



Program

Einsteinova relativita

Pavel Stránský

Černé díry a gravitační vlny

Jakub Juryšek

Původ hmoty a Higgsův boson

Daniel Scheirich

Čemu ani částicovní fyzici (zatím) nerozumí

Helena Kolečová



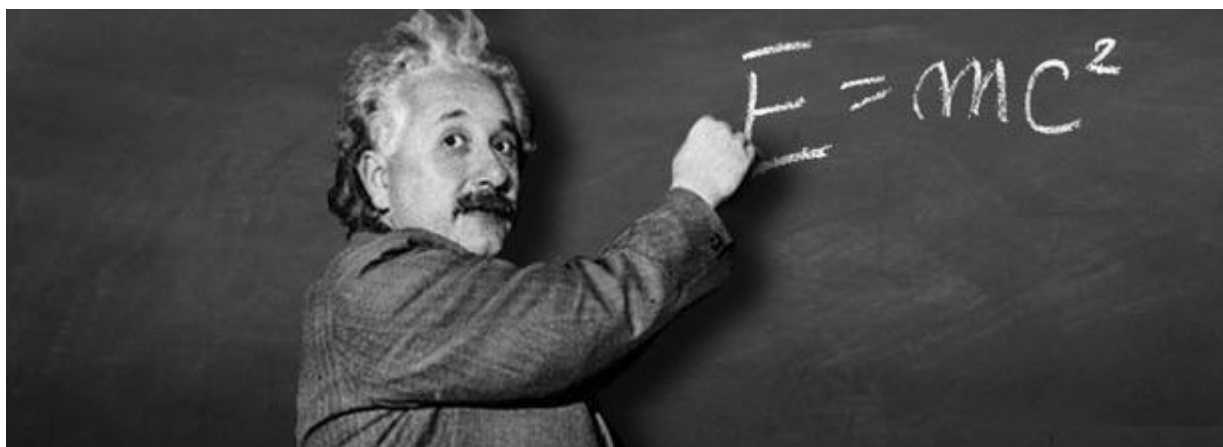


EINSTEINOVA RELATIVITA

Pavel Stránský

Ústav částicové a jaderné fyziky
Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

www.pavelstransky.cz



Aristoteles (4. století př.n.l.)

- Přirozeným stavem věcí je klid, nehybnost.
- Věci se pohybují díky silám.



Galileo Galilei (počátek 17. století)

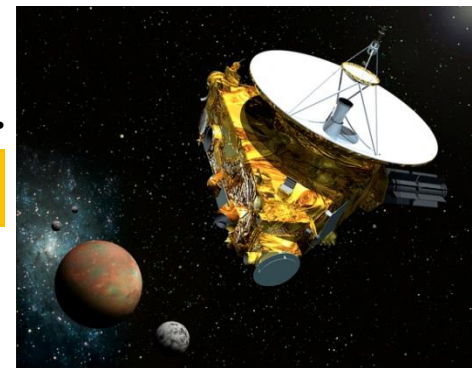
- Nebrzděný rovnoměrný přímočarý pohyb je trvalý, přirozený.
- Klid je jen speciální případ pohybu.
- Jsou to síly tření, které způsobují, že se pohyb zastaví.
- Nepůsobí - li síly ➡ inerciální vztažná soustava

Galileův princip relativity:

Všechny inerciální soustavy jsou rovnocenné.

Platí v nich stejné přírodní zákony.

Pohybují se vůči sobě rovnoměrně přímočaře.



sonda New Horizons na cestě k Plutu



Důsledek:

Rychlost a poloha jsou relativní:
Má smysl udávat jen ve vztahu k něčemu

Aristoteles (4. století př.n.l.)

- Přirozeným stavem věcí je klid, nehybnost.
- Věci se pohybují díky silám.



Galileo Galilei (počátek 17. století)

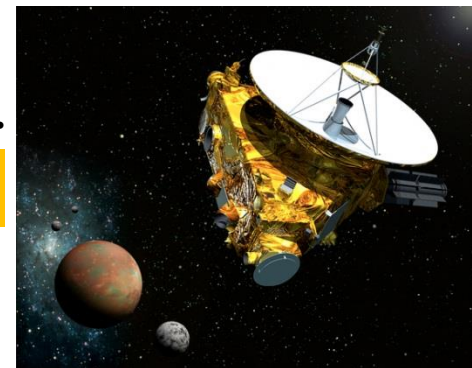
- Nebrzděný rovnoměrný přímočarý pohyb je trvalý, přirozený.
- Klid je jen speciální případ pohybu.
- Jsou to síly tření, které způsobují, že se pohyb zastaví.
- Nepůsobí - li síly ➡ inerciální vztažná soustava

Galileův princip relativity:

Všechny inerciální soustavy jsou rovnocenné.

Platí v nich stejné přírodní zákony.

Pohybují se vůči sobě rovnoměrně přímočaře.



sonda New Horizons na cestě k Plutu

Albert Einstein (počátek 20. století)

Princip konstantní rychlosti světla:

Světlo se ve všech inerciálních soustavách pohybuje stejnou konečnou rychlostí $c = 300\,000 \text{ km/s}$.

Experimentálně ukázáno

- Fizeau 1850
- Michelson-Morley 1880'

Aristoteles (4. století př.n.l.)

- Přirozeným stavem věcí je klid, nehybnost.
- Věci se pohybují díky silám.

Galileo Galilei (počátek 17. století)

- Nebrzděný rovnoměrný přímočarý pohyb je trvalý, přirozený.
- Klid je jen speciální případ pohybu.
- Jsou to síly tření, které způsobují, že se pohyb zastaví.
- Nepůsobí - li síly

inerciální vztažná soustava

Galileův princip relativity:

Všechny inerciální soustavy jsou rovnocenné.

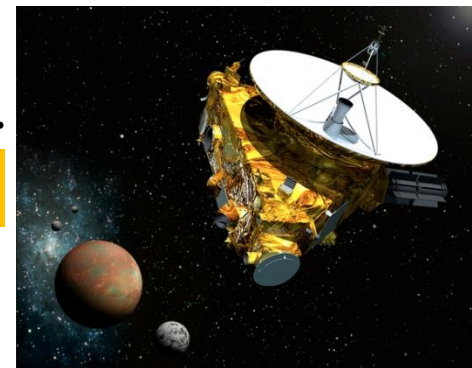
Platí v nich stejné přírodní zákony.

Pohybují se vůči sobě rovnoměrně přímočaře.

Albert Einstein (počátek 20. století)

Princip konstantní rychlosti světla:

Světlo se ve všech inerciálních soustavách pohybuje stejnou konečnou rychlostí $c = 300\,000 \text{ km/s}$.



sonda New Horizons na cestě k Plutu

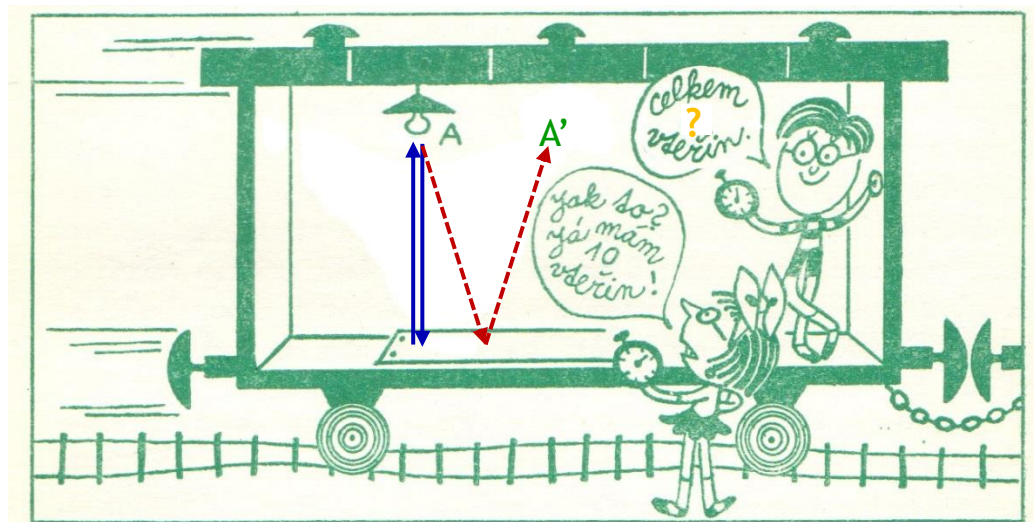
Experimentálně ukázáno

- Fizeau 1850
- Michelson-Morley 1880'

Čas

Einsteinův expres

- má obrovské rozměry a jede stálou rychlostí $v = 240\,000\text{ km/s}$



Kluk ve vlaku

$$\begin{aligned}\text{dráha světla} &= 2 \times \text{výška vagónu} \\ &= 1\,800\,000\text{ km}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{kluk naměří čas} &= \text{dráha světla} / c \\ &= 6\text{ vteřin}\end{aligned}$$

Dívka na nástupišti

dráha, kterou vlak urazí za 5 vteřin (1 200 000 km)

dráha, kterou světlo
urazí za 5 vteřin
(1 500 000 km)



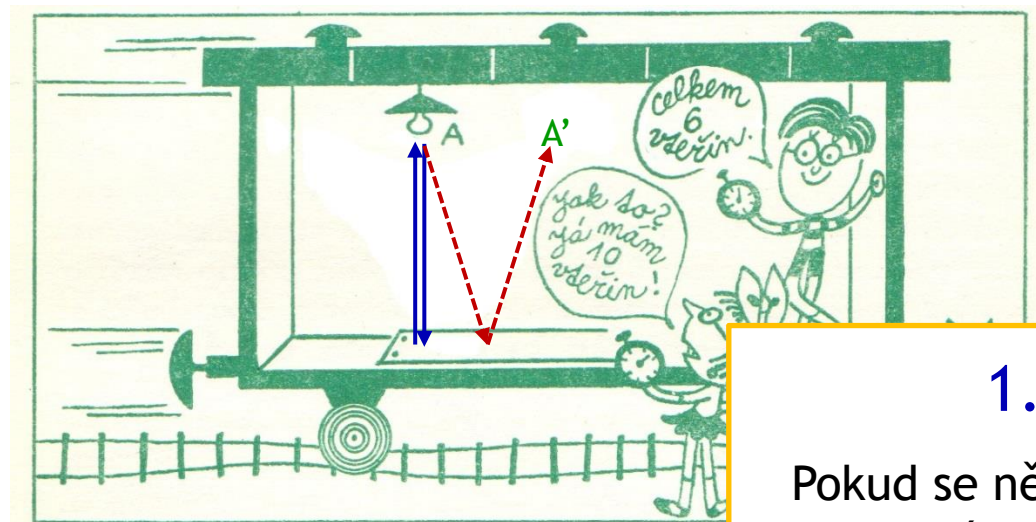
výška vagónu podle Pythagorovy věty:

$$h = \sqrt{1500000^2 - 1200000^2}\text{ km} = 900000\text{ km}$$

Čas

Einsteinův expres

- má obrovské rozměry a jede stálou rychlostí $v = 240\,000\text{ km/s}$



Kluk ve vlaku

dráha **světla** = 2 x výška vagónu
= 1 800 000 km

Dívka na nástupišti

dráha, kterou **vlak** urazí za 5 vteřin (1 200 000 km)

dráha, kterou **světlo**
urazí za 5 vteřin
(1 500 000 km)



výška vagónu

$$h = \sqrt{1500000^2}$$

1. Dilatace času

Pokud se nějaká věc vůči mně pohybuje rychlostí v , plyne pro ni čas pomaleji.

$$t_{\text{dívka}} = \gamma \cdot t_{\text{kluk}}$$

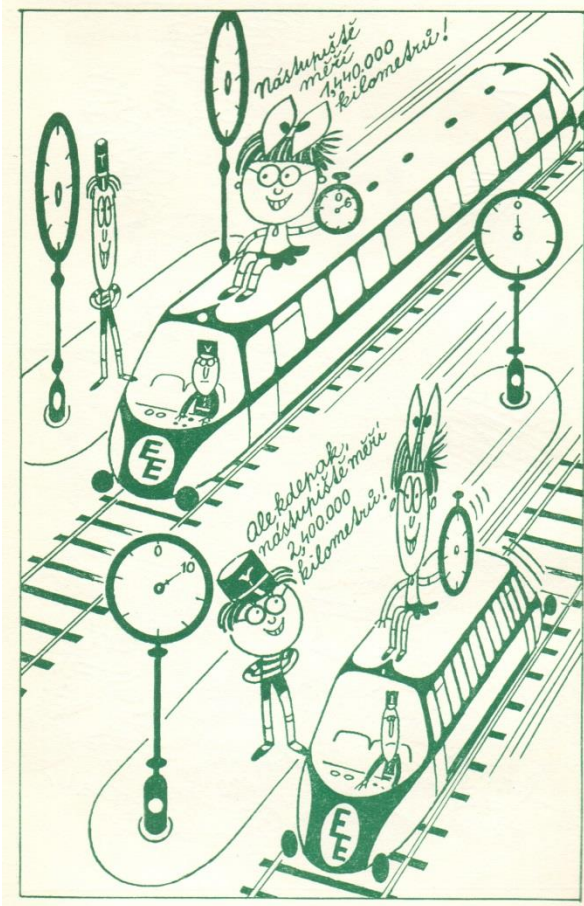
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq 1$$

Lorentzův faktor

Rozměry

Einsteinův expres

- má obrovské rozměry (délka 2 400 000 km) a míjí stejně dlouhé nástupiště
- jede stálou rychlostí $v = 240\,000\text{ km/s}$



Pohled kluka na nástupišti

- mezi vjezdem začátku a konce vlaku do nádraží uplyne ve vlaku 10 vteřin
- nádraží se však vůči vlaku pohybuje a na nástupišti uplyne jen 6 vteřin - vlak se klukovi bude jevit kratší

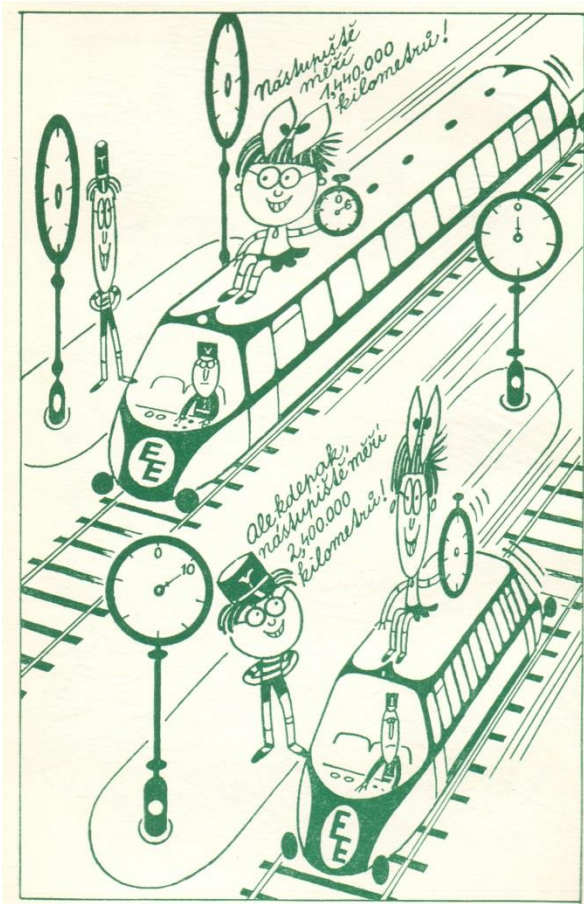
Pohled dívky ve vlaku

- podle údajů staničních hodin projede nástupiště od začátku do konce za 10 vteřin
- její hodiny však ukážou 6 vteřin - nástupiště, které se vůči ní pohybuje, uvidí kratší

Rozměry

Einsteinův expres

- má obrovské rozměry (délka 2 400 000 km) a míjí stejně dlouhé nástupiště
- jede stálou rychlostí $v = 240\,000\text{ km/s}$



Pohled kluka na nástupišti

- mezi vjezdem začátku a konce vlaku do nádraží uplyne ve vlaku 10 vteřin

2. Kontrakce délek

Pokud se nějaká věc vůči mně pohybuje rychlostí v , **jeví se mi kratší.**

$$l_{\text{kluk}} = \frac{l_{\text{dívka}}}{\gamma}$$

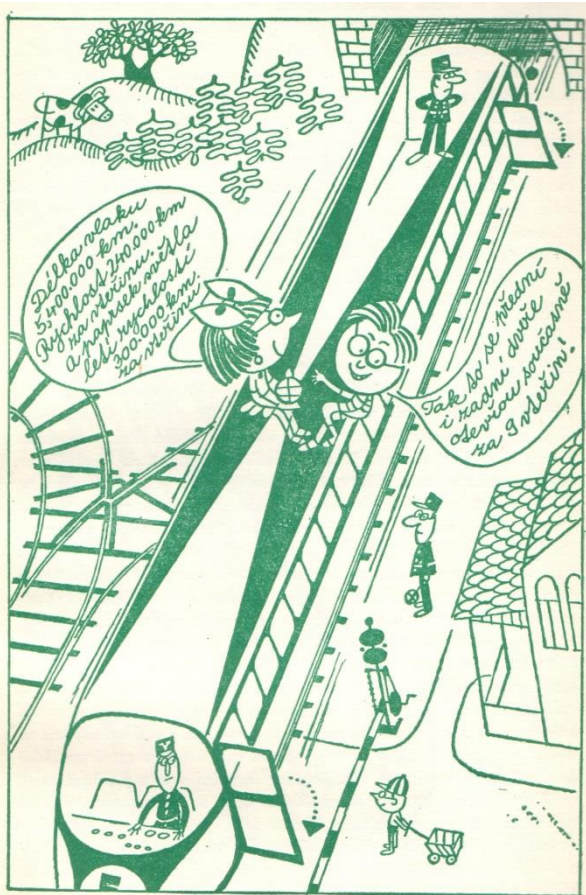
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq 1$$

Lorentzův faktor

Současnost

Einsteinův expres

- má extrémní rozměry (délka 5 400 000 km)
- jede stálou rychlostí $v = 240\,000$ km/s



Pozorování z vlaku

- **přední a zadní dveře se otevřou zároveň**

Pozorování z nástupiště

- vlak je kratší, měří jen 3 240 000 km
- k zadním dveřím světlo dolétne za 3 vteřiny
 - k předním dveřím dolétne za 27 vteřin
- **zadní dveře se otevřou o 24 vteřin dříve**



Současnost

Einsteinův expres

- má extrémní rozměry (délka 5 400 000 km)
- jede stálou rychlostí $v = 240\,000$ km/s

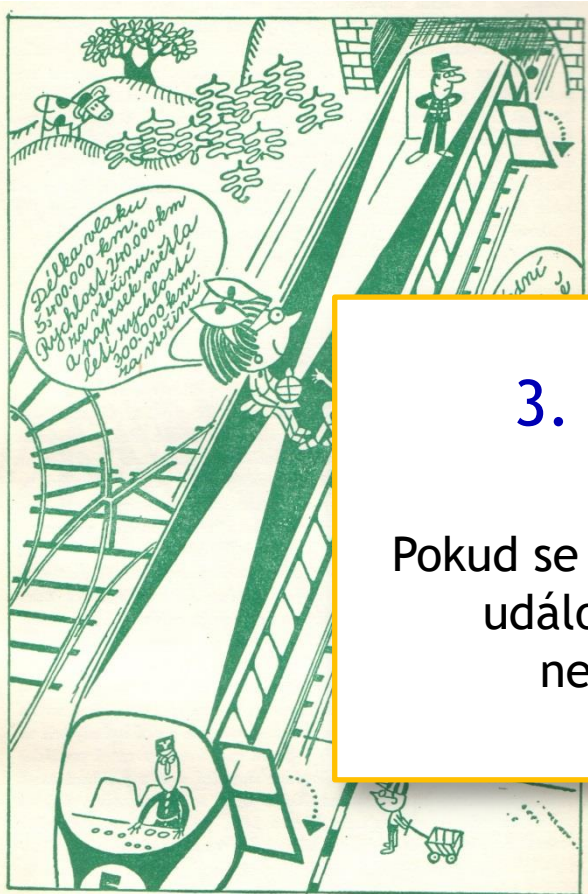
Pozorování z vlaku

- **přední a zadní dveře
se otevřou zároveň**

3. Relativita současnosti

Pokud se nějaká věc pohybuje vůči mně, pak události, které jsou pro ni současné, nemusejí být současné pro mě.

- **zadní dveře se otevřou
o 24 vteřin dříve**



Hmotnost



4. Souvislost mezi hmotností a energií

Pokud se nějaká věc pohybuje vůči mně, pak roste její hmotnost.

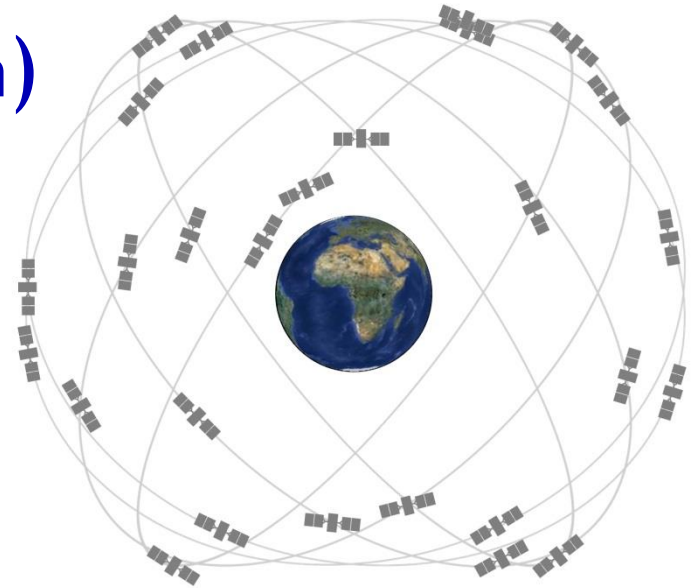
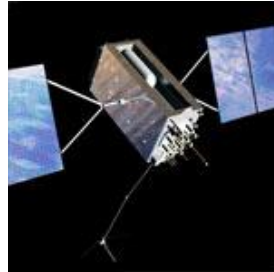
$$m = \gamma m_0 \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \geq 1$$

Lorentzův faktor

Celková energie věci o hmotnosti m je

$$E = mc^2$$

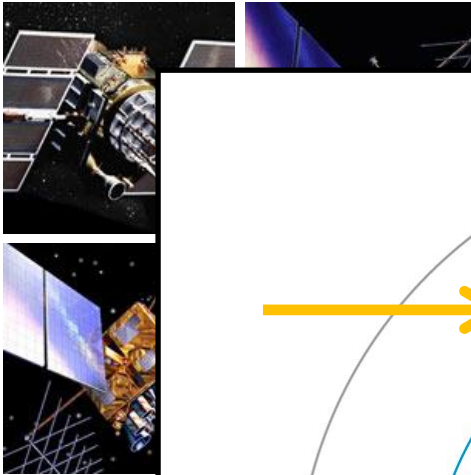
GPS (Global Positioning System)



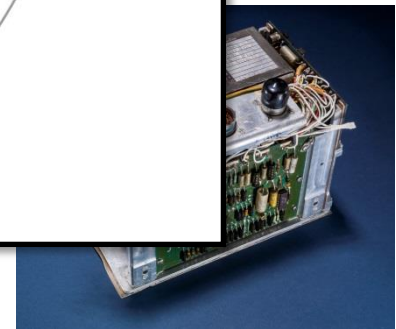
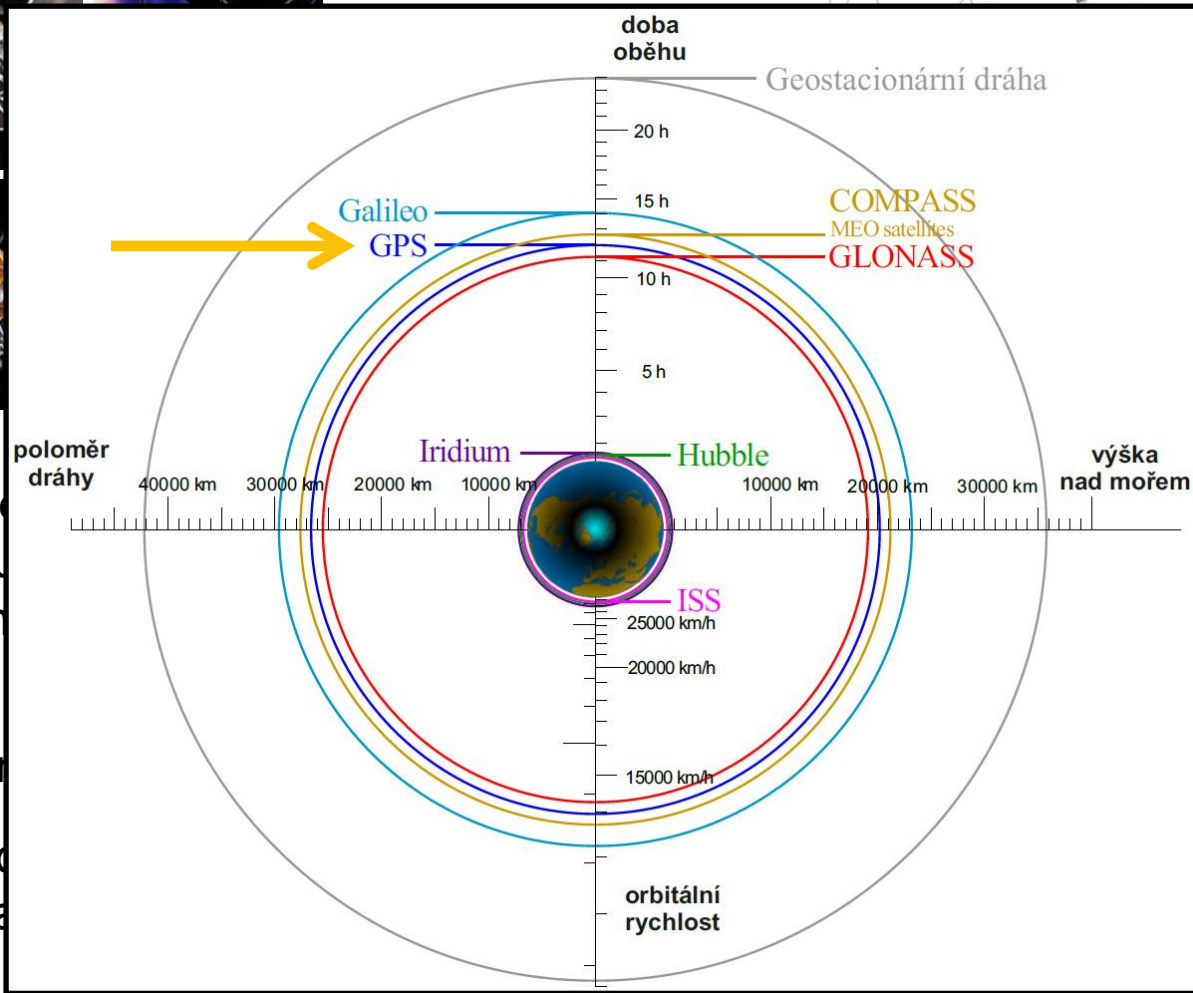
- **32 družic** obíhajících Zemi ve výšce cca **20 000 km** (v každou chvíli je na každém bodě Země vidět minimálně 9 družic)
- Rychlost družice vůči *nerotující* Zemi je cca **4 km/s** (každá družice Zemi oběhne 2x za den)
- V každé družici - **atomové hodiny**, které se za den opozdí nanejvýš o 1 nanosekundu



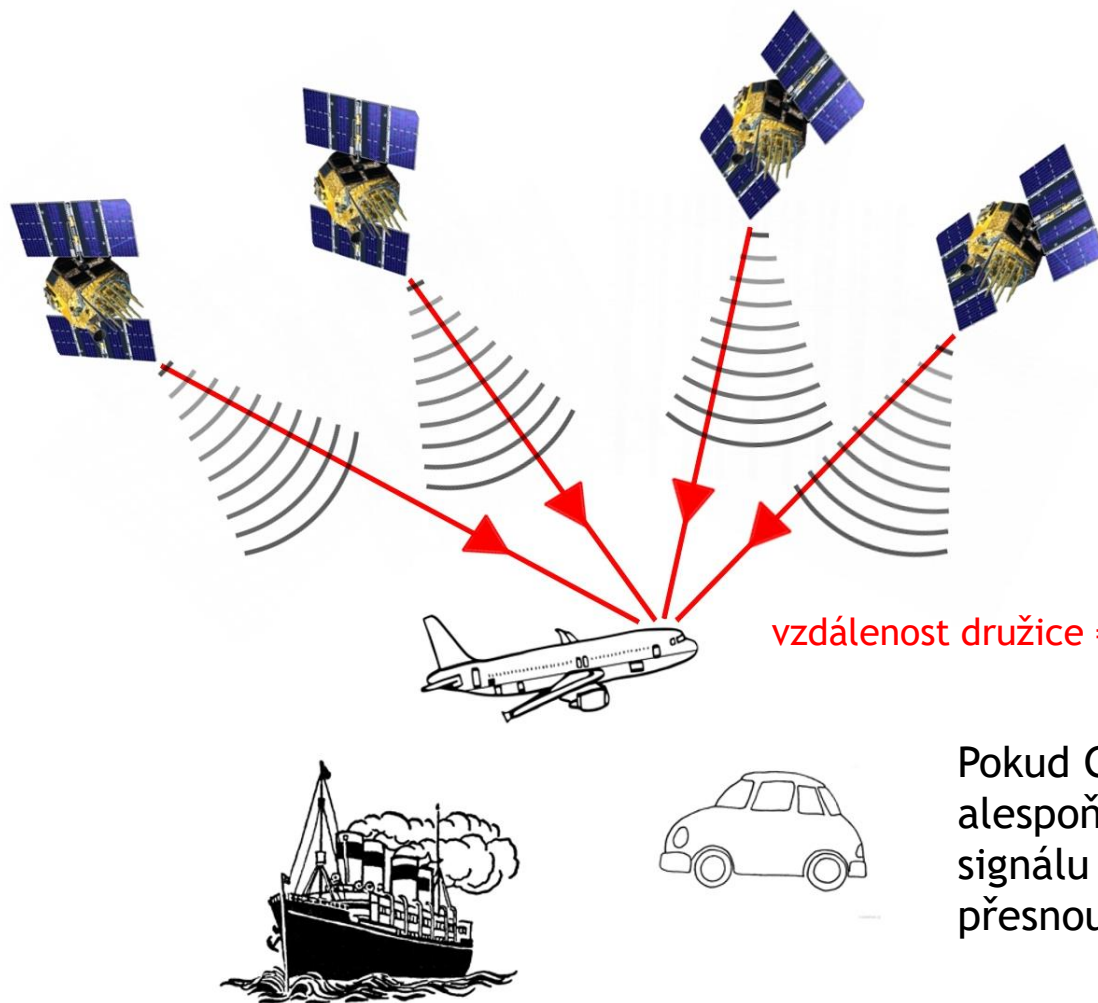
GPS (Global Positioning System)



- 32 družice (v každou minutu minimálně)
- Rychlost (každá dráha)
- V každé době opozdí na



Jak GPS funguje



Každá družice vysílá údaj o své poloze a o svém čase.

Signál se šíří rychlostí světla c k zemi.

vzdálenost družice = $c \times$ zpoždění signálu

Pokud GPS zařízení zachytí signál alespoň ze **čtyř družic**, ze zpoždění signálu vypočítá triangulací svou přesnou polohu.

1 ns chyba v měření času ➡ 30 cm chyba v měření polohy

Jak se projeví teorie relativity?

Efekty speciální relativity

- Družice se vůči nám na Zemi pohybují



čas v nich plyne **pomaleji** - **odchylka 7700 ns za den**

- Člověk na rovníku se pohybuje rychlostí cca 460 m/s - **odchylka 200 ns za den**

Efekt obecné relativity

- Na družice působí slabší gravitace než na pozorovatele na Zemi
- Navíc na ně působí odstředivá síla



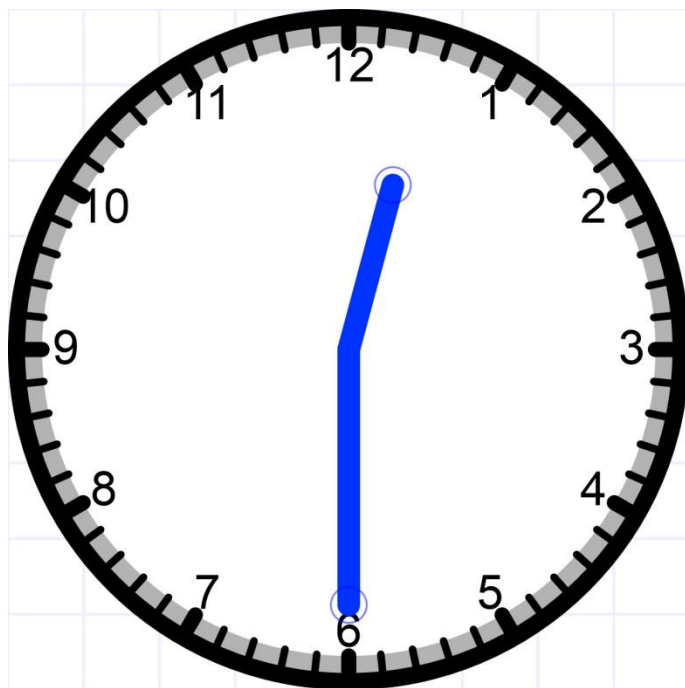
čas v nich plyne **rychleji** než na Zemi - **odchylka 46 000 ns za den**

Celková odchylka: 38 000 ns za den.
Přepočteno na vzdálenost to je víc jak 10 km!



Shrnutí - Speciální teorie relativity

(jen v systémech,
v nichž nepůsobí síly)



Shrnutí - Speciální teorie relativity

(jen v systémech,
v nichž nepůsobí síly)

$$v = 280\,000 \text{ km/s} = 94\% c$$



1. předměty se zplošťují
2. čas pro ně ubíhá pomaleji
3. těžknou



