

## Ускоряются ли атомные часы на орбите спутника?

Виталий Соколов, Геннадий Соколов

Принято считать, что в системе GPS с высокой точностью подтверждается релятивистское «замедление времени». Одним из первых об этом заявил профессор Neil Ashby: «Система GPS, по сути, является воплощением взглядов Эйнштейна на пространство и время и не может функционировать должным образом без учета фундаментальных релятивистских принципов.... Основной принцип, по которому GPS-навигация работает — это простое приложение второго постулата специальной теории относительности, а именно постоянство скорости света» [1].

Многочисленные авторы, ссылаясь на его работы, уже более 20 лет п о в т о р я ю т :

- из-за того, что спутники GPS движутся со скоростью 3.874 км/сек, часы спутника GPS идут медленнее земных на  $8.349 \times 10^{-11}$  и поэтому отстают на 7214 наносекунды в день,
- из-за уменьшения гравитационного потенциала, часы спутника GPS идут быстрее земных на  $5.307 \times 10^{-10}$  и поэтому опережают их на 45850 наносекунды в день .

В сумме эти два эффекта дают  $45850 - 7214 = 38596$  нс в день. то есть часы спутника GPS за каждые 24 часа уходят вперёд на 38,636 микросекунды и в системе позиционирования это должно приводить к ошибке в 11,4 км.

И утверждают, что без учета постулата инвариантности часы спутников невозможно синхронизировать, что приёмник GPS определяет свои координаты только в результате сравнения времени на своих часах и времени, указанного в сигнале спутника, а эффект Саньяка — это вообще один из самых запутанных релятивистских эффектов, который может привести к ошибкам в сотни наносекунд. И как доказательства «замедления или ускорения времени» в часах спутников рассматриваются изменения частот сигналов после запуска спутников GPS [3].

Основными подтверждениями релятивистского «замедления времени» считаются эксперимент Айвса-Стилуэлла (1938) и эксперимент Паунда-Ребки (1960). Вывод о замедлении времени в этих экспериментах был сделан только потому, что волновая теория света в принципе не допускала никаких изменений частот в случае, если источник неподвижен относительно приёмника, тем более что скорость света - в соответствии с постулатом инвариантности - предполагалась постоянной по величине.

Со странным выводом о замедлении времени некоторые были не согласны, но другого объяснения изменения частот так и не было найдено. Так, Л. Бриллюэн, который признавал постулат инвариантности скорости света, теоретически доказал, что локальное время атомных часов в эксперименте Паунда-Ребки практически не зависит от столь малого изменения гравитационного потенциала, но объяснить, почему изменяется частота, он не смог: «Откровенно признаемся, мы не знаем, как это объяснить» [2].

**В наших работах [4-7] показано**, что принятая ещё в 17 веке волновая теория света эти эксперименты в принципе объяснить не могла, но в то же время они просто объясняются, если свет рассматривать не как волны в эфире, а как поток фотонов, каждый из которых имеет

собственную частоту и — вопреки постулату инвариантности — относительно приёмника может двигаться с разной скоростью.

**В эксперименте Айвса-Стилуэлла** в направлении, перпендикулярном направлению движения источника, идут только те фотоны, которые излучаются источником немного назад и после векторного сложения скоростей изменяют направление и движутся к приёмнику с **начальной** скоростью, меньшей  $C$ . Из-за уменьшения скорости частота фотонов уменьшается и это уменьшение частоты объясняется не мистическим «замедлением времени» в движущемся источнике, а только уменьшением скорости движения фотонов [5].

**Примечание:** Айвс был убежденным антирелятивистом (как и Луи Эссен, изобретатель цезиевых часов) и отказывался признать, что оказал решающую поддержку СТО [9].

**В эксперименте Паунда-Ребки** было обнаружено, что мёссбауэровский приёмник принимает сигнал частоты  $\nu_0$ , когда источник расположен рядом с ним, но возникает какое-то рассогласование и приём становится невозможным, когда приёмник расположен на высоте 22 м.

**Релятивисты объясняют** это рассогласование следующим образом.

Так как соответствии с волновой теорией частота излучения на пути от неподвижного источника к приёмнику изменяться не может, с изменением высоты может изменяться только приёмник: в соответствии с СТО, на высоте «время течёт быстрее», приёмник становится более высокочастотным и поэтому может принимать не  $\nu_0$ , а более высокую частоту. И эксперимент показал, что приёмник действительно оказывается согласованным и принимает сигнал, если его с определённой скоростью приближать к источнику, так как в этом случае в соответствии с эффектом Доплера приёмник видит, что частота оказывается больше, чем  $\nu_0$ .

То есть, релятивисты утверждают: при переходе к более слабому гравитационному полю в излучении ничего не изменяется, а изменяется приёмник. И объясняют изменение приёмника тем, что на большей высоте «время течёт быстрее» и именно поэтому он становится более высокочастотным.

**Мы объясняем** эксперимент Паунда-Ребки так:

- источник излучает фотоны частоты  $\nu_0$ ,
- **в пустоте** фотоны движутся вверх с начальной скоростью  $C$ ,
- под действием гравитационного поля скорость их движения уменьшается,
- к приёмнику фотоны приходят со скоростью, меньшей  $C$ ,
- поэтому приёмник видит пониженную частоту и принять эти фотоны не может,
- приём сигнала становится возможным, если приёмник с постоянной скоростью двигаться навстречу фотонам, так как в этом случае фотоны частоты  $\nu_0$  встречаются с приёмником со скоростью  $C$  и приёмник видит частоту  $\nu_0$ .

Ситуация принципиально не изменяется из-за того, что фотоны на самом деле движутся не в пустоте, а **в воздухе**. Фотоны переизлучаются атомами воздуха, между переизлучениями движутся в пустоте с постоянной частотой и под действием гравитации уменьшают скорость движения. При каждом переизлучении частота фотонов уменьшается, а их скорость относительно переизлучающих атомов в момент переизлучения становится равной  $C$ .

Результатирующее уменьшение частоты фотонов оказывается таким же, как в случае, если бы они проходили путь от источника к приёмнику в пустоте.

Таким образом, приём сигнала в эксперименте Паунда-Ребки оказывается невозможным не потому, что на высоте «время течёт быстрее» и приёмник становится более высокочастотным, а потому, что уменьшается частота электромагнитного излучения: **скорость фотонов**, когда они удаляются от гравитирующей массы, **уменьшается** и приёмник вместо излучения частоты  $\nu_0$  видит излучение более низкой частоты [5].

### **В системе GPS :**

Система GPS, в которой спутники движутся достаточно быстро и гравитационное поле намного меньше, чем на поверхности Земли, рассматривается релятивистами как новое подтверждение эффектов «замедления времени». Так как частота сигналов, принимаемых со спутников, зависит от скорости спутника и высоты орбиты, релятивисты делают вывод:

- **к приёмнику на земле приходит сигнал пониженной частоты**, потому что атомные часы спутника GPS **замедляют** скорость хода из-за того, что движутся с орбитальной скоростью,
- **к приёмнику на земле приходит сигнал повышенной частоты**, потому что атомные часы спутника GPS **увеличивают** скорость хода и идут **быстрее** из-за уменьшения гравитационного потенциала
- **в результате** каждые 24 часа часы спутника **уходят вперёд** на **38,636** микросекунды

Частота принимаемых на земле сигналов на самом деле зависит от скорости движения и высоты орбиты спутника, но, как мы показали в работе [5], эти изменения объясняются на основе чисто классических представлений и не связаны с мифами теории относительности о «скоростном замедлении» или «гравитационном ускорении» часов спутника GPS.

Скорость движения спутника и высота его орбиты по-разному влияют на частоту электромагнитного сигнала и поэтому мы рассматриваем эти явления отдельно.

### **Из-за скорости движения спутника**

Если не введена никакая релятивистская поправка, атомные часы спутника GPS идут с той же скоростью, как и часы на земле. **Никакого скоростного «замедления времени» в часах спутника GPS нет** и они излучают сигнал на частоте **10.23 ГГц**, на которую были настроены до запуска на орбиту [5]. Но на пункт управления **приходит сигнал пониженной частоты**. Частота понижается не из-за того, что на орбите часы идут медленнее, а из-за того, что возникает поперечный эффект Доплера.

Спутник движется со скоростью **3.874 км/сек**, из-за поперечного эффекта частота в относительных величинах уменьшается на **8.349 257 e-11** и к пункту управления приходит сигнал пониженной на **0.854 Гц** частоты:  $10\,230\,000\,000 - 0.854 = 10\,229\,999\,999.146$  Гц.

Такое изменение частоты возникает из-за того, что в момент, когда фотоны выходят из передатчика, их скорость **C** векторно суммируется со скоростью спутника **3.874 км/сек** и оказывается на **0.025 м/сек** меньше, чем **C**, из-за чего частота сигнала пропорционально снижается на **0.854 Гц**.

То есть так же, как и в эксперименте Айвса-Стилуэлла, уменьшение частоты объясняется не мистическим «замедлением времени», а уменьшением скорости движения фотонов в момент выхода их из движущегося источника.

### Из-за изменения гравитации

Если не введена никакая релятивистская поправка, атомные часы спутника GPS идут с той же скоростью, как и часы на земле. Никакого гравитационного «ускорения времени» в часах спутника GPS нет и они излучают сигнал на частоте 10.23 ГГц, на которую были настроены до запуска на орбиту [3,5]. Но на пункт управления приходит сигнал повышенной частоты 10 230 000 005.5189 Гц. Частота повышается не из-за того, что на орбите часы идут быстрее, а из-за того, что фотоны в поле тяготения движутся ускоренно и увеличивают скорость движения.

Спутник движется на высоте 20 184 км, где гравитационное поле почти в 20 раз слабее, чем на поверхности Земли, и поэтому фотоны движутся с ускорением, изменяющимся от начального значения 0,565 м/сек<sup>2</sup> до 9, 8 м/сек<sup>2</sup>, как показано на Рис.1 в работе {5}. Если представить, что сигнал идёт в абсолютной пустоте, его скорость увеличивается на 0.161 734 м/сек и оказывается равной 299 792 458. 1617 м/сек, то есть оказывается больше чем  $C = 299 792 458$  м/сек.

Увеличение скорости движения фотонов на 0.161 734 м/сек (в относительных величинах 5.3948 e-10) приводит к пропорциональному увеличению частоты на 5.5189 Гц. Поэтому, если перед запуском на орбиту в атомные часы не ввести поправку, спутник излучает частоту 10.23 ГГц, но к приёмнику на Земле приходит сигнал повышенной частоты 10 230 000 005.5189 Гц.

Из-за того, что сигнал идёт не в пустоте, а в разреженной атмосфере, увеличивается время, за которое сигнал приходит от спутника, но частота увеличивается так же на 5.5189 Гц.

### Результирующее изменение частоты

Из-за скорости орбитального движения спутника частота сигнала понижается на 8.349 e-11, а из-за изменения гравитационного потенциала повышается на 5.3948 e-10. Результирующее изменение частоты в относительных единицах определяется разностью  $5.3948e-10 - 8.349e-11 = 4.45599e-10$  и равно  $10\ 230\ 000\ 000 \times 4.45599e-11 = 4.664\ 7777$  Гц

Таким образом, если в часы спутника коррекция не введена, вместо частоты 10 230 ГГц со спутника на пункт управления приходит частота 10 230 000 004.66 Гц, большая на 4.66 Гц и аналогично с пункта управления на спутник приходит частота 10 229 999 995.33 Гц, меньшая на 4.66 Гц

Перед запуском на орбиту в атомные часы спутника вводится поправка - они настраиваются на пониженную частоту частоту  $10\ 230\ 000\ 000 - 4.664\ 77 = 10\ 229\ 999\ 995.33$  Гц

Часы спутника GPS работают на частоте 10 229 999 995.33 Гц и на этой частоте спутник излучает сигнал. За время 0.067 сек, пока сигнал идёт от спутника к приёмнику на Земле, частота сигнала увеличивается на 4.66 Гц и все приёмники на земле получают частоту 10.23 ГГц.

Соответственно, пункт управления посылает к спутнику сигнал на частоте 10.23 ГГц, пока сигнал идёт к спутнику, частота сигнала уменьшается до 10 229 999 995.33 Гц и спутник принимает этот сигнал.

Это понижение частоты часов спутника на 4.66 Гц называют **релятивистской поправкой**, но, **как мы понимаем**, эта поправка к фантазиям о «замедлении времени» не имеет никакого отношения и вводится в часы спутника GPS только для удобства связи.

Релятивисты утверждают, что без введения этой поправки часы спутника GPS за каждые 24 часа **уходят вперёд** на **38,636** микросекунды, и особо подчёркивают, что в системе позиционирования это должно приводить к огромной ошибке в **11,4 км**.

Но что означает «часы **уходят вперёд**»? По отношению к земным часам?

Во-первых, если все часы спутников строго синхронизированы и одинаково уходят вперёд, координаты приёмника так же точно определяются по разности времён прихода сигналов от разных спутников (по меткам времени в сообщениях спутников получаются те же разности времён), то есть точность позиционирования не снижается. И где же эти **11,4 км**?

Во-вторых, если часы отстают или уходят вперёд, это легко проверить, сравнив их показания с другими часами. А ведь в системе GPS с её точнейшими атомными часами такая возможность есть: через каждые 12 часов спутник проходит над одним и тем же пунктом управления и у него можно спросить, какое время показывают его часы, и сравнить с точными часами. Если перед запуском поправка не введена, никакой разности не будет, и это докажет отсутствие «релятивистского ускорения времени».

Приведенные выше изменения частот в системе GPS получены классическими методами без использования лоренцевских преобразований или формул общей теории относительности. Эти изменения полностью совпадают с теми, что нам удалось найти в открытых публикациях, и это доказывает, что релятивистские расчёты и «замедления времени» к системе GPS никакого отношения не имеют и являются излишними.

Ссылки:

- 1 RELATIVITY AND THE GLOBAL POSITIONING SYSTEM Neil Ashby  
[http://webs.ftmc.uam.es/juancarlos.cuevas/Teaching/GPS\\_relativity.pdf](http://webs.ftmc.uam.es/juancarlos.cuevas/Teaching/GPS_relativity.pdf)
- 2 Л. Бриллюэн, Новый взгляд на теорию относительности. «Мир», Москва, 1972  
(пер. с англ. Leon Brillouin, Relativity reexamined, Academic Press, 1970)
- 3 Error analysis for the Global Positioning System  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Error\\_analysis\\_for\\_the\\_Global\\_Positioning\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Error_analysis_for_the_Global_Positioning_System)
- 4 Виталий Соколов, Геннадий Соколов Изменения частоты в сигналах спутников GPS  
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/8707>
- 5 Гравитационное смещение частоты и поперечный эффект Доплера в системе GPS  
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers/View/8351>
- 6 Эффект Саньяка в системе GPS  
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Relativity%20Theory/Download/8365>
- 7 Звездная абберация и поперечный эффект Доплера. Геннадий Соколов, Виталий Соколов  
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Astrophysics/Download/2002> 1988

- 8 Соколов Виталий, Соколов Геннадий, Космологическое Красное Смещение без расширения Вселенной (классическое объяснение)  
<https://www.gsjournal.net/Science-Journals/Research%20Papers-Relativity%20Theory/Download/7727>
- 9 GPS Neither Needs, nor Uses, Special Relativity  
<https://www.bernardlavenda.org/post/gps-neither-needs-nor-uses-special-relativity>