

## 6.1.7 Paradoxy speciální teorie relativity, Obecná teorie relativity

---

**Předpoklady:** 6106

Teorie relativity zabraňuje nadsvětelným rychlostem třemi způsoby:

- záporné číslo pod odmocninou Lorentzova faktoru
- vzorec pro skládání rychlostí
- vzorec pro nárůst hmotnosti

Proč jsou nadsvětelné rychlosti pro teorii relativity tak nebezpečné?

Pokud by se nějaký signál mohl pohybovat nadsvětelnou rychlostí, někteří pozorovatelé by viděli, jak je tento signál přijat dříve než byl vyslán  $\Rightarrow$  zhroucení kauzality (základní princip fyziky: nemůže být následek dřív než jeho příčina)

$\Rightarrow$  nejen že není možné, aby se hmotný předmět pohyboval světelnou nebo nadsvětelnou rychlostí, ale dokonce se nemůže pohybovat nadsvětelnou rychlostí ani žádný signál (informace)

- nebude možné cestovat nadsvětelnými rychlostmi k jiným civilizacím, nebude možné s nimi ani komunikovat větší rychlostí než je rychlost světla (s nejbližší hvězdou si budeme vyměňovat vzkaz 9 let)
- světlo leží z Země ze Slunce 8 minut  $\Rightarrow$  kdyby v tomto okamžiku zmizelo dozvíme se to až za 8 minut, do té nic nepoznáme
- každá událost může ovlivnit pouze část vesmíru ve tvaru koule, poloměr této koule se zvětšuje rychlostí světla

Klasický dětský nápad:

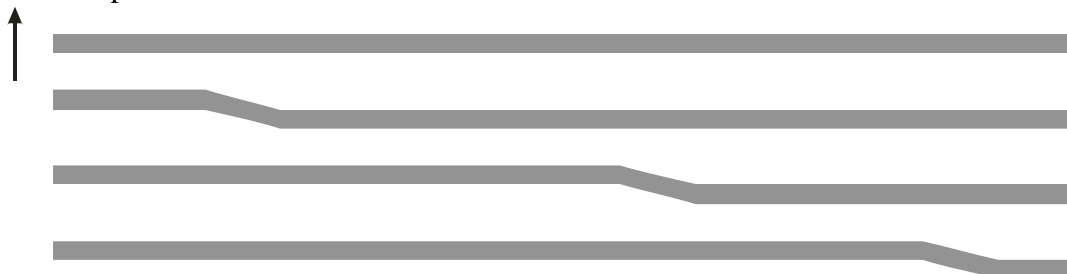
vyrobíme dlouhou železnou tyč od Země až ke mimozemšťanům, když pohneme naším koncem, pohne se ihned i konec u mimozemšťanů

takhle to nepůjde:

i železná tyč drží pohromadě díky elektrickým silám a každý elektrický signál se šíří maximálně rychlostí světla  $\Rightarrow$  trvalo by 4 roky než by se pohnul konec tyče u nejbližší hvězdy

$\Rightarrow$  **neexistuje dokonale tuhé těleso**

Máme velmi dlouhou tyč, když pohneme jedním koncem trvá chvíli než se o tom dozví i druhý konec a pohne se také



Tvrdá železná tyč se chová jako provázek, gumový had.

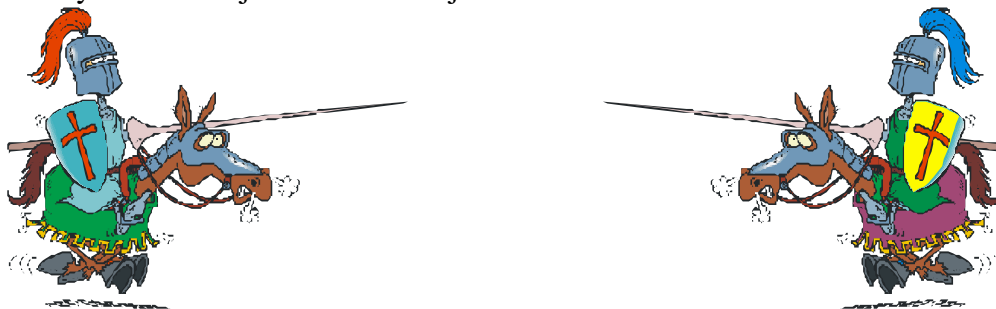
**Pedagogická poznámka:** Je nutné, aby studenti pochopili, že se kvůli konečné rychlosti šíření vzruchu chovají pevná tělesa jako ohebné provázky.

**Paradoxy speciální teorie relativity**

jevy se zdánlivě neřešitelnými rozpory

### Relativističtí rytíři

Dva rytíři na turnaji se snaží navzájem shodit dřevcem z koně

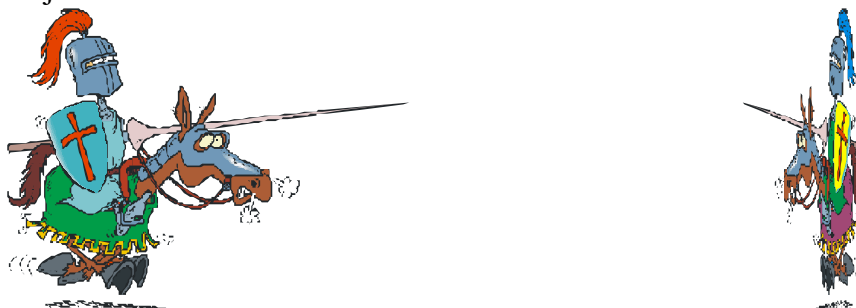


Oba dřevce jsou stejně dlouhé  $\Rightarrow$  nikdo nemá výhodu.

Jak se situace změní, když se rychlosti koní budou blížit rychlosti světla?

Pohled rytíře s červeným chocholem:

protivník se pohybuje obrovskou rychlostí  $\Rightarrow$  jeho dřevce se zkrátí a já ho snadno shodím, protože můj dřevce se nezkrátí



Pohled rytíře s modrým chocholem:

protivník se pohybuje obrovskou rychlostí  $\Rightarrow$  jeho dřevce se zkrátí a já ho snadno shodím, protože můj dřevce se nezkrátí



Oba nemohou mít pravdu najednou. Jak souboj proběhne?

Záleží na tom, kdo se dívá:

- princezna mezi diváky: oba rytíři jsou stejně zkrácení a oba se shodí najednou
- rytíř s červeným chocholem: soupeř je zkrácený, já ho dřevcem shodím, ale než se to dozví konec jeho dřevce, shodí mě z koně
- rytíř s modrým chocholem: soupeř je zkrácený, já ho dřevcem shodím, ale než se to dozví konec jeho dřevce, shodí mě z koně

Kdyby některý z rytířů ovládal teorii relativity, mohl by si spočítat, kdy má uhnout, aby se to jeho dřevce nestihl dozvědět a shodil soupeře a soupeřův dřevce ho nestihl trefit

### Šílený závorář

Šílený závorář obsluhuje závory chránící železniční přejezd. Má zajímavou úchylku. Snaží se spustit závory tak, aby projíždějící auta chytil mezi ně. Může se mu podařit chytit i auto, které je delší než vzdálenost mezi závorami?

Pokud auto pojede hodně rychle, rychlostí, která se blíží rychlosti světla, může se mu to podařit.

Auto se z jeho pohledu zkrátí a bude tak kratší než vzdálenost mezi závorami.

Problém: z hlediska auta to nefunguje. Řidič uvidí, že se zkrátí vzdálenost mezi závorami a aut se tam nemůže vejít tuplem.

Řešení je opět v relativitě současnosti:

Pohled závoráře: auto se pohybuje velmi rychle, tím se zkrátí. Závorář spustí ze svého pohledu najednou obě závoru a auto chytí (i když stojící by se mezi závoru nevešlo)

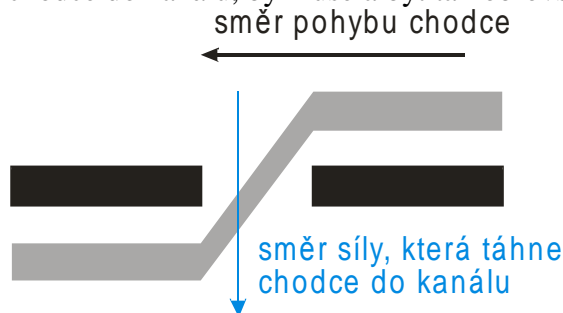
Pohled řidiče: auto je normální, vzdálenost mezi závorami se zkrátila, auto se do mezery nemůže vejít, závoru nepadají z pohledu řidiče najednou. Nejdříve padne závoru před přední částí auta, auto do závoru narazí. Přední částí auta brzdí, ale zadní část se o tom nedozví hned, pokračuje ještě chvíli v cestě, auto se slisovává, zadek se přiblíží k předku tak, že se vejde mezi závoru, zadní závoru zapadne a auto je chyceno.

### Rychlý muž na kanálové mříži

Kanály jsou osazeny mříží. Správně by měly být mezery kolmé na směr jízdy, aby do kanálu někomu nezapadlo kolo. Ale i takto postavený kanál může být nebezpečný. Pokud některý chodec půjde příliš rychle z hlediska kanálu se zkrátí a může propadnout dovnitř.

Jak vysvětlíme situaci z hlediska chodce?

Zkrátí se díra v kanálu a chodec se do ní nemůže vejít. Síla, která by mohla vtáhnout zkráceného chodce do kanálu, by musela být tak obrovská, že by chodce ohnula jako gumu.



### Pár poznámek k obecné teorii relativity

pokud se žádný signál nemůže šířit rychleji než světlo, nemůže být správná Newtonova teorie

gravitace. Ve vzorci  $F = \kappa \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$  nevystupuje čas  $\Rightarrow$  když se na Zemi pohne předmět, změní se

gravitační pole Země najednou v celém vesmíru (tato informace by se šířila nekonečnou rychlostí).

$\Rightarrow$  po formulaci speciální teorie relativity začal Einstein pracovat na relativistické teorii gravitace

= **obecné teorii relativity**

matematicky podstatně obtížnější, nepracuje s klasickou euklidovskou geometrií

prostor, ve kterém žijeme se zakřivuje v místech, kde se nachází hmota  $\Rightarrow$  zakřivuje se i dráha světla, ne vždy je nejkratší spojnicí dvou míst přímka

opět dva základní postuláty:

- všechny fyzikální zákony mají stejný tvar ve všech vztažných soustavách a lze je vyjádřit stejnými rovnicemi
- gravitační a setrvačné síly mají stejnou podstatu a platí pro ně stejné fyzikální zákony (ekvivalence setrvačné a gravitační hmotnosti)

Některé důsledky:

- pomalejší plynutí času v místech se silným gravitačním polem (nebo v místech, která zrychlují s velkým zrychlením)
- existence míst, ze kterých nemůže dostat ani světlo (černé díry)
- atd...

V současnosti je obecná teorie relativity nejlepším dostupným popisem světa na větších rozměrech

**Shrnutí:** Newtonovu gravitační teorii nahradil Einstein obecnou teorií relativity.