

Přesnost atomových hodin, GPS a teorie relativity

Autor: Vladimír Wagner

„Kapitán tam zapsal své měření, vypočetl podle chronometru zeměpisnou délku a ještě ji překontroloval dříve změřenými hodinovými úhly. Potom mi řekl: „Pane Aronnaxi, jsme na 137 stupních 15 minutách západní délky.“

Jules Verne: Dvacet tisíc mil pod mořem.

K napsání tohoto příspěvku o globálním pozičním systému GPS jsem měl dvě inspirace. Občas se na mě obracejí lidé, kteří vyvracejí speciální nebo obecnou teorii relativity. (k těmto já nepatřím) Snažím se jim vysvětlit, že zvláště předpovědi speciální teorie relativity jsou dnes potvrzovány s fantastickou přesností. O.K. Proti „matematickému aparátu STR“ já nic nemám, ...pouze propaguji myšlenku, že ona famózní nezpochybnitelná STR ve své „fyzikální realitě, podstatě“ není „relativitou“ ale je p o o t á č e n í m soustav (soustavy pozorovatele a soustavy testovacího tělesa). Tímto názorem se nezmění teorie, ani matematická použití STR. Ve fyzice částic by bez uplatnění speciální teorie relativity nefungovalo téměř nic. Například žádný urychlovač na velmi vysoké energie. Korekce na obecnou teorii relativity (korekce na pootočení soustav je totožným korekčním aktem) je třeba zavést do pohybu sond putujících do vzdálených oblastí Sluneční soustavy. Řadu vesmírných procesů a jevů by bez ní nebylo možno vysvětlit a popsat. Ještě silnějším argumentem je zařízení, na které si může sáhnout kdokoliv a začíná ho běžně užívat velká část obyčejných lidí. Druhým důvodem byl současná obrovská módnost tohoto systému mezi mládeží. Syn letos maturuje a jako seminární práci si vybral právě popis tohoto systému. To mě vedlo k tomu, že jsem se pokusil přehledně shrnout základní fyzikální principy, které za GPS stojí a tak úzce souvisí se základními fundamenty moderní fyziky - kvantovou teorií, speciální teorií relativity a obecnou teorií relativity. Jsem si vědom toho, že takových popisů visí na internetu řada, takže je troufalé si myslet, že se mi podaří zplodit text jiný a zajímavý. Přesto doufám, že alespoň pár čtenářům by mohl oslovit.

Atomové hodiny a jejich přesnost

Nejdůležitější podmínkou pro vytvoření globálního pozičního systému GPS je možnost měřit čas s fantastickou přesností. Abychom se podívali na limity přesnosti této fyzikální veličiny, musíme si trochu osvětlit funkci v současnosti nejpřesnějšího časoměrného zařízení – atomových hodin. Existuje více typů tohoto přístroje, i když všechny jsou založeny na využití přechodu elektronu v atomovém obalu z jednoho stavu do jiného s vyšší energií. **V podstatě je to „mechanismus“, (my mu budeme říkat „hodiny“) který umí vyrábět posloupnost stále stejných časových intervalů, naprosto stejných a to po hodně dlouhou dobu, např. miliony let.** My se podíváme na jeden z nejpřesnějších. Jeho princip spočívá v **nastavení frekvence** oscilátoru, který budí mikrovlnné elektromagnetické pole, pomocí energie přechodu elektronu v atomovém obalu atomu ze stavu s nižší energií do stavu s energií vyšší. Využívá se toho, že díky kvantovým vlastnostem probíhá vyzařování a pohlcování elektromagnetického záření pouze v kvantech s přesně danou energií E , která souvisí s frekvencí f tohoto záření vztahem $E = hf$, kde h je tzv. Planckova konstanta. Přechod elektronu z jednoho stavu do vybuzeného stavu s o trochu vyšší energií je tak možný jedině pomocí elektromagnetického záření **s velice přesně danou frekvencí** (**opět to jsou jen a jen nastavené intervaly**) odpovídající požadované změně energie. S výhodou je možno využít také toho, že v každém z těchto dvou stavů má atom jiný moment hybnosti (spin), a tedy i jiný magnetický moment. V jednom je tedy slabším a v druhém silnějším magnetem. **O.K. schopnost lidského umu vyrobit přesné hodiny, ještě není objasněním relativity ani objasněním GPS. Jdeme dál.**

Atomové hodiny obsahují elektrický oscilátor, který v dutinovém rezonátoru budí elektromagnetické pole s danou frekvencí, v našem případě v mikrovlnné oblasti. Pro nastavení a kontrolu frekvence se využívá například atomů cesia nebo rubidia. U izotopu ^{133}Cs je použit přechod vyvolávaný zářením s frekvencí 9 192 631 770 Hz. Další důležitou součástí hodin je tedy zdroj par cesia. Atomy ze zdroje prochází magnetickým polem, které oddělí „slabé magnety“ od „silnějších“. Do dutiny rezonátoru, která je vyplněná elektromagnetickým polem s danou frekvencí, pošle jen

atomy, u kterých je elektron ve stavu s nižší energií. Pokud je frekvence oscilátoru budícího pole správná, přejdou elektrony v atomech pohlcením fotonů s odpovídající energií do stavu s vyšší energií. Za rezonátorem je opět magnet, který oddělí atomy v různém stavu a ty ve stavu s vyšší energií pošle na detektor. **Dobrá, máme hodiny...**

Pokud je frekvence správná, dopadá na detektor intenzivní tok atomů cesia. Pokud ne, není na detektoru signál a je třeba měnit frekvenci oscilátoru tak, abychom dostali signál co největší. Udržuje se tak velmi stabilní přesná frekvence a počítáním kmitů dostáváme velmi přesný časový údaj. Ještě lze připomenout, že frekvence přechodu elektronu v atomu cesia je tak přesně určena, že se využívá k definici sekundy.

Dobrá, máme hodiny...

V současné době je u nejlepších atomových hodin nejistota v určení času (**v soustavě pozemského pozorovatele**) jen o chlup větší než $0,1 \text{ ns} = 10^{-10} \text{ s}$ na 24 hodin. Relativní přesnost tak dosahuje hodnoty téměř 10^{-15} . **Jinak řečeno, za zhruba 15 miliónů let by se takové hodiny rozcházely nejvýše o jednu sekundu. (přesněji řečeno by se dvoje 'stejně' hodiny mezi sebou rozcházely až za 15 milionů let)**

Dosahovaná přesnost je závislá na tom, jak se u jednotlivých atomů liší energie (frekvence), které jsou potřebné k vybuzení elektronu z jednoho stavu do druhého. Jejich rozdíly **tedy 1 sekunda za 15 milionů let** jsou způsobeny dvěma fyzikálními jevy. **První** vzniká tím, že se každý atom náhodně pohybuje a u každého tak vzniká jiná velikost Dopplerova posuvu u jím pohlcovaného fotonu. Tepelný pohyb atomů je náhodný a rozdělení rychlostí závisí na teplotě plynu. Čím je vyšší teplota, tím jsou vyšší i rychlosti pohybu atomů. Dostáváme tak rozmazání hodnot frekvencí oscilátoru, které jsou potřebné pro excitaci atomů. Maximální počet vybuzených atomů dopadajících do detektoru dostáváme pro určité rozpětí frekvencí, které tak určuje i časovou nepřesnost hodin. **tedy 1 sekunda za 15 milionů let** Vliv tohoto rozmazání lze silně omezit co největším snížením teploty pracovního plynu. Proto je u nejpřesnějších atomových hodin snaha dosáhnout jeho co nejnižší teploty. **Dobrá, máme (nějaké až hodně přesné) hodiny...**

Druhý jev je kvantové povahy. Některé veličiny nelze určovat s libovolnou přesností současně. Takovými veličinami jsou také energie a čas. Excitovaný stav, do kterého se atom dostane, není stabilní. Elektron přechází po nějaké době do stavu s nižší

energií za současného vyzáření fotonu s energií, která se jeho přechodem uvolnila. Pravděpodobnost toho přechodu je přesně dána. I když tedy u jednotlivého atomu nelze říci, kdy u něj k přechodu dojde, u velkého souboru těchto atomů můžeme přesně říci, za jak dlouho přejde polovina z původního počtu vybuzených atomů do stavu s nižší energií. Tato doba se označuje jako poločas vybíjení daného stavu. Čili laicky : „se vybíjí“ hodiny a mění tak co ? mění intervaly časové ? Čím menší je poločas vybíjení, tím méně přesně je definována energie vybuzeného stavu. Součin poločasu a neurčitosti energie je úměrný Planckově konstantě, která se nám v článku už objevila. Čili mění tak co ?, mění intervaly časové ? s jakou chybou s jakou četností ? je to také 1 sekunda za 15 milionů let ? Popisovaná zákonitost se označuje jako Heisenbergův princip neurčitosti. I tento jev vede k rozmazání hodnoty frekvence oscilátoru, která dokáže vybudit atomy. mění intervaly časové ? s jakou chybou s jakou četností ? je to také 1 sekunda za 15 milionů let ? Doba života vybuzeného stavu a rozmazání velikosti jeho energie jsou však pro definovaný přechod daného druhu atomu přesně určeny a nelze je změnit. Musíme začít používat jiný přechod, případně i jiný druhu atomu. A tam máme už ty hodiny, ty nejpřesnější, anebo nemáme ?? A to takový, u kterého má vybuzený stav delší poločas vybíjení a tím i menší neurčitost v energii. Proto se v současnosti hledají nejvhodnější přechody v různých atomech. Čili aby chyba byla ještě menší než 1 sekunda za 15 milionů let ?? Pracuje se například se rtuťí či yterbiem. Vypracovávají se metody co největšího ochlazení souboru použitých atomů. Díky tomu by se mělo v nejbližší době dosáhnout až takové přesnosti atomových hodin, která by připustila za dobu rovnající se zhruba stáří vesmíru neurčitost ne větší než jednu sekundu. Dobrá ...ale chybí tu říci nahlas důvody „proč“ se hledají a musí najít tak přesné hodiny ? , k čemu ?

Do této chvíle nepadlo o GPS ani jedno slovo, zatím „se hledají“ hodiny.

Nutno poznamenat, že náš popis je zjednodušený a reálná konstrukce přesně fungujících atomových hodin je daleko složitější. Fyzikální principy určují pouze ideální případ a zmiňované dosažené přesnosti jsou dány konkrétním technickým provedením. O.K. máme mechanismu = hodiny, který „vyrábí“ přesný čas (posloupnost stejných intervalů) až k hodnotě přesnosti chyby 1 sekunda za 15 milionů let. O.K., co dál ? Některé typy atomových hodin mohou být velmi přesné v

kratší časové oblasti a jsou méně stabilní v dlouhodobějším provozu. U dalších to může být opačně. Proto se v časových laboratořích často používá více typů a vzájemným porovnáním se dosahuje ještě větší přesnosti měření času. **Dobrá, máme (nějaké až hodně přesné) hodiny...**

Princip GPS

Základním principem určení polohy pomocí GPS je **změření vzdáleností pozorovatele od tří (čtyř) družic**, které jsou vhodně umístěny na oběžných drahách okolo Země. V současném americkém systému (družice se pohybují na drahách okolo Země ve výšce zhruba 20 000 km s dobou oběhu 12 hodin) je pro plné využití potřeba 24 družic. Jsou rozmístěny tak, aby měl pozorovatel vždy možnost „vidět“ potřebný počet ve vhodné poloze. Poloha těchto družic je **velmi přesně známá a ta** **““““velmi““““ přesná poloha je jak „velmi“ přesná ?...; Když polovina článku se týkala** **totálně přesných hodin, tak nyní už nebudeme probírat v z d á l e n o s t i „jak“ jsou** **přesné ?, prostě jsou známé a dost ? (na půl vesmíru přesné ? taky ?, anebo jen na** **15 miliardtin centimetru ?)** a navíc nesou velmi přesné atomové hodiny. **O.K.**

Můžeme začít s vysvětlováním → Mohou udat přesný čas vyslání svého signálu. **Mohou** udat, anebo „musí“ ?!!!! udat ??? Vzdálenosti se tak určují **pomocí doby šíření signálu od družice k pozorovateli**. Čili : **má 4 satelity + jednoho pozemského příjemce signálů. Takže měříme** vzdálenosti „mezi“ družicemi a ještě vzdálenosti **každé družice od pozemského příjemce ? Ano, nebo ne ?** Pokud by měl velmi přesné hodiny i pozorovatel, získá informaci o okamžiku příchodu signálu pomocí nich a informaci o době vyslání získanou pomocí hodin na družici má zakódovanou ve vysílaném signálu. Příslušná vzdálenost pak udává poloměr koule se středem v místě polohy družice jejíž plocha určuje místa možné polohy pozorovatele. Průnikem ploch dvojice koulí definované polohami dvojice družic a jejich vzdálenostmi od pozorovatele je kružnice. Jestliže přidáme třetí družici a jí definovanou kouli protne s kružnicí získanou pomocí předchozích dvou družic, získáme dva body. Jednu z možných získaných poloh lze vyloučit díky předpokladu, že se pozorovatel vyskytuje na povrchu Země. **Dobrá, jsme v trigonometrii...; ale pojďme k „měření“** **těch vzdáleností...**

Tak by to fungovalo, jestliže by jak na družicích tak i u pozorovatele byly velmi přesné atomové hodiny. Ty jsou však nákladným a náročným zařízením, takže by nebylo praktické, aby je každý uživatel GPS (pozorovatel) měl. Využívá proto méně přesné křemíkové hodiny. A jak velká je chyba mezi „přesnými“ hodinami cesiovými a „nepřesnými“ křemíkovými ? (dokonce každý řidič má „jiné křemíkové hodinky“)

Oprava jeho nedostatečně přesného času se řeší pomocí další družice, jejíž polohu a čas vyslání signálu zná. Ta zavádí čtvrtou kouli. (signál „dělá“ kouli, že ?) Povrchy všech čtyř koulí by se měly protnout přesně v jednom bodě. Vlivem nepřesnosti v určení času pozorovatele tomu však není. Čili máme na 4 satelitech čtvero super-přesné hodiny (s chybou 1 sekundy za 15 milionů let) a páté hodinky u řidiče v automobilu, které mají chybu (jakou ?) Korekce, která posunem času pozorovatele docílí jenže....jenže...jenže si myslím, že ta „korekce“ hodinek řidiče se nedělá podle „relativity“, proč by ?, je to korekce pouze z vlivu nepřesných hodinek...; copak se nepřesné hodinky „korigují“ relativitou ? přesného protnutí všech čtyř koulí, korekce ano, ale nikoliv relativitou...umožní opravit čas pozorovatele a GPS je tak i zdrojem velmi přesného času pro něj. Pane Wagnere, opravdu se „špatné-nepřesné“ hodinky řidiče auta „korigují“ pomocí relativity ? ((((Vím, že odpověď nikdy nedostanu..., protože za 12 let, tj. od r. 2006, jsem položil stovky otázek na svých stránkách a naprosto nikdy jsem nedostal žádné vysvětlení či odpovědi !...protože lidovým myslitelům, kteří patří do Bohnic, jenom nevíme jak je tam dostat, že pane Kulhánku, se na otázky neodpovídá, bylo by to „pod důstojnost“ akademiků .))))

Určení přesné doby letu signálu

Přesnost, se kterou je třeba znát dobu letu signálu, je velmi dobře dána požadovanou přesností určení polohy a tedy i vzdálenosti. O.K. Vydeme z rychlosti světla, která je $300000000 \text{ m/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, a zhruba můžeme říci, že pro přesnost určení vzdálenosti v řádu 1 m potřebujeme čas určovat s řádovou přesností okolo $\text{ns} = 10^{-9} \text{ s}$. O.K. To znamená, že máme-li 3x super-přesné hodinky na třech satelitech a obyčejné nepřesné hodinky v automobilu, že budeme tu „nepřesnost tikání obou hodinek“ korigovat „relativisticky“ podle STR ??? Přeci kdyby Vesmír bůůůbec neměl ve svých realitách STR, tak bychom stejně opravovali chybu dvou hodinek a jejich

vzájemné různé tikání „nějakou korekci“ a nemusela by k té korekci existovat STR ...né ???, pane Wagner ? Proč opravovat dva mechanismy „relativitou“ ?? Proto je potřeba provádět řadu korekcí. Některé jsou přesně spočitatelné. Mezi ně patří již zmíněné korekce na speciální a obecnou teorii relativity. Jistě, ale tyto korekce přeci nekorigují „různě nepřesné mechanismy různých hodinek“ !?!? Podejte zprávu jak se „korigovalo“ vědecky mezi 4x super-přesnými hodinkami na 4 satelitech + pátými super-přesnými stejnými hodinkami na Zemi v laboratoři ??? korigovalo se relativisticky ? a proč ? Tam bych chápal zkoumání relativity, ale proč jí zavádět do reality „hodinek řidiče auta“ ???, to je nerelativistická chyba mechanismů hodinek !! Jiné závisí na vlastnostech prostředí, kterým se družice pohybuje, nebo se jím pohybuje signál zachycovaný pozorovatelem. Jistě, to jsou korekce „z vlivu prostředí“, ale kde máte tu STR ?? bez níž se „korekce“ neobejdou (!) Jde například o změnu rychlosti signálu ha-ha, ale to není korekce dle STR !!! při pohybu ionosférou a troposférou, jejichž vlastnosti se s časem mění. O.K. V tomto konkrétním případě se dá s výhodou využít toho, že budeme vysílat na dvou různých frekvencích. O.K., to není použití STR ! Rychlost rádiových vln s různou vlnovou délkou se při průchodu prostředím liší a s rozdílu jejich příchodu lze odhadnout stav ionosféry a provést příslušné korekce. Dráhu družice i přesnost určení doby šíření signálu ovlivňuje dále také tlak záření, různé šumy i další fyzikální jevy. Jistě, ale stále absentuje to použití STR Poznamenejme, že boj s těmito nepřesnostmi tento boj není bojem „o relativitu“ se stává velmi složitým právě na úrovni určení vzdálenosti s přesností zhruba v řádu metru. O.K. Výrazné zpřesnění určení polohy lze docílit srovnáním doby letu signálů k pozorovateli s dobou letu signálů ze stejných družic zaznamenaných pozemní stanicí s přesně známou polohou relativně blízko pozorovatele. A stále tu absentuje „korekce“ dle STR...asi není třeba (?) Do této chvíle výkladu p.Wagnera GPS nepotřebuje relativitu ! Metoda, které se říká diferenciální GPS, ale není to metoda vycházející z STR !!! umožňuje velmi silně potlačit vliv atmosférických a ionosferických podmínek na přesnost určení polohy.

Jaký je vliv relativistických oprav...no, a máme ve výkladu pana Wagnera tu stránku pátou z osmi. Konečně se dostáváme k podstatě a k názvu článku, že : bez STR by nebylo GPS. Takže vysvětlení pana Wagnera následuje →

Podívejme se nyní na korekce, které lze spočítat pomocí Einsteinových teorií. Ale, ale, bože. Nejdříve musíme vědět které „chyby“ vznikají a proč z vlivu relativity..., pak jejich opravy „spočítáním“, jsou už naprosto „triviální“. V tomto případě jde o dvě třídy jevů. Jedny popisuje speciální teorie relativity a druhé pak obecná teorie relativity. Ale, ale, ...relativita „na papíře“ popisuje jevy...; jistě !!, ale **realita vesmíru** předvádí jevy, které **mohou a nemusí být relativistické**, a které fyzikové považují za relativistické ...uvidíme jak to popíše pan Wagner.

Speciální teorie relativity popisuje jev, kdy pozorujeme, že čas objektu, který se vůči nám pohybuje rovnoměrně přímočaře plyne pomaleji než náš. První poznámka : ano, STR popisuje matematický jev....a my POZORUJEME, že se tento matematický jev nááááhodou hodí k vysvětlení dilatace času a k vysvětlení kontrakcí délek „pro těleso“, které se pohybuje rovnoměrně přímočaře, jak tu pan Wagner říká. STR totiž lze „napasovat“ nejen na matematický jev „relativity – kontrakcí délek a dilataci času, ale lze ho (jen jev) použít i na realitu fyzikální, tj. na pootáčení soustav !!!, i tam přesně sedí STR !!! Jak už bylo zmíněno, je tento jev v částicové a jaderné fyzice běžný (jev matematické relativity ale i fyzikální relativity o pootáčení soustav, které vysvětlí dokonale „pozorovací snímek“ v porovnání s „emisním snímkem soustavy emitenta“ ...ať už je to kvasar anebo mion v urychlovači. a bez jeho započtení by nefungoval žádný urychlovač na alespoň trochu větší energie. O.K. „snímač reality“ např. řidič automobilu na silnici a jeho GPS-systém musí korigovat „nasnímané“ hodnoty, protože ty emitované hodnoty jsou „posunuty-pootočený“ vůči soustavě „snímače“, korekce je nepochybně nutná, ale ...ale důvodem není „relativita“, ale pootáčení soustav, kdy „vyslané signály, intervaly atomových hodin“ ze satelitu jsou nepatrně jiné, neshodují se s intervaly „atomových hodin totožných na zemském povrchu“ a to právě díky „pootočení soustav“. Takže korekce, ano...., **důvod ale je jiný**. 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 v tom to je ten „naš antagonismus“, stále stejná situace dvou pohledů na jeden problém : examinátor vždy posuzuje dvě soustavy : „A“ soustavu pozorovaného objektu a to *v pohybu* (protony) , a soustavu „B“ a to jsme my-pozorovatel, který do své soustavy ““*v klidu*““ snímá údaje-informace mu zasláné ze soustavy „A“ ...a nyní examinátor **buď** „prohlásí“ výpočtem **anebo** fyzikálním

zjištěním opravdu fyzikální metodou, že : na protonech letících skoro-céééčkem běží čas 7 000x pomaleji. (((stále stejné jako „my a raketa“, anebo „my a kvasar“))) a podobně to bude u částic, které vznikají při srážkách na něm. Například částice Σ^+ , 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 jsou tedy „s energií“ anebo „v neklidu“ ? v „klidu“ částice urazí pár centimetrů a v „neklidu“ několik metrů, což není 7 000x víc... 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. autor jednou mele o „čase rozpadu=v klidu“, pak mele a srovnává vysokou „energií“, a nyní mele a srovnává „rychlost“ GPS. V tomto případě je tak plynutí času na družici pouze o $5 \cdot 10^{-9}$ % pomalejší. A znova a znova : „na družici“ jsou atomové hodiny H(1) stejné konstrukce jako atomové hodiny H(2) na Zemi, mezi sebou nemají odchylku, // tedy zanedbáme onu konstrukční chybu 1 sekundu za 15 milionů let // Takže t e m p o plynutí času „na družici“ a „na zemi“ je stejné, ale, ale, ale ten zakopaný pes je, že než k nám na zem z družice signál dorazí, tak se NĚCO mění-změní, tj. „snímaná“ hodnota tempa času „z družice“ se porovná s tempem plynutí času na hodinkách „na zemi“ a Z J I Š Ť U J E M E rozdíl, protože ty dvě soustavy se vůči sobě pootáčejí V tomto konkrétním případě je pootočení soustavy družice stálé vůči soustavě „Pozorovatele“ na Zemi. Je to stejné jako při příkladu s paradoxem dvojčat : na raketě, co letí velkou relativistickou rychlostí čas nedilatuje, (velitel rakety Petr stárne stejně rychle jako Pavel na Zemi), ale my, pan Pavel, dostáváme domů, do soustavy v klidu i n f o r m a c e o dilataci na raketě, a důvodem je pootáčení soustav, soustava B-rakety v pohybu a soustava A-pozorovatele na Zemi v klidu. Pozorovatel v základní soustavě „snímá“ pootočené hodnoty-informace z pootočené soustavy-B rakety. DTTO je s Hubbleho zákonem o rozpínání vesmíru, že my pozorujeme rudý posuv kvasaru, což prýýý se shoduje s tím, že : čím je kvasar dál od nás, tím rychleji se od nás pohybuje, a je to prýýý důkaz rozpínání vesmíru, axiálního rozpínání časoprostoru ...; ne, je to důkaz **rozbalování se** časoprostoru. Je to opět „princip pootáčení soustav“. - - - GPS je totéž v bleděmodrém. Přesto se však už za hodinu **nasbírání** O.K. rozdíl 180 ns, který znamená chybu v určení vzdálenosti přes padesát metrů. Ano, musí nastoupit trvalá korekce „tempa plynutí času A“ a „tempa plynutí času B“ protože obě soustavy

se >stále< vůči sobě pootáčí při letu GPS-družice kolem Země. Lze říci „abstrakci“, že kdyby lidstvo neznalo STR a mělo družici A-GPS a pozemní snímač B-GPS a zjistilo tu odchylku jen nějakým opakovaným měřením, tak by jí použilo na trvalou opravu-korekci i bez použití STR..., prostě je tu „konstantní chyba“ a tou se systém koriguje, a nemusíme ani vědět o existenci STR.

02 - Obecná teorie relativity předpokládá vliv gravitačního pole na tok času. O.K. Čím vyšší je intenzita gravitačního pole, tím pomaleji běží čas. (*já už mám kornatění mozku, ale připadá mě instinktivně, že je to obráceně...no, jsem unavený abych si to šel hledat a najít to jak to říká literatura. Uvidíme..*) Intenzita gravitačního pole klesá s kvadrátem vzdálenosti. (*dtto : není tato větička důkazem, že se autor výše spletl ?*) Při vzdálenosti družic zmíněných zhruba 20000 km od Země je tak gravitační pole v místě pozorovatele Pozemského více než šestnáctkrát intenzivnější než v místě družice. Čili od Země směrem k družici intenzita gr. pole klesá, 16x, a tedy (podle autora) se zpomaluje tempo plynutí času směrem od Země. Běh času v místě pozorovatele tak zpomaluje více než v místě družice. Sakra a...a zase tu autor mluví zmatečně. (*anebo já zmatečně chápu ?*) Tady říká autor, že čas na Zemi zpomaluje vůči družici...??? 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. Otázka : *kdyby se „na hodinách“ „na družici“ neudělala umělá korekce frekvence, tak by „na družici“ běžel čas rychleji než na Zemi ?* → tak to tu autor říká : *tou korekcí frekvence „uměle“ zpomalíme čas na družici, (říká autor).* - - Mě to přijde velmi divné. Velikost dalších korekcí je už menší. Dráha družice není úplně kruhová, takže se vzdálenost družice od povrchu Země a intenzita gravitačního pole 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.** Podle mě i OTR řeší ve své podstatě – jako při rošádě s STR – pootáčení soustav, tentokrát z pohledu „změny intenzity gravitačního pole“, což je vlastně „změna křivosti samotného časoprostoru“ v okolí hmotného tělesa (Země) Buď řešíme změny plynutí času **a)** v plochém nezakřiveném časoprostoru z vlivu pootáčení soustav (kde je jedna soustava v klidu druhá v pohybu) ; **anebo b)** řešíme (změny plynutí času) při „vzájemném nepootáčení soustav“ ovšem „uvnitř pole“ tj. při změnách křivosti časoprostoru mezi nimi, tj. změny intenzit gravitačního pole.... Toto je jeden problém, jeden jev, ve dvou fyzikálních „podobách-stavech“. 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.

Moderní fyzika nám vstupuje do života

I na příkladu GPS je vidět, jak nám moderní fyzika vstupuje do běžného života. A to formou teorií, jejichž nutnost bychom předpokládali jen v tak extrémních situacích, jako jsou černé díry či velké urychlovače částic. Už teď je spolehlivá funkce GPS jasným důkazem platnosti jak speciální tak i obecné teorie relativity. S nárůstem požadované přesnosti určování polohy porostou i požadavky na přesnost určení času a započtení dalších korekcí plynoucích z obecné teorie relativity. Běžný člověk se tak se zvětšujícím počtem aplikací využívajících přesný čas a polohu, které jsou a budou poskytovány globálními pozičními systémy, bude stále více vědomě či nevědomky setkávat s obecnou teorií relativity a svou každodenní činností ověřovat stále detailněji její platnost. Připomeňme, že také Evropa se chystá k vybudování navigačního systému na tomto principu, který by se měl jmenovat Galileo a měl by se připojit k americkému GPS a ruskému systému Glonass v roce 2010.

Autor: Vladimír Wagner

Datum: 19.01.2008 v 00:24

JN, kom. 26.02.2018

Poznámka : Ještě budu pracovat na jiných textech jiných autorů o GPS abych i tam pomocí těchto jiných textů ukazoval své vize a své argumentace „o pootáčení“ soustav.