

Принцип эквивалентности и GPS .

L.Rimsha, V.Rimsha

E-mail: laimontas.rim@gmail.com

viktor@pasvalys.lt

Критика статьи N.Ashby, M.Weiss "Why there is no noon-midnight red shift in GPS "

1. Введение .

Если правилен принцип эквивалентности (ПЭ) , то в системе GPS не должно наблюдаться влияние однородного внешнего гравитационного поля других тел Солнечной системы, так как Земля свободно падает в гравитационном поле Солнца и других тел Солнечной системы . В статье [1] утверждается , что наблюдения полностью подтверждают ПЭ и объясняются причины этого обстоятельства . Мы далее попытаемся показать , что приводимые в этой статье доводы ошибочны и поэтому , возможно, ошибочен и сам ПЭ . Далее , только в приближении c^{-2} , рассматриваем две системы отсчета – барицентрическую систему отсчета Солнечной системы и свободно падающую в внешнем гравитационном поле невращающуюся геоцентрическую систему отсчета и мы делаем предположение, что сейчас все используемые формулы для барицентрической системы отсчета являются правильными .

2. Об смещении частоты сигналов системы GPS.

Сделаем сперва такое замечание - классический первого порядка продольный эффект Доплера (т.е. эффект порядка $\frac{V}{c}$) качественно отличается от гравитационного смещения частоты и релятивистского так называемого поперечного эффекта Доплера СТО . Причиной последних этих упомянутых двух эффектов является разный темп хода собственного времени (часов) источника и приемника сигналов в соответствующие моменты времени, причиной же классического эффекта Доплера первого порядка (и в оптике и в акустике) является то , что имеются разные

скорости источника и приемника сигналов в соответствующие моменты времени и этот эффект к тому же зависит от скорости сигнала (и тем самым зависит и от среды распространения сигнала, в отличии от гравитационного смещения частоты и релятивистского поперечного эффекта Доплера) [2] .

В [1] утверждается , что в GPS не наблюдается эффект полдень-полночь в случае рассмотрения смещении частоты сигналов, эффект который был бы если на темп хода часов системы GPS влияло бы однородное внешнее поле Солнца и что это однозначно указывает на соблюдение ПЭ . Нам кажется , что такое утверждение ошибочно, так как в системе GPS не наблюдается и эффект полдень-полночь точно такого же порядка (но с противоположным знаком) из-за того , что геоцентрическая система отсчета движется с ускорением (свободно падает с ускорением) , что должно привести в эффекте смещения частоты сигналов GPS к вкладу классического первого порядка эффекта Доплера .

Рассмотрим случай когда спутник GPS посылает сигнал наблюдателю на поверхности Земли . Обозначим вличины -

\vec{a}_E - ускорение свободного падения геоцентрической системы отсчета ,

\vec{r} - вектор положения приемника сигналов в барицентрической системе отсчета ,

\vec{r}_0 - вектор положения спутника GPS в барицентрической системе отсчета ,

\vec{v} - скорость наблюдателя на Земле относительно барицентрической системы отсчета в момент наблюдения сигнала ,

\vec{v}_0 - скорость спутника GPS относительно барицентрической системы отсчета в момент излучения сигнала ,

\vec{n} - единичный вектор по направлению сигнала в барицентрической системе отсчета ,

\vec{V}_{E0} - скорость геоцентрической системы отсчета (скорость геоцентра) относительно барицентрической системы отсчета в момент времени излучения сигнала ,

\vec{V}_E - скорость геоцентрической системы отсчета (скорость геоцентра) относительно барицентрической системы отсчета в момент наблюдения сигнала ,

\vec{V} - скорость наблюдателя на Земле относительно геоцентра в момент наблюдения сигнала ,

\vec{V}_0 - скорость спутника GPS относительно геоцентра в момент излучения сигнала .

Для классического продольного эффекта Доплера первого порядка в барицентрической системе отсчета пишем формулу

$$\left(\frac{\delta f}{f}\right)_{Dopler} \approx \frac{\vec{n}(\vec{v} - \vec{v}_0)}{c} \quad (1)$$

Так как геоцентрическая система отсчета движется с ускорением (свободно падает с ускорением), следует учесть, что за время распространения сигнала от спутника GPS до наблюдателя на Земле изменяется и сама скорость геоцентрической системы отсчета (скорость геоцентра) и поэтому в нашем приближении можно написать следующую формулу

$$\vec{v} - \vec{v}_0 \approx \vec{V} - \vec{V}_0 + \vec{V}_E - \vec{V}_{E0} \approx \vec{V} - \vec{V}_0 + \vec{a}_E \frac{|\vec{r} - \vec{r}_0|}{c} \quad (2)$$

и далее получаем

$$\left(\frac{\delta f}{f}\right)_{Dopler} \approx \frac{\vec{n}(\vec{V} - \vec{V}_0)}{c} + \frac{\vec{n}|\vec{r} - \vec{r}_0|\vec{a}_E}{c^2} = \frac{\vec{n}(\vec{V} - \vec{V}_0)}{c} + \frac{(\vec{r} - \vec{r}_0)\vec{a}_E}{c^2} \quad (3)$$

Нами рассмотрена эта задача более конкретно в [3] и показано , что в системе GPS , при рассмотрении смещения частоты сигналов , вклад этого классического первого порядка Доплера (вклад второго члена в (3)) в нашем приближении компенсирует вклад гравитационного смещения частоты внешнего однородного поля - т.е. в свободно падающей с ускорением в однородном внешнем гравитационном поле геоцентрической системе отсчета должно присутствовать это самое внешнее однородное гравитационное поле как физическая реальность, что нереально с точки зрения ПЭ . Тут возможна и аналогия с экспериментом Паунда-Рибки . В этом эксперименте доказательством существования гравитационного смещения частоты и гравитационного замедления времени является точно такая компенсация гравитационного смещения частоты при помощи классического первого порядка эффекта Доплера.

3. Об ходе часов системы GPS.

Согласно ПЭ , на ход (темп хода) часов в свободно падающей геоцентрической системе отсчета не влияет однородное гравитационное поле Солнца , а влияет только гравитационный потенциал приливных сил тел Солнечной системы и , как утверждается в [1], в случае свободно падающей системы отсчета само ускорение

свободного падения (или же это однородное гравитационное внешнее поле) присутствует только как фактор в эффекте относительности одновременности СТО и поэтому сам ход геоцентрического координатного не зависит от ускорения свободного падения (т.е. от однородного внешнего поля , например, Солнца) этой системы отсчета и поэтому и сам ход часов системы GPS (ход собственного времени этих часов) тоже не зависит от однородного гравитационного поля Солнца . Попытаемся далее показать, что такое утверждение не согласуется с принципами СТО .

Напишем трансформацию Лоренца СТО в стандартной форме (здесь $c = 1$)

$$T = \frac{t - Vx}{\sqrt{1 - V^2}} \quad X = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - V^2}} \quad (4)$$

Это в СТО должно быть верно и для дифференциалов

$$dT = \frac{dt - Vdx}{\sqrt{1 - V^2}} \quad dX = \frac{dx - Vdt}{\sqrt{1 - V^2}} \quad (5)$$

Если рассматривать два события в одной системе отсчета в один и тот же момент времени

$$dt = 0 \quad (6)$$

то в другой системе отсчета эти два события уже не будут одновременны из-за эффекта относительности одновременности СТО

$$dT = -\frac{Vdx}{\sqrt{1 - V^2}} \quad (7)$$

Если же рассматривать два события в одной и той же точке пространства в одной системе отсчета

$$dx = 0 \quad (8)$$

(т.е. это промежуток собственного времени неподвижных часов в этой системе отсчета) , то в другой же системе отсчета , из-за эффекта замедления времени СТО , получим

$$dT = \frac{dt}{\sqrt{1 - V^2}} \quad (9)$$

Конечно, этот эффект замедления времени СТО является взаимным, т.е. если использовать условие $dX = 0$ (рассматриваем ход собственного времени неподвижных часов в уже другой системе отсчета) , то из (5) получим

$$dx = Vdt \quad (10)$$

и далее получаем

$$dT = \sqrt{1-V^2} dt \quad (11)$$

Так как , согласно СТО , часы в одной системы отсчета не синхронизированны с точки зрения другой системы отсчета движущейся относительно ее , то поэтому , для того , чтоб судить об самом ходе времени (часов) в какой то другой системе отсчета и следует проследить за показаниями только одних и тех же часов в этой другой системе отсчета . Формулы (9) и (11) и показывают, что в СТО эффект замедления времени для систем отсчета является взаимным.

Выше использованные рассуждения применим при рассмотрении хода времени (часов) в барицентрической системе отсчета и в геоцентрической системе отсчета . Трансформация координатных времен в нашем приближении для этих двух систем отсчета следующая (резолюция IAU)

$$T = t - \frac{1}{c^2} \left[\int \left(\frac{V_E^2}{2} + U_E \right) dt - \vec{V}_E (\vec{x}_E - \vec{x}) \right] \quad (12)$$

Здесь

T - геоцентрическое координатное время,

t - барицентрическое координатное время,

\vec{V}_E - скорость геоцентра относительно барицентрической системы отсчета ,

U_E - гравитационный потенциал тел Солнечной системы в геоцентре ,

\vec{x}_E - вектор положения геоцентра в барицентрической системе отсчета ,

\vec{x} - вектор положения точки в барицентрической системе отсчета .

Эта трансформация (12) получена путем интегрирования трансформации для дифференциалов и тогда уже делается предположение о том , что второй член в (12) это вклад только исключительно эффекта относительности одновременности СТО , но если рассмотреть саму же исходную трансформацию для дифференциалов, то получается, что там присутствуют (в этом втором члене формулы (12)) вклады двух разных эффектов - относительности одновременности и разного хода времени в разных системах отсчета .

Для дифференциалов из формулы (12) следует уравнение

$$dT = dt - \frac{1}{c^2} \left(\frac{V_E^2}{2} + U_E \right) dt + \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{V}_E}{dt} (\vec{x}_E - \vec{x}) dt + \frac{1}{c^2} \vec{V}_E \frac{d\vec{x}_E}{dt} dt - \frac{1}{c^2} \vec{V}_E d\vec{x} \quad (13)$$

Прделаем те же действия с (12) , как и выше делали с трансформациями Лоренца для дифференциалов .

При условии

$$dt = 0 \quad (14)$$

сейчас получаем из (13)

$$dT = -\frac{1}{c^2} \vec{V}_E d\vec{x} \quad (15)$$

При условии

$$d\vec{x} = 0 \quad (16)$$

следует из (13)

$$dT = \left(1 + \frac{1}{c^2} \frac{V_E^2}{2} - \frac{1}{c^2} U_E + \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{V}_E}{dt} (\vec{x}_E - \vec{x}) \right) dt \quad (17)$$

и когда

$$d\vec{x} = \vec{V}_E dt \quad (18)$$

то из (13) следует такое равенство

$$dT = \left(1 - \frac{1}{c^2} \frac{V_E^2}{2} - \frac{1}{c^2} U_E dt + \frac{1}{c^2} \frac{d\vec{V}_E}{dt} (\vec{x}_E - \vec{x}) \right) dt \quad (19)$$

Сравниваем оба случая . Вклад относительности одновременности такой же в обоих наших случаях, взаимность замедления времени СТО точно такая же . Разница в том , что в случае геоцентрической и барицентрической систем отсчета на ход геоцентрического координатного времени влияет ускорение свободного падения Земли, так как на ход барицентрического координатного времени это фактор не влияет по самому определению этого барицентрического координатного времени . Если же ускорение свободного падения геоцентрической системы отсчета (а точнее однородное гравитационное внешнее поле) влияет на ход геоцентрического координатного времени , то тем самым оно влияет и на ход собственного время часов в геоцентрической системе отсчета . Это все следует из (17) и (19) .

Заметим, что в системе GPS наблюдаются такого же порядка как и возможное влияние однородного внешнего поля Солнца и пока не имеющие убедительного объяснения отклонения хода часов от ожидаемых значений , см., например , [4] .

[1] N.Ashby,M.Weiss <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1307/1307.6525.pdf>

[2] <http://www.astronet.ru/db/msg/1188278>

[3] L.Rimsha, V.Rimsha <http://vixra.org/abs/1508.0123>

[4] O.Montenbruck et al . http://acc.igs.org/clocks/prn25-period_DLR_gpssoln11.pdf