

Co objevil Einstein?

(Podstata STR)

U3V

Jan Obdržálek

2019-11-11

O čem je STR

Jakou realitu naměří přítel ve vlaku, když

- ✘ vím, jakou realitu naměřím já
- ✘ přítel jede vlakem kolem mne rychlostí w

Zatím (klasická mechanika)

Existuje absolutní čas, který plyne (všem) stále stejně (Newton) . Tedy:

- ✘ výbuchy na začátku A i konci Z vlaku současné pro mne budou současné i pro něj;
- ✘ doba jízdy pro něj t' je stejná jako moje t ;
- ✘ rychlosti naměří o svou rychlost (w) menší než já.

Já (nádraží): Já 0; on w ; jiný rychlík u

On: Já $-w$; on 0; jiný rychlík $u - w$

Platí pro $w \ll c$ ($\approx 300\,000$ km/s, *světelná rychlost*)

Co je nového

☹ Pro $w \approx c$ to je jinak

- ✘ velikost rychlosti světla ve vakuu je vždy c ;
 - + nezávisí na zdroji (Země, Slunce, Sirius);
 - + nezávisí na směru letu světla;
 - + je stejná pro mě i pro přítele; není o w menší.

Možný výklad:

- *kontrakce délek* (přítel i vlak se zkracují), ale dále i
- *dilatace času* (čas mu plyne pomaleji)

Einstein: ne vlastnost věcí a světla, ale **prostorochasu**

Prostorochas: všem je společná $v=c$, a nikoli čas ($v=\infty$)

Ověření:

Historická (kolem 1900):

- ✘ Michelson – Morley: $w = \pm 30$ km/s
- ✘ Lorentzova transformace v Maxwellových rovnicích

Novější

- ✘ 1964: piony s $w=0,999\ 975\ c$ dávají γ s c , nikoli $c+w$
- ✘ miony s poločasem $2,2\ \mu\text{s}$ letí (naši) dobu $60\ \mu\text{s}$
- ✘ 2010: Hafele – Keating: atomové hodiny při letu kolem Země stárnou oproti stojícím méně; klasicky 0 ns, STR+OTR (246 ± 3) ns, pokus (230 ± 20) ns.

Podstata STR: předpokládáme, že

- *Stejné zákony* pro mne S i pro přítele S'
- *Rychlost c* je pro nás oba *stejná*, nehledě na w
(to je *experimentální fakt* – příčina, ne důsledek STR)

Důsledky STR

- Dva výbuchy A, Z: $t_A = t_Z$, ale $t'_A < t'_Z$
- Délka vlaku: $l' > l$ (já vidím jeho vlak kratší, než on sám)
- Doba cesty: $t' < t$ (jemu plyne čas pomaleji než mně)
- Rychlost u jiného vlaku: $u' \neq u \pm w$
- vždy je $u < c$, $u' < c$; $u' = (u \pm w) / (1 \pm uw/c^2)$

Jak to popsat bez matematiky?

Graficky!

1D pohyb „koleje“ (beze srážek)

Zavedeme pojmy

✘ **současnost:** $t_A = t_B$ (události A, B ve 3 ráno)

✘ **soumístnost:** $x_A = x_B$ (kafe u 1. stolku)

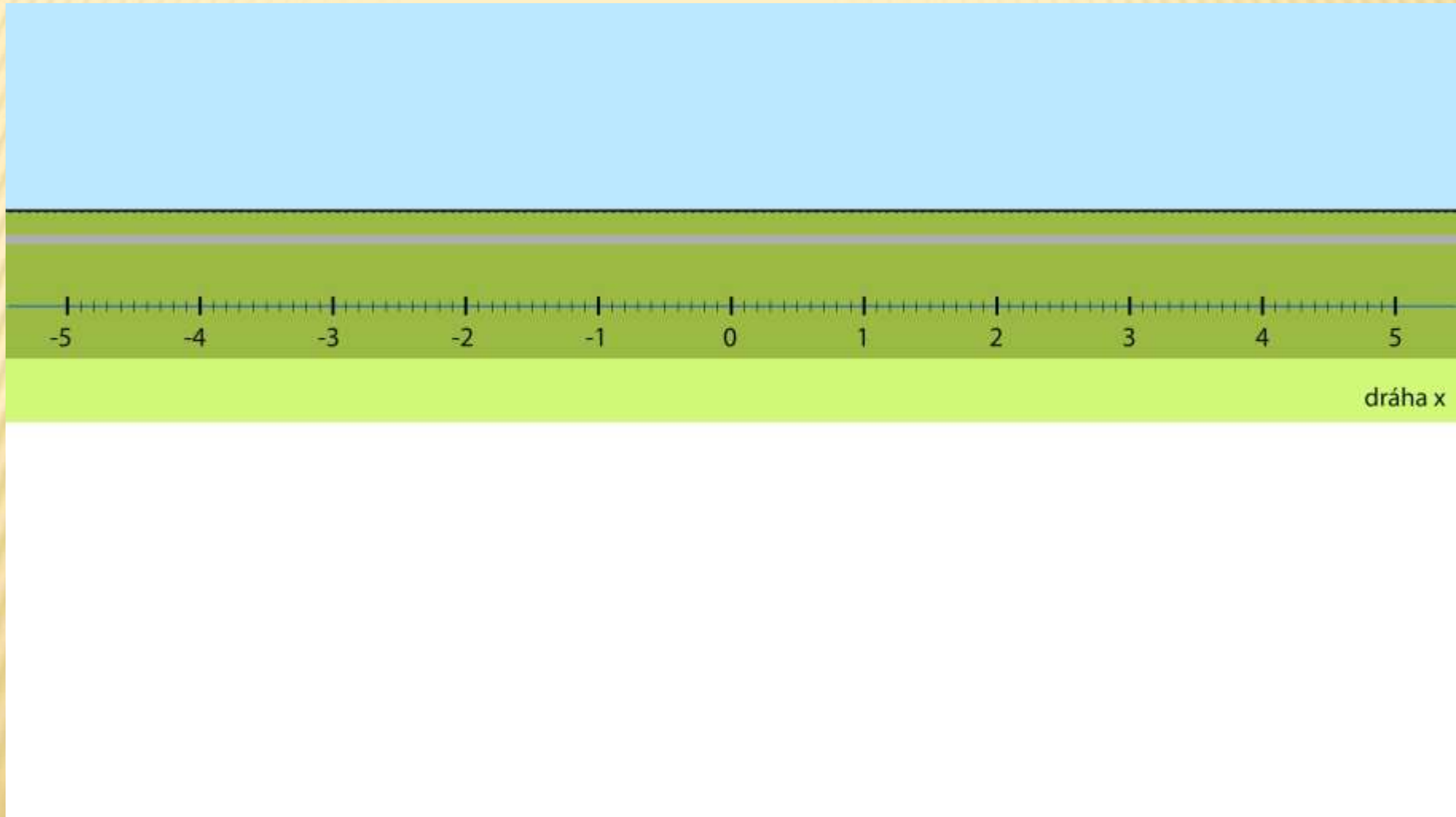
Soumístnost je relativní: mezi objednáním a dodáním vlak ujel kus cesty

Současnost v klas fyz. byla absolutní – ale nebude! (v grafech čárkovaně: - - - - -)

„Archiv fotek“

Vše bude jen na přímé dráze, nic mimo ni
Podél trasy umístíme synchronizované kamery
V pravidelných okamžicích každá udělá fotku
Fotky z téhož okamžiku se slepí do pásu
Pás se zasune do archivu
Současnost: podél pásu
Soumítnost: podél přímky
(pro mne: kolmé k pásu)

„Archiv fotek“



„Archiv fotek“ shora

Na každé fotce: **J**á, **P**řítel, **R**ychlík, **V**laštovka

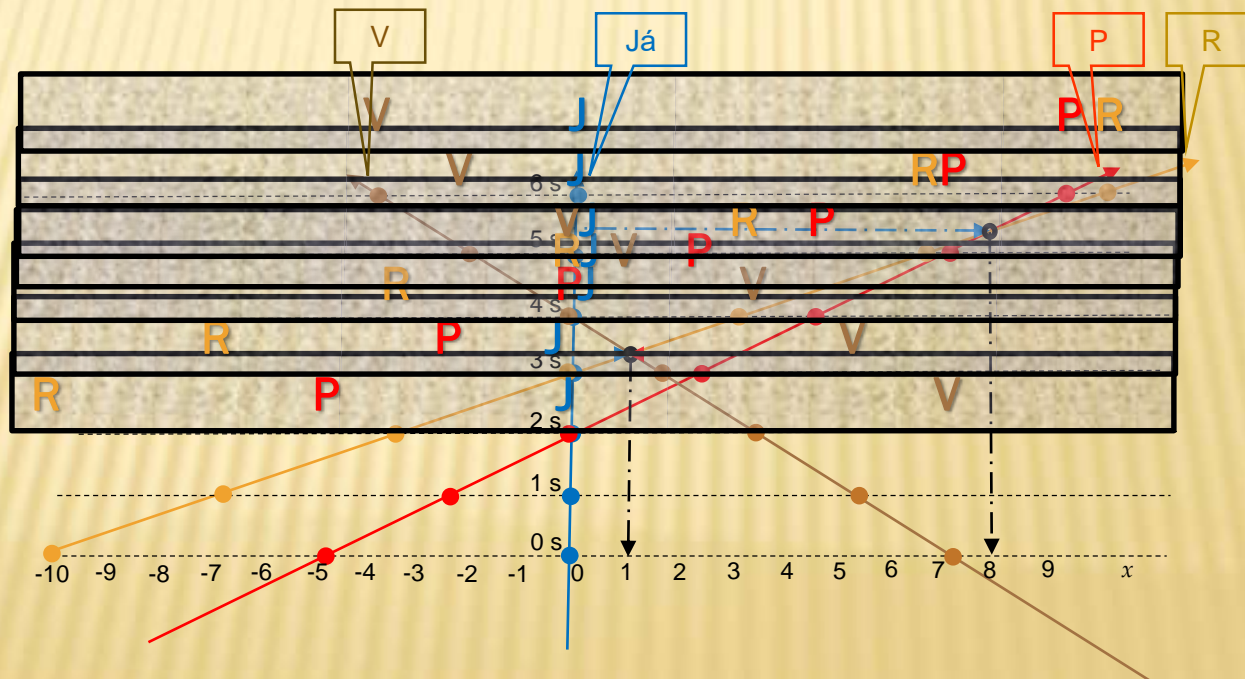
Fotky uložíme podle času do krabice

Světočáry

(délka šipky): kdy ↓ kde → ←

setkání **RP**: $t = 5,4$ s; $x = 8,1$

setkání **RV**: $t = 3,3$ s; $x = 1,2$; $x' = -2$



Graf (= archiv shora)

Soumístnost: plná barevná (podle předmětu)

Současnost: čárkovaná (zatím splývaly, černé)

Sklon čáry udává rychlost pohybu:

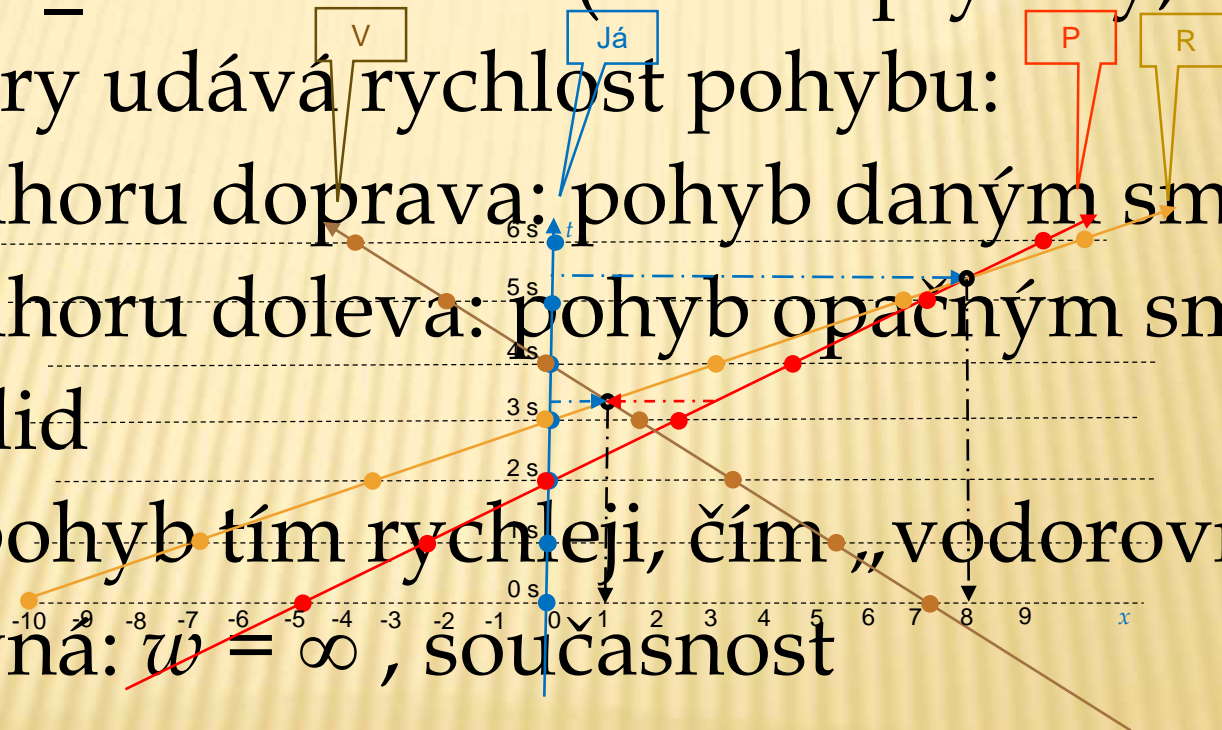
zdola nahoru doprava: pohyb daným směrem

zdola nahoru doleva: pohyb opačným směrem

svislá: klid

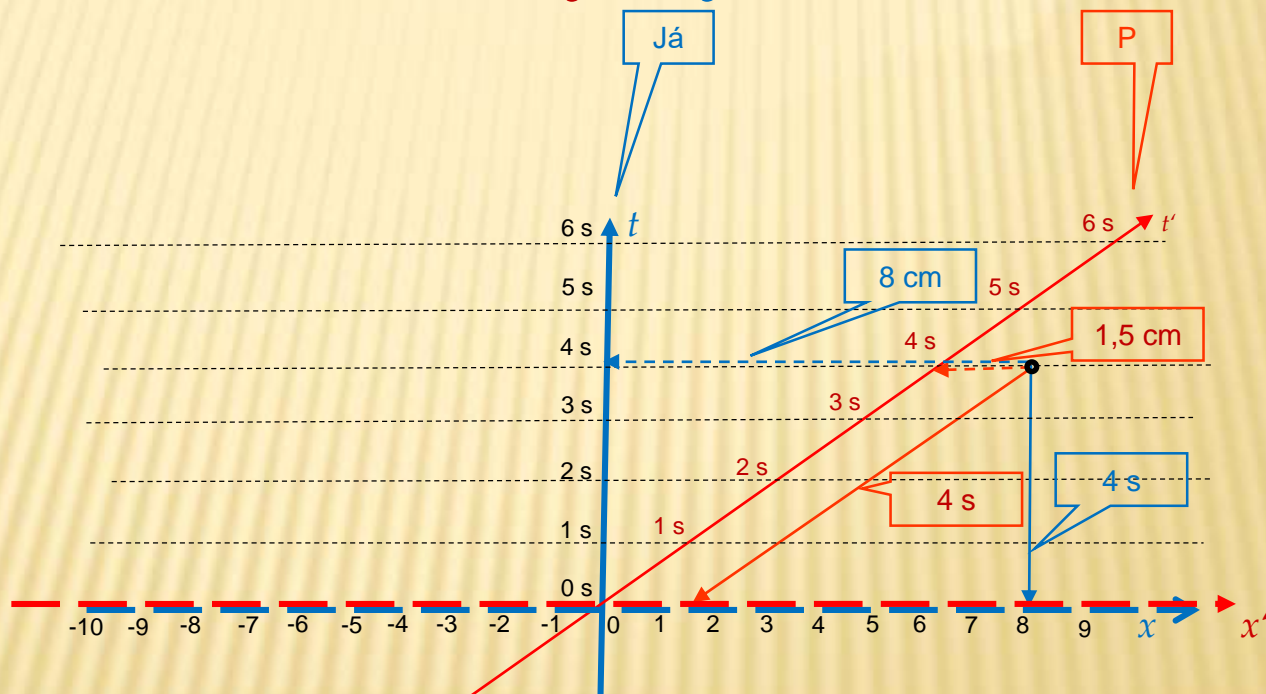
šikmá: pohyb tím rychleji, čím „vodorovnější“

vodorovná: $w = \infty$, současnost



Graf (= archiv shora)

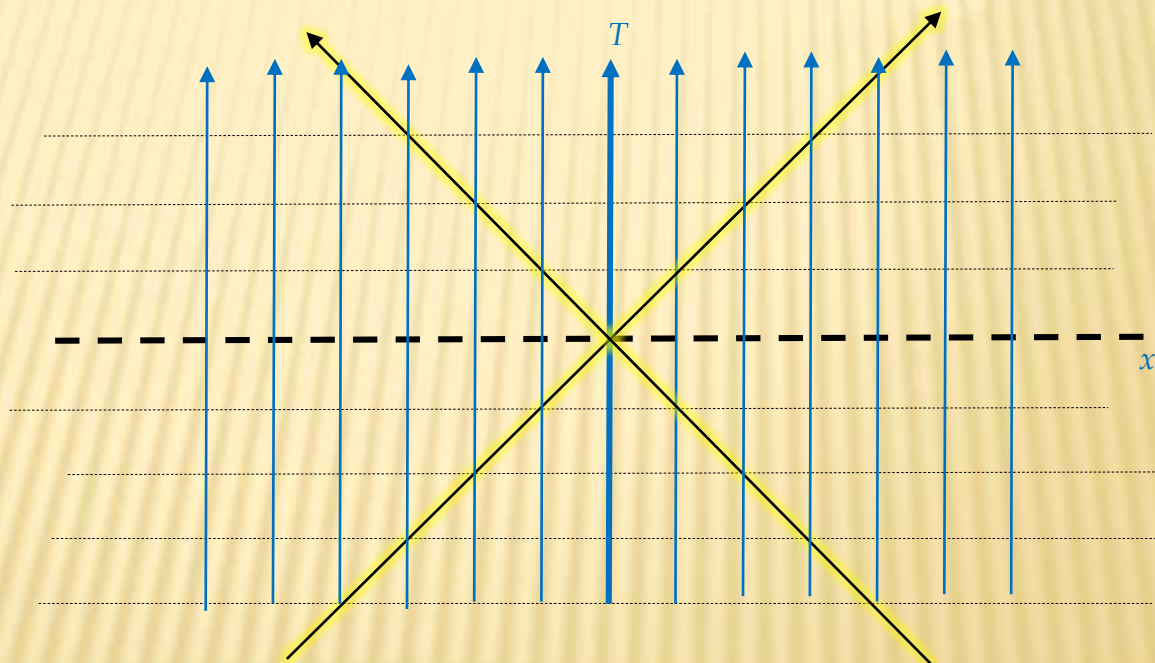
Poloha bodu (události) určuje „kde“ a „kdy“
rovnoběžkami s **dotyčným**



Novoty pro STR - formální

Stejné měřítko pro čas i délku: $t \rightarrow T = ct$

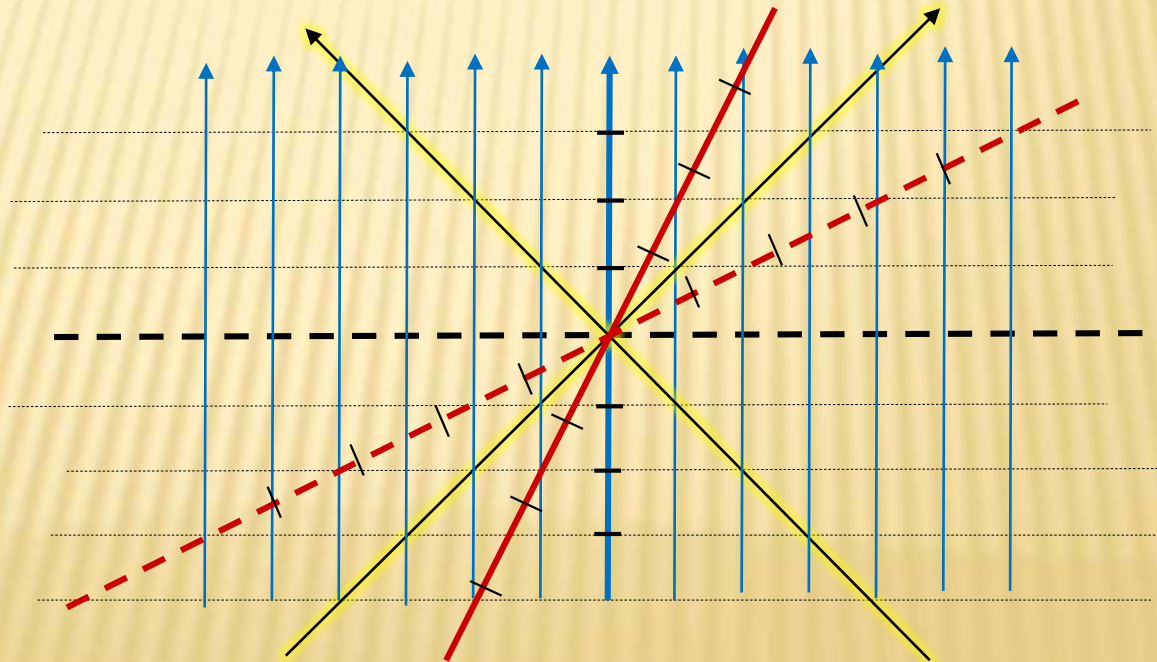
⇒ světelná rychlost = 1 (rok a světelný rok)



Novoty pro STR - opravdové

K dané rychlosti přítele se mění

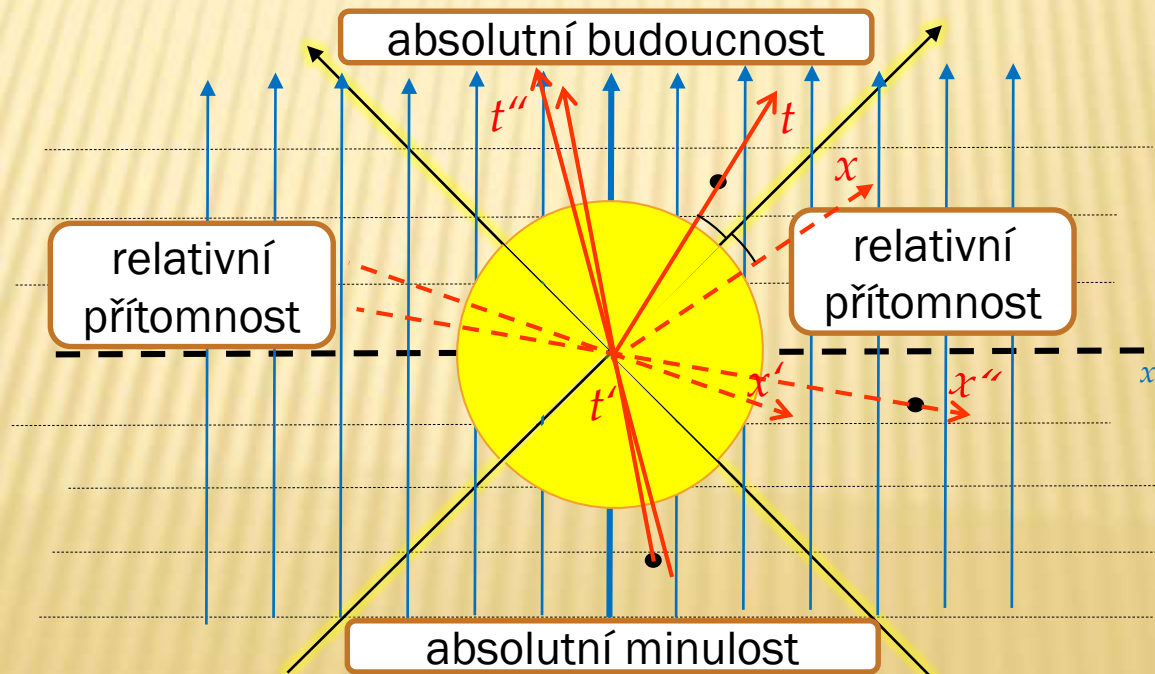
- ✘ měřítko
- ✘ současnost (symetricky kolem světla)



Novoty pro STR - názvy


Světelný kužel

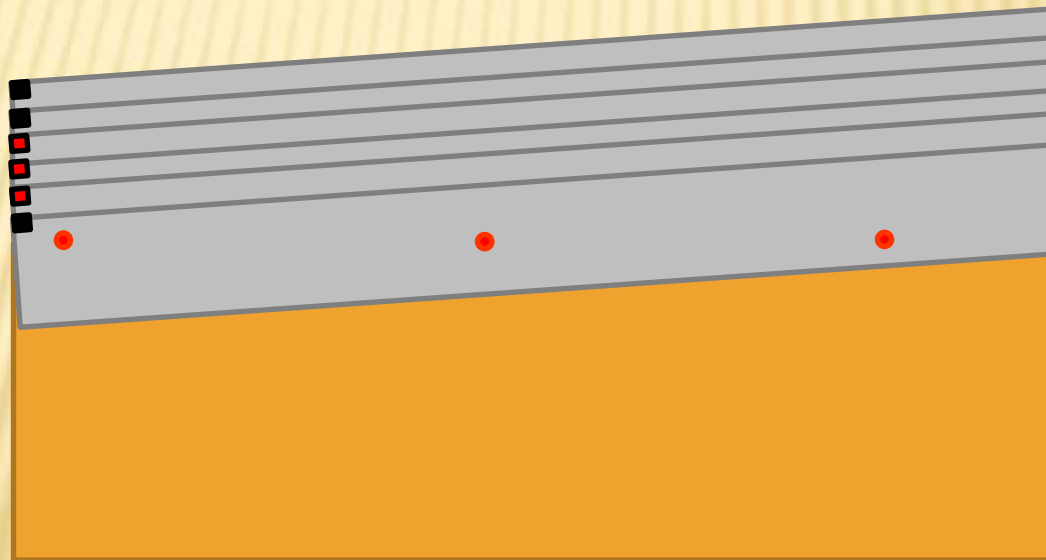
- ⇒ absolutní budoucnost
- ⇒ absolutní minulost
- ⇒ relativní přítomnost



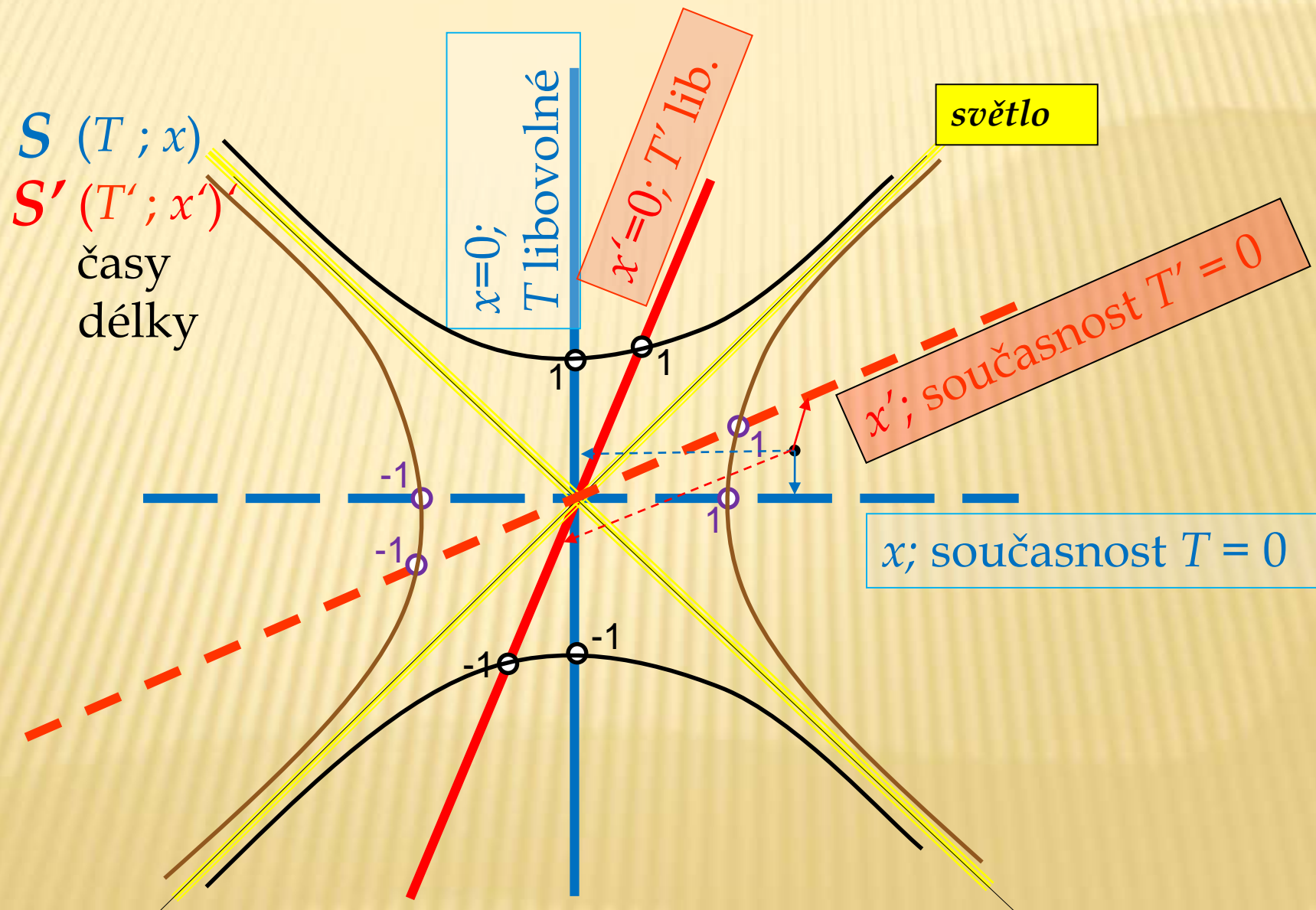
Vsuvka s gilotinou

Může mít něco nadsvětelnou rychlost?

- ⇒ ANO!!! Např. styčný bod  u gilotiny, ale ...
- ⇒ ... nedokáže přenést informaci ☹



Novoty pro STR: shrnutí



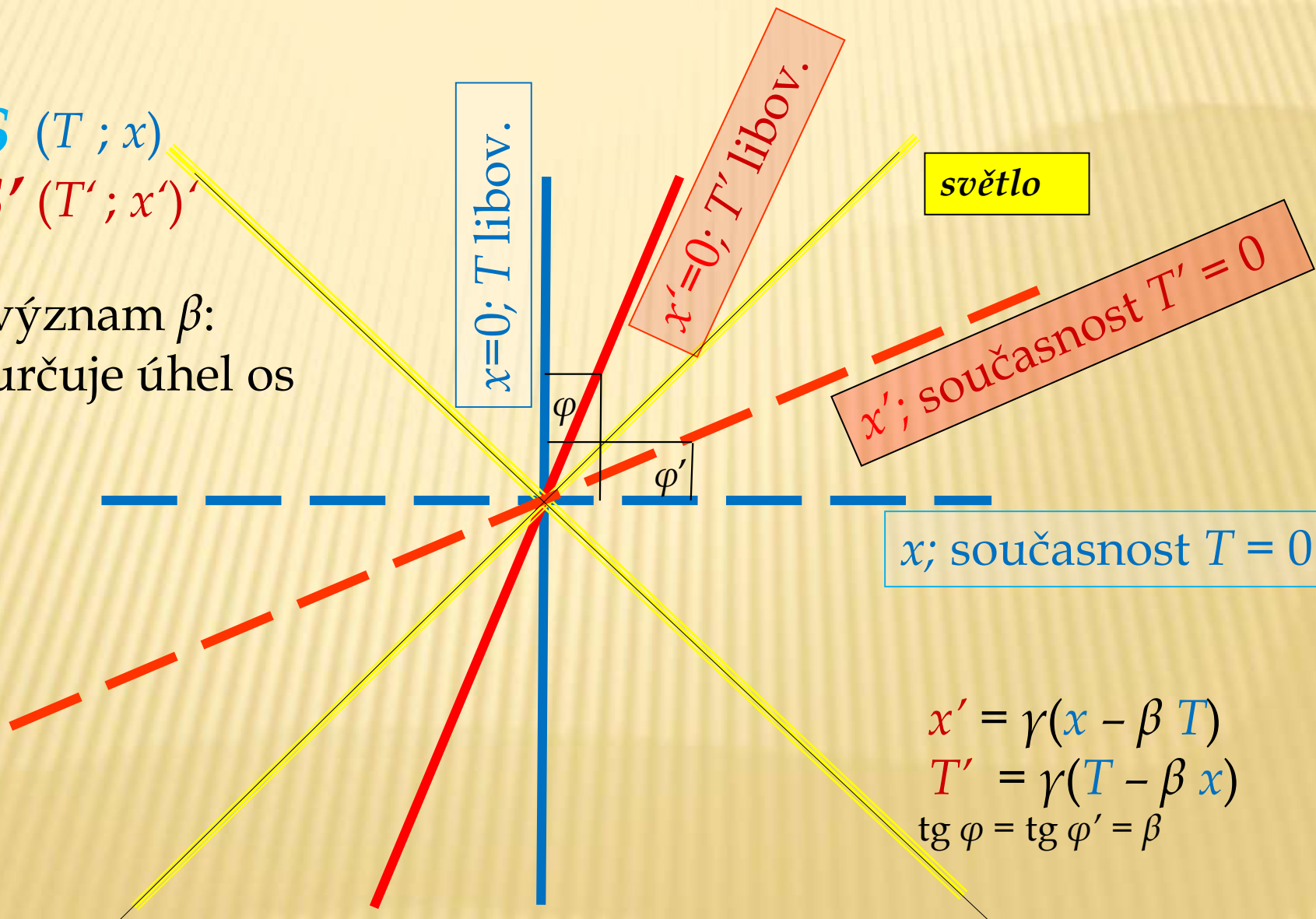


Grafický význam rychlosti $\beta = w/c$

$S (T ; x)$

$S' (T' ; x')$

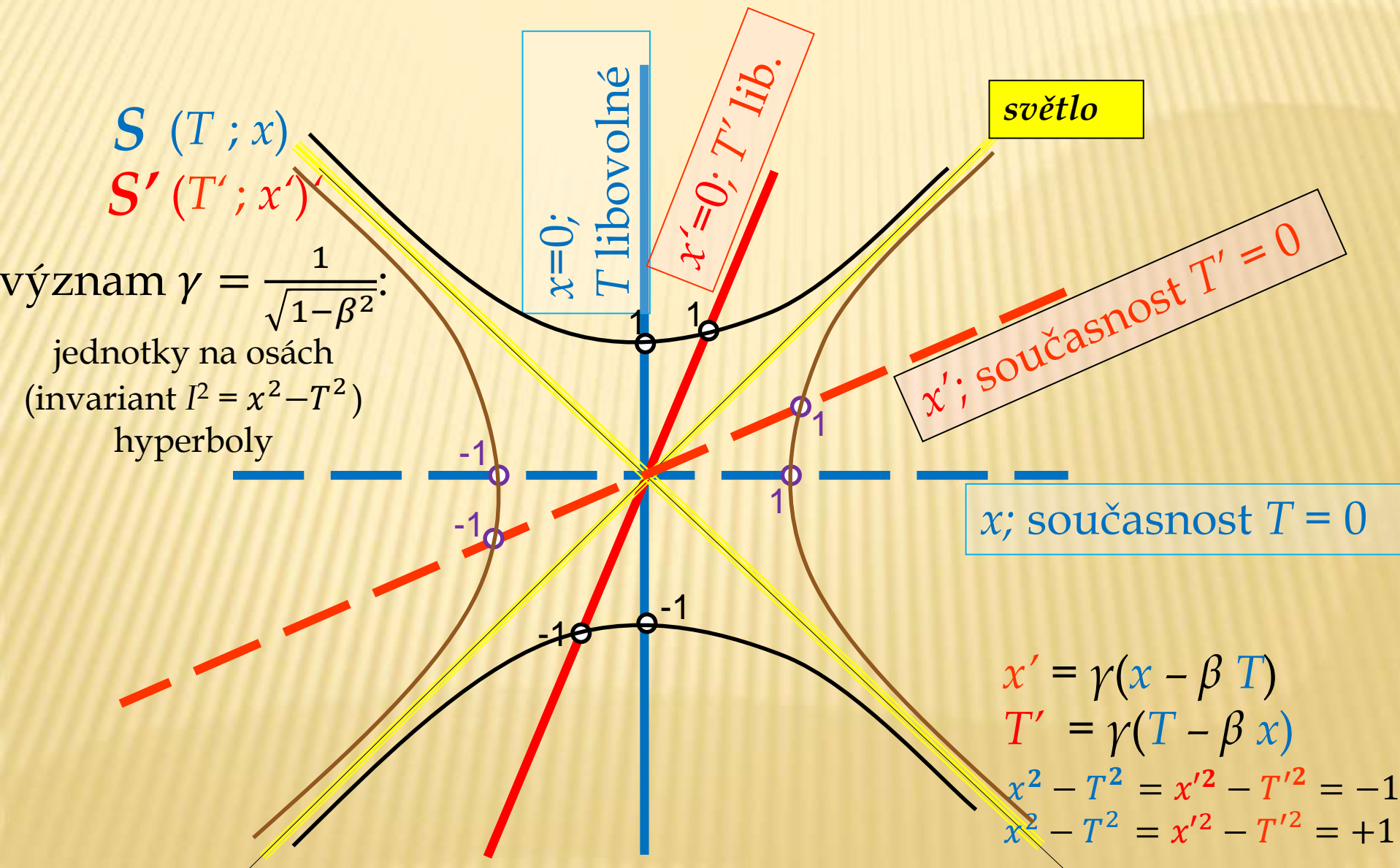
význam β :
určuje úhel os





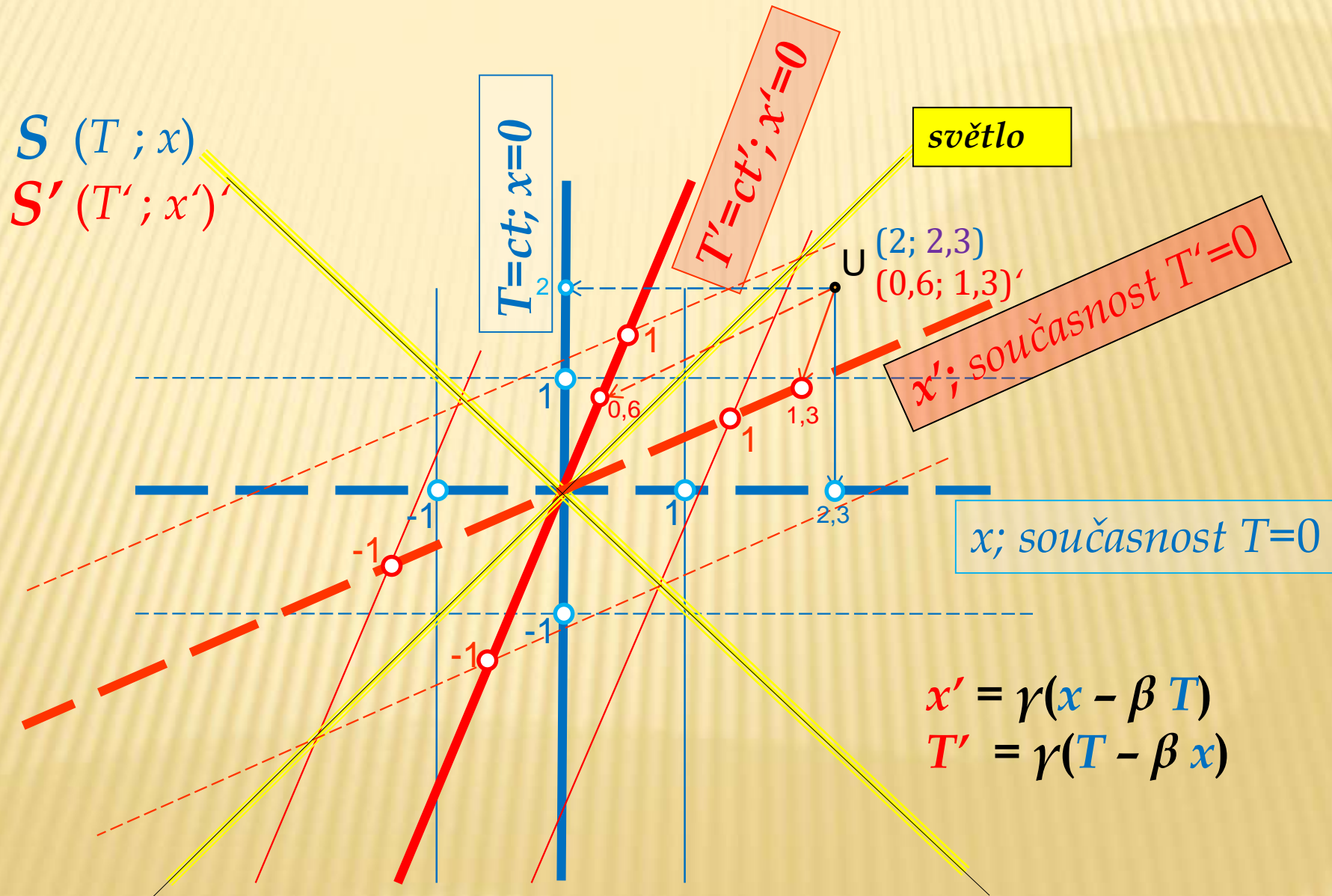
Grafický význam γ

Lorentzův faktor
kontrakce délek
dilatace dob

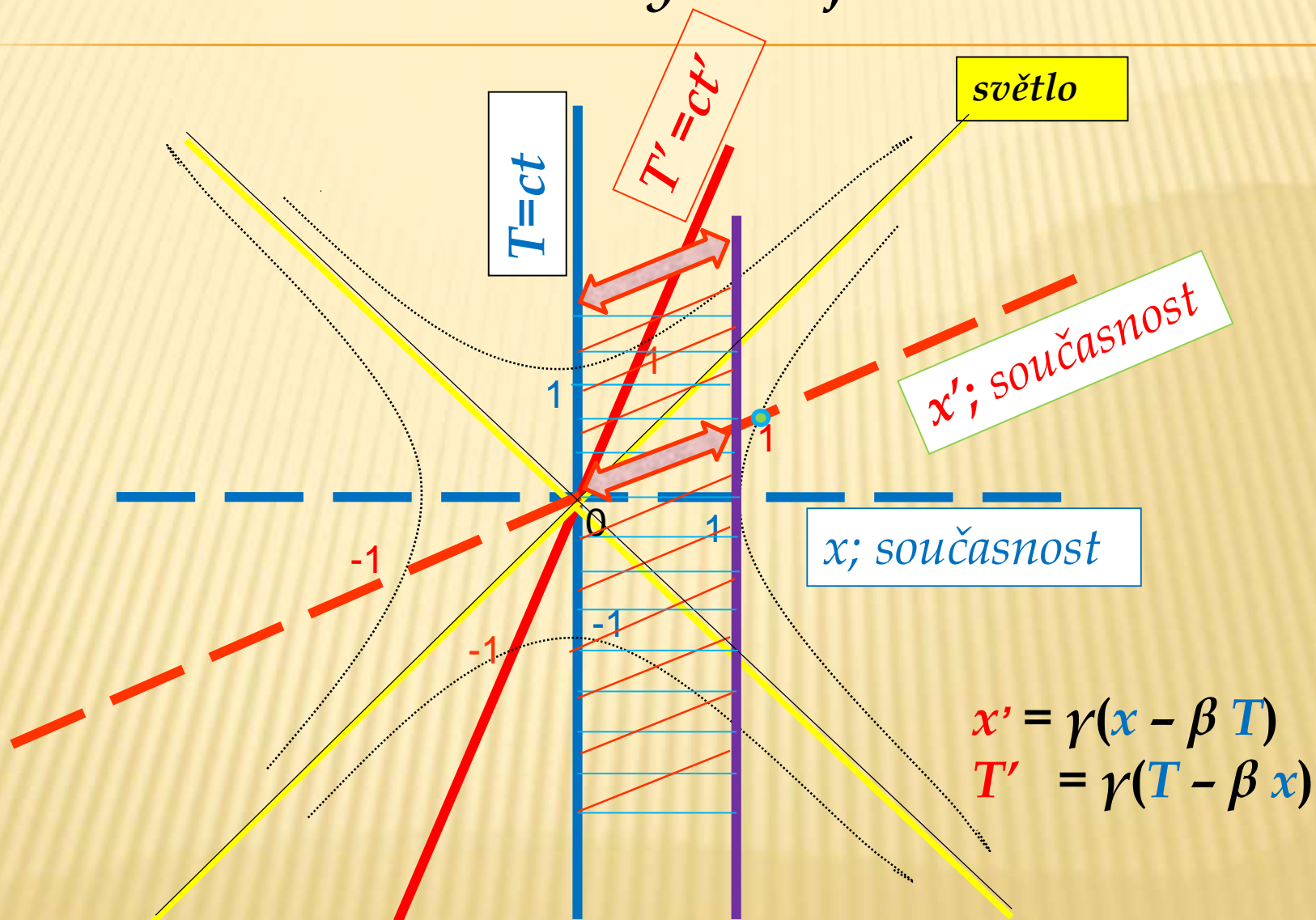




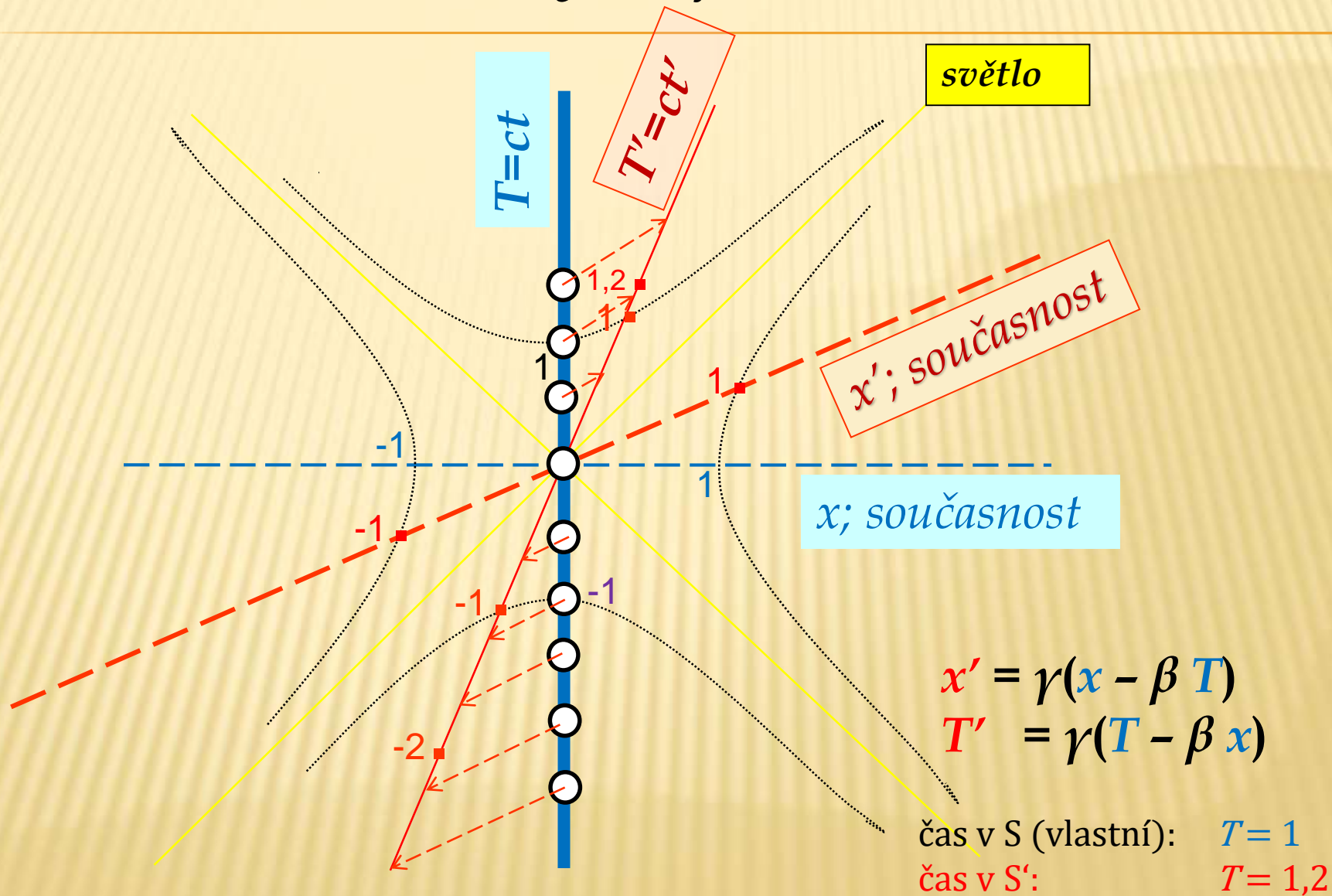
Převod mezi S a S' (Lorentz)



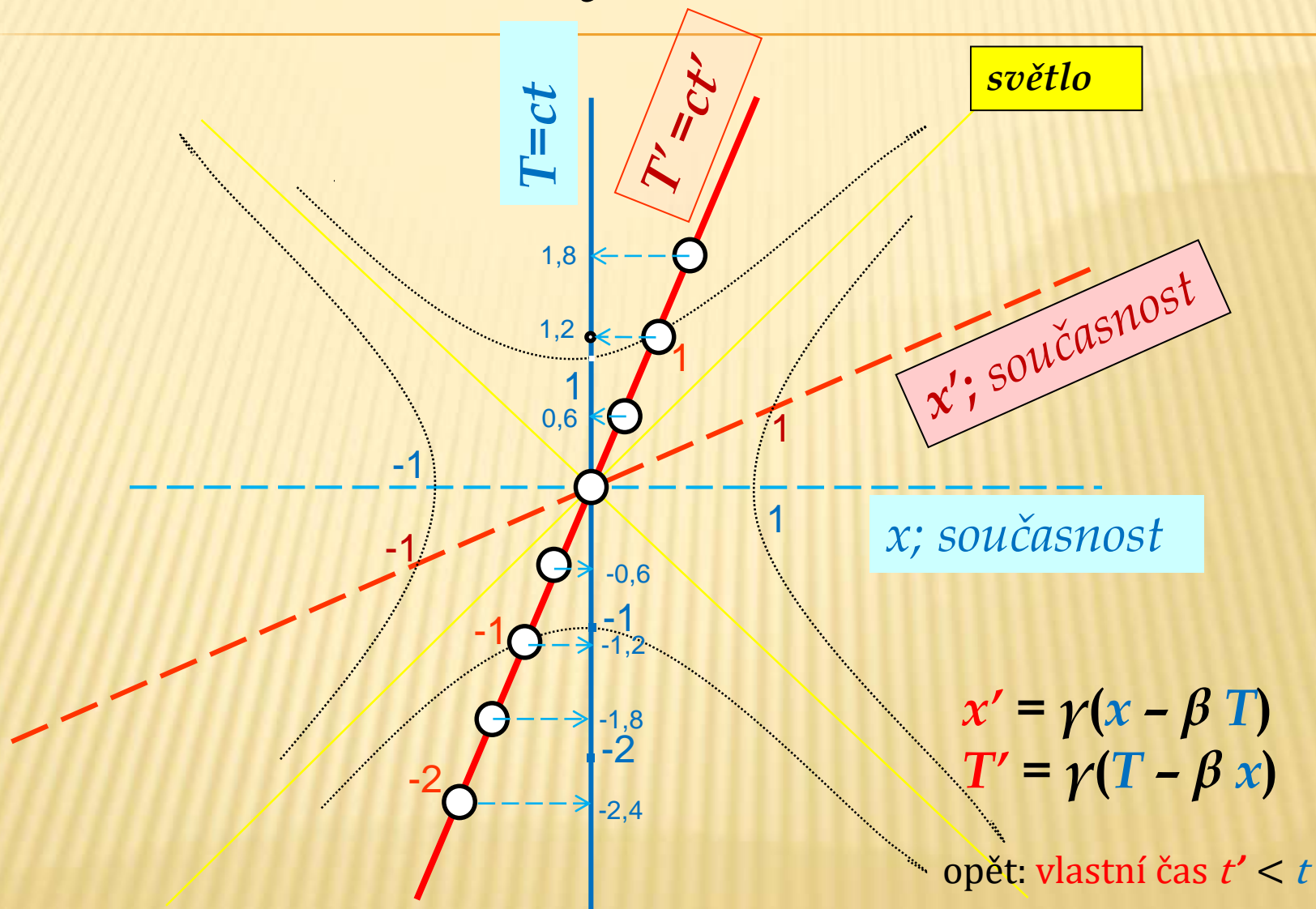
Metrová tyč stojící



Hodiny stojící



Hodiny letící



Auto projíždí garáží

garáž (cesta, $T=0$)

čas garáže (střed SG, $x=0$)

garáž v čase (vjezd, výjezd)

světlo

střed auta SA ($x'=0$)

současnost auta ($T'=0$)

před, zád' auta

auto ($T'=0$)

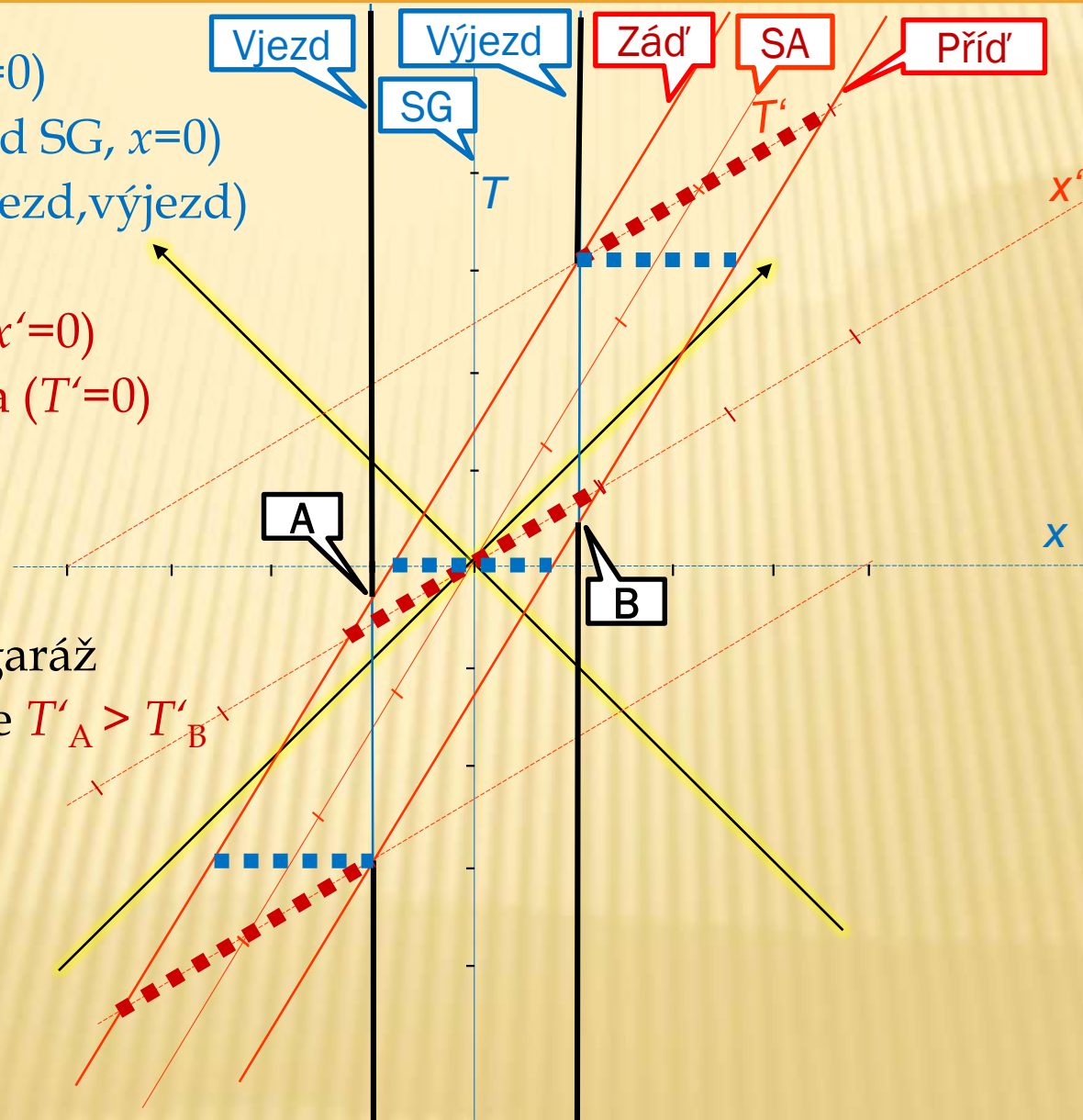
auto ($T=0$)

kdy lze zavřít garáž

☺ $T_A < T_B$... ale $T'_A > T'_B$

vjezd auta

výjezd auta





Děkuji vám za pozornost