литературы / References

- [1] Попов И.П. Комбинированные векторы и магнитный заряд. *Прикладная физика и математика*, 2018, 6, 12–20. DOI: 10.25791/pfim.06.2018.329 [Popov I.P. Combined vectors and magnetic charge, *Applied Physics and Mathematics*, 2018, 6, 12–20 (in Russian)]
- [2] Popov I.P. Mathematical modeling of the formal analogy of electromagnetic field. *Applied mathematics and control sciences*, 2016, 4, 36–60.
- [3] Попов И.П. Построение абстрактной модели силового поля типа электромагнитного. Часть 2. *Наука. Инновации. Технологии. Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета*, 2015, 3, 63–78 [Popov I.P. Construction of an abstract model of the electromagnetic field of force type. Part 2, *Science. Innovation. Technologies. Scientific Journal of the North Caucasus Federal University*, 2015, 3, 63–78 (in Russian)]
- [4] Попов И.П. Об одном соотношении скоростей. *Естественные и технические науки*, 2013, 6(68), 46–48 [Popov I.P. About one ratio of speeds, *Natural and Technical Sciences*, 2013, 6(68), 46–48 (in Russian)]
- [5] Попов И.П. Скорость распространения волновой функции. *Известия Уфимского научного центра РАН*, 2015, 4, 42–43 [Popov I.P. The speed of propagation of the wave function, *Proceedings of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2015, 4, 42–43 (in Russian)]
- [6] Popov I.P. A wave chain formed by the two monochromatic de Broglie waves. *British journal of innovation in science and technology*, 2017, 4, 27–31.
- [7] Попов И.П. Групповая скорость волнового пакета, образованного двумя свободными идентичными частицами с разными нерелятивистскими скоростями. *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*, 2015, 3(35), 69–72 [Popov I.P. Group

velocity of a wave packet formed by two free identical particles with different non-relativistic velocities, *Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and Mechanics*, 2015, 3(35), 69–72 (in Russian)]

[8] Попов И.П. Определение фазовой скорости волн де Бройля на основе интерференции и дифракции единичных частиц. *Вестник Удмуртского университета. Физика и химия*, 2014, 3, 48–50 [Popov I.P. Determination of the phase velocity of de Broglie waves on the basis of interference and diffraction of single particles, *Bulletin of Udmurt University. Physics and Chemistry*, 2014, 3, 48–50 (in Russian)]

[9] Попов И.П. Лабораторная установка для регистрации физического явления изменения скорости электромагнитных волн на величину разности скоростей источника и приемника. *Бюллетень изобретений и полезных моделей*, 2002, 28, 431–433 [Popov I.P. Laboratory setup for recording the physical phenomenon of the change in the velocity of electromagnetic waves by the magnitude of the difference between the speeds of the source and the receiver, *Bulletin of inventions and utility models*, 2002, 28, 431–433 (in Russian)]

[10] Попов И.П. Расчетные системы отсчета при относительном движении космических объектов. *Инженерная физика*, 2019, 3, 40–43. DOI: 10.25791/infizik.03.2019.564 [Popov I.P. Calculated reference systems for the relative motion of space objects, *Engineering Physics*, 2019, 3, 40–43 (in Russian)]

[11] Попов И.П. Системы отсчета в навигации движущихся объектов. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2019, 3, 189–192. <https://doi.org/10.17587/mau.20.189-192> [Popov I.P. Reference systems in the navigation of moving objects, *Mechatronics, automation, control*, 2019, 3, 189–192 (in Russian)]