

## Рассмотрим вывод сложения скоростей при движении источника излучения.

Геннадий Ивченков  
kashey@kwic.com

Вопрос о сложении скоростей источника и излучения не такой простой. Автор не нашел ответа ни у Ландсберга [1], ни в интернете. Для акустической волны в [1] написано, что скорость волны не складывается со скоростью передатчика (определяется средой, в которой волна распространяется), но складывается со скоростью приемника. Все бы хорошо, но сложение скоростей даже для акустической волны отсутствует. А для световой все сводится к "релятивистскому сложению скоростей по СТО". В статье сделана попытка разобратся в этом вопросе, предполагая, что сложение скоростей для световой волны такое же, как, например, для акустической волны.

Картина распространения волны в случае движущегося "досветового" источника ( $V < C$ ) приведена на рис. 1. Фронт волны (в плоскости XY) представляет собой окружности со смещенным центром. Центр каждой окружности (источник излучения) движется со скоростью  $V$  вдоль оси X. Соответственно, в каждой новой точке излучение идет с запаздыванием, что сказывается на угле визирования.

Тут возникает вопрос относительно чего движется источник. Этот вопрос является принципиальным и влияет на результат.

Предположим, что источник и приемник движутся в геоцентрической системе координат. Причем, эта система координат связана с центром Земли, неподвижна и не вращается вместе с Землей вокруг оси. Таким образом, источник на Луне движется вместе с Луной по орбите, а источник на Земле движется за счет вращения Земли. Соответственно, в первом случае приемник на Земле движется за счет вращения Земли, а приемник на Луне движется за счет движения Луны по орбите.

**Проанализируем сложение скоростей, предполагая, что источник излучения движется, а приемник неподвижен.**

Таким образом, источник движется от положения 1 до положения 5. При этом, когда он достигает положения 5, то он только начинает излучать в этой точке ( $R_5 = 0$ ). Движение «досветовое»:  $v < C$ .

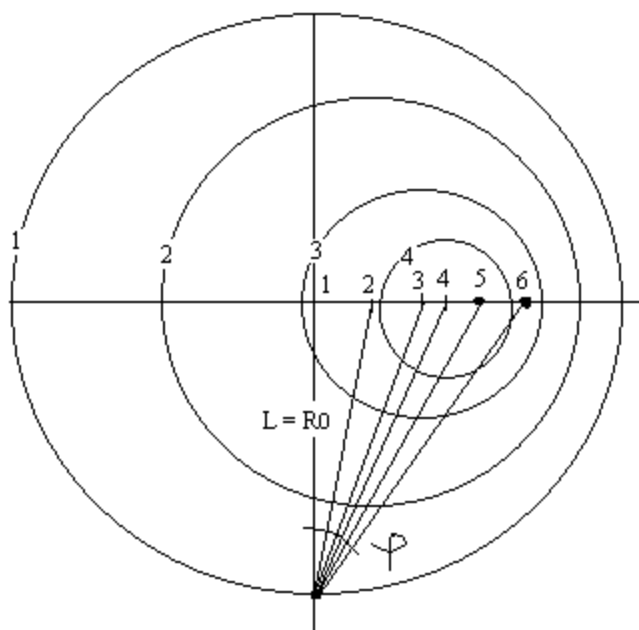


Рис. 1

Приемник находится на расстоянии  $L = R_0$  от источника (см. рис. 1). Это расстояние равно  $R_0 = Ct$ . Источник приходит в точку 5 за время  $t$ :  $x_{1-5} = vt$ . Чтобы свет дошел от точки 5 до приемника необходимо время  $\Delta t \approx \frac{R_0}{C}$  (приближенно, для случая, когда  $V \ll C$ , считаем, что расстояние между источником и точками 1,2,3,4,5 и 6 равно  $R_0$ ).

За это время источник переместится в точку 6, которая и будет точкой прицеливания (с упреждением). При этом он пройдет путь  $\Delta x \approx v \frac{R_0}{C}$ . Тогда расстояние от начала движения источника до точки прицеливания составит  $x_{1-6} = vt + v \frac{R_0}{C} = 2vt$ .

Если бы  $C \rightarrow \infty$  (сигнал бы доходил до приемника мгновенно), то угол прицеливания был бы равен  $\varphi_0 \approx \frac{vt}{L} = \frac{vt}{R_0} = \frac{vt}{Ct} = \frac{v}{C}$  (для малых углов).

Так как  $C \neq \infty$ , то угол прицеливания составит  $\varphi \approx \frac{2vt}{R_0} = \frac{2vt}{Ct} = 2 \frac{v}{C}$ .

То есть дополнительно вводится упреждение, равное  $\frac{v}{C}$ .

**Предположим, что источник излучения находится на Луне, а источник и приемник движутся в геоцентрической системе координат.**

Орбитальная скорость Луны равна 0.9 км/сек. Тогда отношение  $\frac{v}{C} = \frac{0.9}{3 \times 10^5} = 0.3 \times 10^{-5}$  и

угол прицеливания будет:  $\varphi \approx 0.6 \times 10^{-5}$  рад. и диаметр зоны прицеливания составит

$D \approx 0.6 \times 10^{-5} \times 3 \times 10^5 = 1.8$  км, то есть будет смещен на расстояние порядка 0.9 км от видимой точки прицеливания. Здесь нужно не забывать, что приемник на Земле тоже

движется за счет ее вращения вокруг оси со скоростью порядка 0.3 км/сек. И, если с Луны поступает сигнал, то за время пролета сигнала приемник сместится на  $\frac{3.8 \times 10^5}{3 \times 10^5} \times 0.3 = 0.38$

км. Так как Луна и Земля (вокруг оси) вращаются в одном направлении, то это смещение в некоторой степени скомпенсирует первое и общее смещение составит порядка 1.32 км.

Если источник находится на Земле, то нужно учитывать скорость вращения Земли вокруг оси, которая примерно равна 300 м/сек. Тогда отношение  $\frac{v}{C} = \frac{0.3}{3 \times 10^5} = 0.1 \times 10^{-5}$  и

угол прицеливания будет равен  $\varphi = 0.2 \times 10^{-5}$  рад. И величина смещения на Луне из за первого фактора (движения источника) составит порядка 0.6 км, в то время, как смещение за счет движения Луны по орбите составит порядка 1.14 км. Тогда общее смещение составит 0.54 км в другом направлении.

Теперь представим, что с Земли посылается луч лазера, который отражается на Землю от углового отражателя (если он, конечно, там есть). Тогда смещение центра лазерного пятна на Луне составит 0.54 км, а смещение отраженного луча на Земле составит 1.32 км.

Получается, что эти величины небольшие и, в данном случае, не могут существенно повлиять на прицеливание. Таким образом, прицеливание может быть осуществлено прямым визированием цели.

Теперь представим, что лазерный луч посылается с Земли на Марс и, отражаясь от углового отражателя возвращается на Землю. В данном случае нужно перейти к гелеоцентрической системе координат. Скорость движения Земли по орбите составляет 29.8 км/сек. Скорость движения Марса по орбите равна 24 км/сек.

Сигнал, отправленный с Земли будет иметь угловое смещение  $\varphi = 2 \frac{v}{C} = 2 \frac{29.8}{3 \times 10^5} \approx 2 \times 10^{-4}$

рад. Линейное смещение составит порядка  $75 \times 10^6 \times 2 \times 10^{-4} = 1.5 \times 10^4$  км. В то же время, линейное смещение приемника за счет движения Марса составит порядка

$\frac{75 \times 10^6}{3 \times 10^5} \times 24 = 2.50 \times 2.4 \times 10^3 = 0.6 \times 10^4$  км. Так как вторая величина частично

компенсирует первую, то суммарное смещение составит порядка  $0.9 \times 10^4$  км. Так как диаметр Марса равен  $6.8 \times 10^3$  км, то смещение прицеливания будет больше диаметра планеты. Таким образом, в случае лазерного луча могут быть проблемы с прицеливанием. Это не относится к радиолучу, чья диаграмма направленности намного шире.

Здесь не учитывался эффект Допплера, связанный с движением источника относительно приемника, но это отдельный вопрос.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С. Ландсберг, «Оптика», «Наука», Москва, 1976.