

Zdroj : <http://krejcir.blog.idnes.cz/c/427350/Co-nam-rikaji-satelity-GPS-o-teorii-relativity.html>

## Co nám říkají satelity GPS o teorii relativity

Satelity GPS jsou často prezentovány veřejnosti jako fantastický důkaz o platnosti Einsteinových teorií relativity. Realita je ovšem trochu jiná. Pokusím se vysvětlit, jak to se vztahem GPS a relativity je doopravdy.

K napsání tohoto článku mě inspiroval dnešní [článek](#) na podobné téma zde na TechNetu. Nadšení z článku, jsem se pokusil trochu zkrotit v diskusi, ale dočkal jsem se vesměs jen minusů. Je zajímavé, že někdo rozdává minusy u něčeho, co je naprosto zřejmé a dá se snadno ověřit. Myslím, že minusy nebyly rozdávány „za něco, za názor“, ale ( jak znám českou laickou veřejnost, často si agresori vyberou obět a plivou na ní soustavně na všech fórech a to mnoho let ) ; za názor ne, ale z nevraživosti „proti autorovi“ , názor jim často nevadí, ale autor ano... Asi si někteří lidé myslí, že ve vědě se dá pravda odhlasovat, jim nešlo o pravdu, o vědu, o slušnou polemiku, o protidůkazy, jim šlo o [atak proti autorovi](#)... asi jako se hlasuje o globálním oteplování.

Ale vraťme se zpět k satelitům. Pokud se k nim vyjadřuje nějaký relativistický nadšenec, dají se příspěvky shrnout do dvou skupin:

### 1. Satelity GPS dokazují platnost teorie relativity.

### 2. Systém GPS by bez teorie relativity nefungoval, případně by chyba určení polohy byla obrovská.

Pojďme si nejprve ve stručnosti zopakovat, co z relativity se u satelitů GPS používá, a pak se podíváme na ty dvě výše zmíněné teze. Systém GPS sestává z asi dvacítky satelitů kroužících kolem Země zhruba ve stejné výšce, po zhruba kruhových drahách, ale vzájemně různě nakloněných. Součástí systému jsou super přesné hodiny, které mají teoretickou odchylku asi 1 nanosekunda za den. **Upřesnil bych tuto řeč pana Krejčíře svou poznámkou : měl psát : odchylku vykazují stroj-hodiny, jsou-li ty hodiny konstrukčně nedokonalé,..** Protože se satelity pohybují vzhledem k Zemi nějakou rychlostí, plyne z STR (speciální teorie relativity), že hodiny na satelitu půjdou o něco pomaleji než na zemi. **Bohužel, je to omyl ! Hodiny-stroj-mechanismus ( byť s konstantní konstrukční vadou ) si nemůže dělat „minix-tyrnix“ sám co chce a tedy zpomalovat si či se předbíhat, hodiny ne, ale čas, ten ano, ten může plynout pomaleji nebo rychleji..,tento a podobný vadný výklad o zpomalování hodin se uvádí v 95% všech fyzikálních vědeckých pojednáních o STR, píše se a vypráví : že hodiny se zpomalují. Ne, nikoliv hodiny, ale čas !!!** Protože jsou zároveň v jisté výšce nad povrchem, kde je gravitační potenciál menší než na povrchu, plyne z OTR (obecná teorie relativity), že hodiny na satelitu půjdou o něco rychleji. **I tyto úvahy odvozené z OTR i z STR jsou nepřesné, a tudíž nesprávné. Bližší můj popis najdete na webu →**

[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g\\_034.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_034.doc)

[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g\\_058.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_058.doc)

[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h\\_102.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_102.doc)

[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h\\_103.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_103.jpg)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h\\_104.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/h/h_104.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i\\_232.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i_232.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i\\_233.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i_233.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa\\_027.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_027.doc)

Nyní stručně řeknu, že **čas** na tělese, např. raketě, ( která se pohybuje od nás, od pozorovatele a vyhodnocovatele informace z toho tělesa) **plyne stejným tempem jako zde dole na Zemi**. Ale signál, ( emg. vlny ), který k nám dorazí z rakety, přinese informaci *o jiném tempu plynutí času na tělese*, které je v pohybu ( pohybu i rovnoměrném i nerovnoměrném) než vykazují pozemní přesné hodiny ( konstrukční odchylku hodin na raketě i na Zemi zanedbáme). Informaci o jiném tempu plynutí času „tam“ ( oproti plynutí na Zemi ) musíme korigovat pomocí STR a OTR. Prostě **na raketě**, která by letěla rychlostí blízkou rychlosti světla, se tempo plynutí času nemění, ale my na Zem do naší pozorovatelný dostáváme z rakety informace, že se „na raketě“ čas zpomalil. Ne...informace je „pootočená“ dle výpočtu jak ukazuje STR. SZR není transformací ze soustavy do soustavy, ale je porovnáním dvou soustav které jsou vůči sobě pootočený a tedy i informace podléhají „pootočení“ → že čas se na raketě zpomaluje. Ne, na raketě běží čas stále původním tempem, jen my dostáváme informace, že čas na raketě jde pomaleji...., je to z důvodů „pootočených soustav“. Signál vyslaný z družice-satelitu je „potočený“ a nese informaci o zpomalení tempa plynutí času, což musíme korigovat podle STR, ale „na satelitu“ ke zpomalení času nedojde. Tuto logiku lze předvést na příkladu, že kdesi daleko ve Vesmíru, skoro na konci pozorovatelnosti, je kvasar a na něm je „pozorovatel“ který pozoruje naši sluneční soustavu a konkrétně Zemi a ten by také mohl tvrdit, že zde na Zemi čas plyne obrovsky zpomaleným tempem, protože „On“ pozoruje jak se Země od něj vzdaluje vysokou rychlostí blízkou r. světla... ; má právo tvrdit, že čas na Zemi se vůči němu zpomalil ? Ano, on to tak pozoruje, protože k Němu dorazil signál pootočený téměř o 90 stupňů a tedy i informace o toku času...

A protože je (údajně) důležité, aby **hodiny na satelitech byly dobře synchronizované s hodinami na zemském povrchu**, **jsou hodiny na satelitech (údajně) nastaveny tak**, aby tikaly o maličko pomaleji ano, toto „nastavení“ jiného tempa plynutí času ( malinké předbíhání se ) na satelitu vlastně kompenzuje ono faktické pootočení dvou soustav, soustavy satelitu a soustavy Země, respektive pozorovatele a tím pádem „vyrovňuje“ vzájemný chod času aby bylo stejné tempo...a tím kompenzovaly rychlejší plynutí času na satelitu - OTR zde převáží.

No, proč jsem napsal ta "údajně"? K tomu prvnímu se vrátím a to druhé jsem napsal proto, že se mi vlastně **nikde nepodařilo spolehlivě ověřit**, že ty hodiny jsou skutečně nastavené trochu jinak, ale po pravdě není moc důvod o tom pochybovat. **Nastavení hodin na satelitu, tj. jejich tempa plynutí musí být provedeno „konstrukčním řešením“**, protože nelze opravu udělat „vrácením“ natočení svou soustav...Záměrně jsem také neuváděl nějaké konkrétní hodnoty, v případě potřeby se k nim dostanu.

## 1. Satelity GPS dokazují platnost teorie relativity.

Tak toto tvrzení je z principu špatné. Jedině v matematice lze dokázat, že nějaké tvrzení platí. U ostatních vědních disciplín neexistuje v podstatě možnost dokázat, že nějaká hypotéza nebo teorie je správná. **Podle mě GPS opravdu dokazují „pootočení soustav“** dvou těles která se vůči sobě pohybují. ( rovnoměrným i zrychleným pohybem ) Důkaz pootočení soustav spočívá právě v tom, že musíme „narafořit konstrukční tikání hodin“ na satelitu tak aby toto tempo odlišné od pozemského tempa vyrovnalo ono pootočení soustav. Je to důkaz STR ( i

OTR ), protože lze toto pootočení prokázat právě výpočtem rozdílů plynutí času ( tam a tady ) Teorii je možné pouze vyvrátit, **pokud se nám podaří** provést experiment nebo pozorování, které danou teorii vyvrací. Pozorování či měření mohou teorii pouze podpořit, O.K. ... pozorujeme jiné tempo plynutí času na satelitu ač „na satelitu samém“ žádná změna tempa nenastala, to jen my tak pozorujeme, to jen mi o tom dostáváme informace které vyhodnocujeme, a ... a vyhodnocujeme podle STR čili dokazujeme pootočení soustav ale nikdy ne dokázat. Teorie zůstává v platnosti do té doby, dokud se nenajde něco, co je s ní v rozporu. Pak musí být nahrazena teorií jinou.

Co tedy přinášejí satelity GPS na podporu teorie relativity? Především poznatek, že dvoje hodiny, které na stejném místě jdou stejně, mohou na různých místech jít jinak. **Ne...ne...ne.** Vadné je autorovo vysvětlení. Stejně hodiny, stejné konstrukce tikají oboje stejným tempem i zde na Zemi i oboje jsou-li jedny na satelitu a druhé doma na Zemi....ale tím že satelit je vůči pozorovateli v pohybu, ( to platí i pro pohyb axiální i radiální ) tak jeden z těch dvou bude-li pasován do role pozorovatele, dostane informace z druhého tělesa, že na něm jde čas pomaleji. Jsou to „pootočené“ informace, protože jsou vzájemně pootočené soustavy. Informace říkají o zpomalování tempa plynutí času, ale k reálnému zpomalování nedošlo. To je ovšem poznatek, který už máme ověřený i ze zemského povrchu, takže nic zase tak moc přínosného. **Bohužel si fyzikové neuvědomují chybnou interpretaci STR** No a pak analýzy těch odchylek. Ty nám říkají, že korekce pro STR a OTR je více či méně správná, **korekce je správná, ale důvod „proč“, dosud nebyl správně podán... → pootáčení soustav : v tom spočívá relativita !!!, respektive to pak není „relativita“, ale fyzikální fakt jak se chová časoprostor, jak se křiví, ( pro stojícího pozorovatele ) když v něm letí těleso** jenže těch zdrojů **odchylek** je tam víc. Jednak samí atomové hodiny jsou náchylné k občasným **náhodným odchylkám**, pak jsou tu **vlivy excentricity drah** satelitů, pak **vliv tzv. Sagnacova** efektu, dále pak **vliv nehomogenity gravitačního pole** Země, a patrně ještě další. **Ano, jistě, ale tyto Odchytky“ nemají vliv na P R I N C I P** spíš naopak přispívají k dalším pootáčením soustav do výsledného pootočení... Takže ve skutečnosti jsou měření odchylek a jejich vyhodnocení poněkud složitější, detailnější rozbor v angličtině najdete v [tomto](#) článku, u kterého jsem si mimoděk vypůjčil i název.

Takže závěrem k tomuto - přesnější tvrzení by bylo, že pozorování satelitů GPS není s teorií relativity v rozporu. **O.K. ale chápání teorie je v rozporu s pravou poctivou příčinou-důvodem „proč“ zjišťuje pozorovatel kontrakce délek, dilatace času...důvod není v „transformacích“ ale v pootáčení soustav** Což, jak snad mnozí uznají, má poněkud daleko k tvrzení, že je to skvělý důkaz platnosti teorií relativity.

Pozorovací fakta jsou špatně vyhodnocována, např. zde mám o tom povídání, své názory :  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa\\_005.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_005.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa\\_017.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/aa/aa_017.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/b/b\\_062.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/b/b_062.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/b/b\\_067.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/b/b_067.doc)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c\\_013.jpg](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_013.jpg)  
[http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i\\_027.doc](http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/i/i_027.doc)

Tím pádem možná ani nedochází ke zrychlování rozpínání vesmíru, ale platí původní zpomalování podle paraboly...

## 2. Systém GPS by bez teorie relativity nefungoval, případně by chyba určení polohy byla obrovská.

Toto je skutečně zajímavý mýtus, šířený našimi odborníky. **Bez poznatku STR by nešlo „nastavit“ kompenzační konstrukční odchylku tiků hodin na satelitních hodinách, STR přesně popisuje pootáčení soustav a tím pádem i dilatace času a kontrakce délek** Zde je potřeba si povědět trochu víc o tom, jak GPS vlastně funguje. Především, většina lidí se domnívá, že GPS slouží pouze k určování polohy. Toto není pravda, GPS má poskytovat dvě služby - přesné určení polohy a přesné určení času. Jak to funguje?

Satelity vysílají na zemi v pravidelných intervalech informaci **o své** poloze v prostoru **a svém** lokálním čase. **Takže stop-stav polohy a času je „v soustavě rakety“ . Poté co tyto informace raketa v p o h y b u rovnoměrném i nerovnoměrném zašle na zem tj. do soustavy pozorovatele, se hodnoty „změní“, pozorovatel pozemský je vidí-snímá a vyhodnocuje jako jiné, jiné pozmeněné. Hodnoty se musí přepočítat podle Lorentzových „transformací“** GPS přijímač potřebuje dostat informaci alespoň od tří různých satelitů aby určil svoji polohu. Pokud by hodiny přijímače byly absolutně sesynchronizované s hodinami na satelitech, zjistí přijímač, jak dlouho putoval který signál a sestaví soustavu rovnic, z které získá svoji polohu. **Jenže problém je v tom, že je technicky neproveditelné, aby GPS přijímače měly takto přesné hodiny, proto se vybavují hodinami méně přesnými a rozdíl oproti času na satelitech je další neznámá, která se dopočítá. Podle LT přičemž fyzikálním důvodem „rozdílu“ hodnot je porovnání pootáčení soustav, to pak „ukazuje“ onu dilataci času...** Takže přijímač GPS potřebuje vidět minimálně 4 satelity.

Jak vlastní rovnice vypadají je poměrně názorně vysvětleno [zde](#) (až na tu odmocninu u Z, to je nejspíš chyba, ale na princip to nemá vliv). Skutečné rovnice, respektive procedura výpočtu, jsou o něco složitější, protože mohou zohledňovat další vlivy, na nutnost relativistických korekcí to však nemá vliv.

Z výše zmíněného tedy jasně plyne, že k určení polohy není synchronizace satelitních hodin s hodinami přijímače vůbec důležitá. Důležité je pouze, aby hodiny na satelitech byly vzájemně synchronizované. A to by byly v rámci možností jak s relativistickou korekcí, tak bez ní. A protože jak jsem už psal, vlivů, které **chod hodin na satelitech ovlivňují, je více, stejně se musí jednou za den synchronizovat s hodinami na zemi.**

**Větší význam má relativistická korekce pro určení přesného času. Tam je teoretická odchylka asi 39 mikrosekund za den.** Takže uživatel této služby by měl špatnou informaci o čase maximálně 40 mikrosekund, pak se hodiny stejně sesynchronizují. Stejně tato služba asi není moc využívána, jediný pro mne známý případ, kdy byla použita, bylo to slavné měření nadsvětelných neutrin. Jenže taky, tam šlo o rozdíl dvou rychle po sobě následujících událostí, takže by případný relativistický posun byl opět eliminován a výsledný údaj by byl na hranici přesnosti.

No a na závěr se pojďme podívat na dva relativisticky nadšené články, jejichž autoři od sebe očividně opisovali. Jeden je na [oslu](#) druhý napsal pan Vladimír [Wagner](#), pracovník akademie věd. Oba články svorně uvádějí žertovnou příhodu, kdy po spuštění první verze GPS američtí inženýři s hrůzou zjistili, že jim to vůbec nevychází a odchylky měření dosahují strašidelných rozměrů. Naštěstí jim záhy došlo, že za to může relativita, chybu opravili a hned se začalo dařit.

Na této příhodě jsou pikantní hned dvě věci. Jednak se mi o ní na anglicky psaných webech nepodařilo vyhledat jedinou zmínku. No dobrá, to ještě může znamenat, že neumím vyhledávat. Ovšem pak je tu druhá lahůdka - osel tvrdí, že za jednu hodinu se hodiny rozejdou o 1600 nanosekund, což představuje chybu v měření polohy 480 metrů. A protože víme, že korekce hodin měření polohy nijak neovlivňuje, zajímalo mě, kde si osel tuto hodnotu vycucal. A řešení je docela prosté - stačí vynásobit rychlost světla 1600 ns a dostaneme 480 metrů. Ona údajná chyba v měření polohy na zemi je ve skutečnosti dráha, kterou světlo urazí za rozdíl časů který se naakumuluje za jednu hodinu. **I průměrně vzdělanému orangutanovi musí být jasné**, že to v žádném případě nijak nesouvisí s případnou odchylkou určení polohy - i kdyby nakrásně nějaká existovala.

No oba zdroje pak svorně uvádějí, že odchylka od skutečné polohy amíkům vzrostla za den až na neuvěřitelných jedenáct kilometrů. No, stačí si spočítat, kolik je  $480 \times 24$  a jsme doma - žádná taková příhoda se nikdy nestala.

Takže závěrem - **Teorie relativity není v rozporu s pozorováním satelitů GPS a systém GPS by i bez relativity fungoval s téměř stejnou přesností.** Použití relativity v nastavení hodin na satelitech GPS se tak dá nazvat jen jakousi **drobnou kosmetickou úpravou**, která přináší mírné zlepšení v určení absolutního času. **Nic víc.**

Pavel Krejčíř | pátek 19. září 2014 23:10 | karma článku: 15,83 | přečteno: 751 x



[krejcir.blog.idNES.cz](http://krejcir.blog.idNES.cz)

Dopředu ani nevím, o čem budu psát. Nejspíš hlavně hlouposti, ale ze všeho nejvíc budu asi poučovat. Pokud nebude výslovně uvedeno jinak, není nutné brát mé články nějak vážně.

### O autorovi:

Nedávno mi bylo dvacet. Nadělal se kolem toho docela humbuk, později tomu začali říkat sametová revoluce. Teď se žívím jako programátor-guru s vedlejší funkcí "Viktor Čistič". To znamená, že likviduji škody, které napáchali jiní. Kdo likviduje škody po mně, to opravdu netuším. Jo, a v diskusích už nevystupuji pod nickem dolch, ani pod žádným jiným.

JN, 24.10.2014



Wagner Vladimír :

### Jaký je vliv relativistických oprav.

Podívejme se nyní na korekce, které lze spočítat pomocí Einsteinových teorií. V tomto případě jde o dvě třídy jevů. Jedny popisuje speciální teorie relativity a druhé pak obecná teorie relativity.

Speciální teorie relativity popisuje jev, kdy pozorujeme, že čas objektu, který se vůči nám pohybuje rovnoměrně přímočaře plyne pomaleji než náš. Jak už bylo zmíněno, je tento jev v částicové a jaderné fyzice běžný a bez jeho započtení by nefungoval žádný urychlovač na alespoň trochu větší energie. Na největších urychlovačích se částice pohybují rychlostmi jen zanedbatelně se lišícími od rychlosti světla. Například čas protonů, které budou urychlovány na největším právě dokončovaném urychlovači LHC plyne z našeho pohledu sedmtisíckrát pomaleji a podobně to bude u částic které vznikají při srážkách na něm. Například částice  $\Sigma^+$ , jejíž poločas rozpadu je v klidu  $0,6 \cdot 10^{-10}$ s, by za normálních okolností s nerelativistickou rychlostí urazila dráhu nejvýše pár centimetrů. Tyto částice vznikající s vysokou kinetickou energií při srážkách protonů na LHC urazí bez problémů i několik metrů. Družice systému GPS mají rychlosti o mnoho řádů menší, zhruba 12 000 km/h což je okolo 3300 m/s. V tomto případě je tak plynutí času na družici pouze o  $5 \cdot 10^{-9}$  % pomalejší. Přesto se však už za hodinu nasbírá rozdíl 180 ns, který znamená chybu v určení vzdálenosti přes padesát metrů.

Obecná teorie relativity předpokládá vliv gravitačního pole na tok času. Čím vyšší je potenciál gravitačního pole, tím pomaleji běží čas. Potenciál gravitačního pole klesá lineárně se vzdáleností. Při vzdálenosti družic zmíněných zhruba 20000 km od Země je tak gravitační potenciál v místě pozorovatele více než čtyřikrát větší než v místě družice. Běh času v místě pozorovatele tak zpomaluje více než v místě družice. Velikost tohoto rozdílu je zhruba  $50 \cdot 10^{-9}$  %. Je v opačném směru a větší než korekce ze speciální teorie relativity. Oba tyto vlivy se tak kompenzují jen částečně. Zůstatková hodnota je zhruba  $45 \cdot 10^{-9}$  % a za hodinu vede k rozdílu času zhruba 1600 ns a chybě v měřené vzdálenosti zhruba 480 m. Korekce se provádí tak, že se frekvence hodin na družici nastavuje na nižší hodnotu. Její hodiny tak běží pomaleji. Velikost dalších korekcí je už menší. Dráha družice není úplně kruhová, takže se vzdálenost družice od povrchu Země a gravitačního potenciál na dráze družice mění. Běh času na družici tak není rovnoměrný. Pro družici, která se pohybuje na dráze mezi vzdáleností od Země 19 848 km a 20 516 km (příklad družice vypuštěné 16.7.2000) je maximální velikost korekce zhruba 65 ns. Korekce na tuto odchylku se z historických důvodů provádí (započítává) u přijímacího zařízení. Ještě menší změny toku času jsou dány tím, že se družice pohybuje nerovnoměrným zakřiveným pohybem v gravitačním poli vytvářeném rotujícího objektem. Navíc se signál z družice pohybuje gravitačním polem, které není konstantní (směrem k Zemi roste). Nepohybuje se také přesně po „newtonovské“ přímce, ale po zakřivené dráze. Dále

také není tvar Země kulový a sférické není ani její gravitační pole. To vede k periodickým změnám toku času na družici. Tyto vlivy jsou mnohem menší než předchozí jmenované, pro určování polohy při požadované přesnosti do řádu centimetrů je lze zanedbat a zatím se nezapočítávají. Pokud se chcete podívat, jak se některé korekce na obecnou teorii relativity počítají, můžete je najít i s dalšími odkazy v článku Pavla Klepáče a Jana Horského v Československém časopisu pro fyziku číslo 5 z roku 2003.

Často se připomíná, že, když Američané 22. února 1978 vyslali na oběžné dráhy své první navigační satelity, atomové hodiny na jejich palubách nebyly vybaveny relativistickými korekcemi. Nastala katastrofa. „Superpřesné“ hodiny šly natolik „špatně“, že chyba při určování polohy už během jediného dne narostla na více než jedenáct kilometrů. Bylo potřeba zorganizovat potřebné korekce ze Země dodatečně. Při konstrukci dalších družic už se počítalo s tím, že při dané rychlosti a vzdálenosti od Země jdou hodiny prostě jinak než na Zemi.

---

## Přesná GPS musí počítat se zpomalením i zrychlením času

V těchto řádech najednou přichází ke slovu i nepatrné zkreslení, které vzniká v důsledku relativistických efektů. Jeden z podrobných rozborů této odchylky nabídli v roce 1997 američtí vědci Marc Weiss a Neil Ashby na [konferenci](#) zabývající se přesným měřením času ([PDF](#)). Popisují zejména [dva efekty](#) související s teorií relativity, které mají vliv na běh atomových hodin na palubě družice.

- **vysoká rychlost** - GPS satelity obíhají Zemi přibližně rychlostí 4 000 m/s (14 400 km/h), což způsobuje každý den **zpoždění přesných hodin o 7,214 mikrosekund**. Toto zpoždění předpovídá [Einsteinova speciální teorie relativity](#).
- **nižší působení gravitace** - tím, že satelity obíhají dále od Země, působí na ně gravitační pole naší planety méně. Proto zde čas ubíhá rychleji. Tento efekt, předpovězený [Einsteinovou obecnou teorií relativity](#), má za následek **zrychlení času oproti zemskému povrchu, a to přibližně o 45,85 mikrosekund**.

Součtem těchto dvou efektů dospěli vědci k číslu **38,64 mikrosekund denně, o které se atomové hodiny na palubě GPS satelitů předbíhají**. Aby se tomu zabránilo, je potřeba je nepatrně zpomalit. V praxi to znamená, že místo frekvence 10,23 MHz mají [impulzy](#) frekvenci nepřekných 10,22999999543 MHz.

---