

10.6 Dřívější interpretace: kontrakce délek, dilatace času, éter

Poděkování: Není snadné vystihnout a srozumitelně vysvětlit to, v čem se lidé pojmově mýjejí. Svými diskuzemi mi velmi přispěli posluchači jak MFF UK, tak U3V, i jednotliví zájemci (Ing. Jaroslav Feytis, Ing. Jaromír Jedlička); všem za diskuze děkuji.

Klasická fyzika byla neobyčejně úspěšná v popisu přírody. Klasické, ba i předklasické představy jsou nám stále do té míry blízké a sugestivní (zejména ve srovnání s kvantovou fyzikou), že je užíváme občas i nevědomky, třebaže je nebereme doslova. Tak třeba ještě z ptolemaiovského, geocentrického pojetí běžně říkáme, že vychází slunce, nebo dokonce že zašlo za mraky, aniž to bereme moc doslovně, tj. že by mraky stály a sluníčko se za ně šlo schovat. Podobně i v oblasti platnosti STR se užívají některé historické formulace, které by při doslovném výkladu mohly zavádět. Bylo by ovšem školometské chtít je zakazovat. Lepší bude připomenout, co *znamena*jí a zejména upozornit na to, co *neznamena*jí.

Nejrozšířenější příčinou chybného úsudku bývá snaha o „**kubistický obraz**“ popisující problém z více stran zároveň. Předem odsouzen k neúspěchu je každý takový pokus o současný popis ze dvou soustav \mathcal{S} , \mathcal{S}' , např. v „paradoxu“ dlouhého auta v krátké garáži (kap. 10.6.4) uvažovat garáž v \mathcal{S} v čase $t = 0$, ale současně cítit jako auto jen to, co existuje v jistém čase pevném pro auto, např. $t' = 0$, tedy v pevném čase v \mathcal{S}' . Právě současnost je totiž v STR relativní, tedy závislá na volbě vztažné soustavy.

Připomeňme konečně ze str. 48, že v obecném hovoru se slovo **čas** užívá jako obecný pojem pro všechno z této větve prostoročasu (podobně jako **délka** pro cokoli z oblasti měření prostoru, i když to je třeba *výška*). Zde budeme co možná ostře odlišovat jednak pojem **časový údaj**, pro stručnost též zvaný **okamžik** {*instant*}, což je to, co ukazují hodinky (5 o'clock, 5 Uhr), jednak pojem **doba**, **doba trvání** {*duration*}, což je rozdíl dvou časových údajů (5 hours, 5 Stunden). Proto namísto „dilatace času“ je výstižnější termín „dilatace dob“, stejně jako se mluví o „kontrakci délek“ a nikoli třeba o „kontrakci prostoru“.

Také „poločas“ by se měl proto raději jmenovat „polodoba“, ale to už bychom asi chtěli moc. A jak už jsme zmínili, „teploměr“ by měl být „teplotoměr“, když měří teplotu; teplo měříme kalorimetrem.

10.6.1 Relativistické pojmy a termíny: vlastní délka, vlastní doba

Klasická fyzika byla zvyklá na preferovaný „absolutní“ prostor a čas \mathcal{S}_0 . Vůči němu pak vztahovala měření a snažila se vysvětlit, proč „pohybující se tělesa“ má námi změřené délkové rozměry jiné (kontrahované = stlačené) než v klidu, a proč jsou pro nás tiky pohybujících se hodin delší (dilatované = roztažené), než když tytéž hodiny jsou v klidu vůči nám. I zde budeme „intuitivně“ brát za \mathcal{S}_0 naši „klidnou Zemi“, aby vyjádření byla jednodušší; dokonce ji budeme pokládat za legendární

ptolemaiovskou „Zeměplochu“. Vzápětí ovšem ukážeme, že symetrický popis z „letící soustavy“ vede k těmúž relativistickému jevu.

- **Vlastní délkou** d_0 {*proper length*}, např. tyče, nazýváme délku této tyče měřenou v takové soustavě, v níž je tyč v klidu („stojí“). Délka d téže tyče měřená v jiné soustavě, vůči níž se tyč pohybuje ve směru své délky rychlostí β s odpovídajícím $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, je však jiná, a to $d = d_0/\gamma$, jak vzápětí odvodíme („Pohybující se tyč je kratší“, kap. 10.6.2).

Pro časový údaj v různých soustavách \mathcal{S}' , \mathcal{S}'' se užívají následující termíny:

- **Vlastní čas** {*proper time*} hodin je časový údaj, který tyto hodiny ukazují. Je tedy spjat se soustavou \mathcal{S}'' , třebaš i *neinerciální*, v níž tyto hodiny jsou v klidu (podrobně na str. 257).
- **Vlastní doba** {*proper duration*} děje, který probíhá po světočáře nějakého bodového objektu (např. svíčky) od události U_A (např. její zapálení) do události U_Z (dohoření); je to označení doby, která uběhla mezi těmito událostmi v obecně neinerciální soustavě \mathcal{S}'' spojené s oním objektem (svíčkou), tedy rozdíl dvou vlastních časů studovaného objektu (svíčky). V \mathcal{S}'' jsou zřejmě události U_A a U_Z souměstné. („Pohybující se hodiny jdou pomaleji“, kap. 10.6.3)
- **Lokální čas** { $\tilde{}$ } a příslušná **lokální doba** { $\tilde{}$ } jsou časový údaj, resp. doba (rozdíl dvou časových údajů), *měřené* v libovolné *inerciální* soustavě \mathcal{S}' hodinami, které jsou vůči této \mathcal{S}' v klidu. Tento čas i doba ovšem závisejí na volbě \mathcal{S}' .
Pro jistotu říkáme „změříme“, „zjistíme“ apod., nikoli „vidíme“, abychom nebyli chyceni za slovo: díky konečné rychlosti světla totiž vidíme *teď* každou věc vzdálenou od nás s nikoli takovou, jaká *teď* je, ale jaká byla *dříve*, před dobou $\Delta t = s/c$.
- Termíny **relativistický čas** { $\tilde{}$ } a **relativistická doba** { $\tilde{}$ } se užívají jen pro zdůraznění a odlišení pro časový údaj, resp. dobu, měřené v *jiné* inerciální soustavě \mathcal{S}' než v té \mathcal{S}'' , v níž je sledovaný objekt v klidu (jde tedy o lokální čas či dobu v \mathcal{S}').

10.6.2 Kontrakce délek

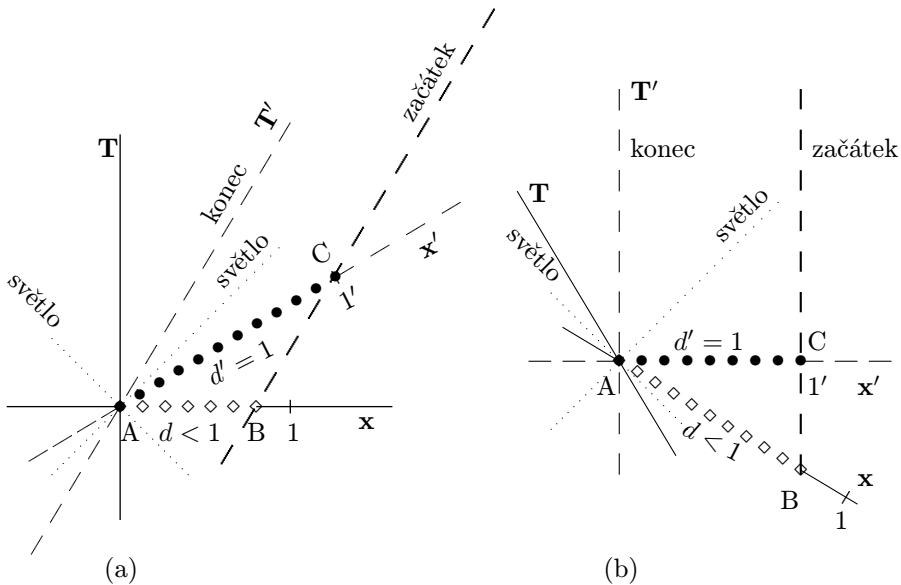
Problém Tyč klidná v \mathcal{S}' má vlastní délku $d_0 = d' = 1$. Vůči nám v \mathcal{S} se pohybuje (začátkem dopředu) rychlostí β . Proč jí naměříme v naší soustavě délku $d < d_0$?

Měření délky pohybující se tyče jsme popsali na str. 225. Stejný výsledek však dostaneme i např. změřením délky stínu, jak je dále uvedeno.

Původní Lorentzova interpretace byla bez dilatace času. Tyč je tvořena nabitými částicemi (jádra atomů, elektrony). Jejich elektromagnetické pole se řídí Maxwellovými rovnicemi a drží částice v jejich rovnovážných polohách. Elektromagnetické

pole *pohybujícího se* tělesa se transformuje podle Lorentzovy transformace, ekvipotenciální plochy nábojů se z původních koulí mění na sploštělé elipsoidy, a vlivem toho i těleso samo se smršťuje ve směru pohybu („kontrakce“ = smrštění, název jeu je občas zavádějící). Tyč je vůči nám stlačená, my jsme vůči tyči roztažení.

Dnešní pojetí Nyní klademe důraz na to, že pojem *současnosti* dvou nesoumírných dějů (zde: měření polohy obou konců tyče) je relativní, tj. různý v obou uvažovaných soustavách \mathcal{S} a \mathcal{S}' . Tyč je pro nás kratší, ale i my jsme pro tyč kratší.



Obrázek 10.2: Kontrakce tyče kreslená s (a) $\mathbf{x} \perp \mathbf{T}$ (b) $\mathbf{x}' \perp \mathbf{T}'$. Výsledek je stejný. Jednotky na osách \mathbf{x} , \mathbf{x}' se liší, jak plyne z invariance prostoročasového intervalu ds^2 .

Grafický rozbor Označme \mathcal{S} naši „klidnou“ vztažnou soustavu; její osy \mathbf{x} , \mathbf{T} jsou plné. Soutava \mathcal{S}' , v níž je tyč délky $d' = 1$ v klidu, má osy \mathbf{x}' , \mathbf{T}' čárkované. Synchronizujeme počátky obou soustav jako událost, kdy konec tyče mívá počátek naší soustavy; bude tedy $A \equiv \{0; 0\} = \{0; 0\}'$. Světočára konce tyče pak splývá s osou \mathbf{T}' , světočára začátku tyče je s ní rovnoběžná, rovněž čárkovaná, tučnější. Poloha tyče v okamžiku $t' = 0$ podle \mathcal{S}' je vyznačena znaky \bullet , poloha tyče v okamžiku $t = 0$ podle \mathcal{S} znaky \diamond ; tyč má tedy v \mathcal{S} délku $d = \frac{1}{\gamma} < 1$. Světelný kužel je tečkovaně. V grafu (a) je $\mathbf{x} \perp \mathbf{T}$, v grafu (b) je $\mathbf{x}' \perp \mathbf{T}'$. Obojí dává ovšem totéž.

Měříme-li délku tyče (ať už pohybující se nebo klidné, a ať klasicky nebo v STR), určíme prostorčasové souřadnice obou jejich konců, a to *v tomtéž čase*, tj. s tímž časovým údajem z hlediska *soustavy, v níž měříme*.

V \mathcal{S} pro $T = 0$ je tedy $x_A = 0$, $x_B = d = d_0/\gamma$, a my zjistíme, že v naší soustavě má tyč délku $\gamma \times$ kratší oproti klidové délce d_0 . Kdybychom tedy např. podél dráhy tyče umístili fotocitlivou vrstvu, proti ní zdroj plošného světla a v okamžiku $T = 0$ světlo všude bliklo, zachytil by se na vrstvě stín dlouhý $d = d_0/\gamma$.

Délku d_0 naměří v čase $T' = 0$ pozorovatel (brouček sedící na tyči) v klidu vůči \mathcal{S}' : $x'_A = 0$, $x'_C = d' = d_0$. Je nutno si uvědomit, že pojem času, a tím i pojem současnosti, je relativní neboli závislý na pozorovateli (fyzikálně řečeno: na volbě vztažné soustavy).

Lorentzova transformace nám vše potvrdí. $x' = \gamma(x - \beta ct)$ dává pro $t = 0$ ihned $d' = \gamma d$, tedy $d = d_0/\gamma$. Protože je vždy $\gamma \geq 1$, zjistíme my v \mathcal{S} vždy, že letící tyč je *kratší*, a to γ -krát.

Soustavy jsme si synchronizovali předpokladem $\{0; 0\} = \{0; 0\}'$. Výsledek ovšem na této synchronizaci nezávisí, ve výsledku se vyskytují jen rozdíly souřadnic. Ověřte to.

My změříme svou délku správně (oba konce současně pro nás) a naměříme lokální délku $d = d_0/\gamma$. Brouček na tyči nám vytkne, že (podle něho) jsme sice zád měřili správně ($t_A = t'_A = 0$), ale příď (B) byla vůči \mathcal{S}' měřena o dobu $d_0\beta$ dříve, a za tuto dobu jsme vůči němu urazili rychlostí β vzdálenost $d_0\beta^2$, o kterou se nám jeví tyč kratší, zřejmě tedy platí $d'' = d_0(1 - \beta^2)$. Dále řekne, že my na Zemi používáme γ -krát kratší délkovou jednotku, naměříme tedy délku γ -krát delší, dohromady $d = \gamma d'' = \gamma d_0(1 - \beta^2) = d_0/\gamma$ namísto jeho d_0 .

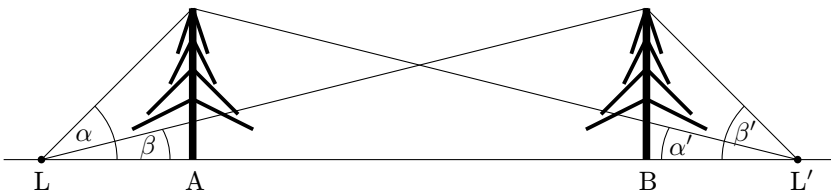
Brouček má samozřejmě pravdu taky, jen porovnává *naši* lokální délku se *svou* (která je též vlastní délkou).

..? **Otázka:** Určete složky (odlehlosti) událostí B, C v \mathcal{S} a v \mathcal{S}' . (\rightarrow str. 265)

Nemůže však uspět „kubismus“ ze str. 234, tj. pokus o popis ze Země, doplněný snahou pokládat za tyč jen to, co tak cítí brouček na tyči sedící a trvat na tom, že tyč je „ve skutečnosti“ dlouhá d_0 a chtít ji tak vnímat i ze Země.

K úvaze To, co vnímáme očima, resp. kamerou, není ani výška, ani vzdálenost, ale úhel, pod kterým vidíme daný předmět (tyč, strom), viz obr. 10.3.

Dva lidé L, L' vidí stejně vysoké stromy A, B pod různými úhly α , β , resp. α' , β' . Pozorovatel L tvrdí, že $\alpha > \beta$, tedy $A > B$, ale L' tvrdí, že $\alpha' < \beta'$, tedy $A < B$. Kdo má pravdu?



Obrázek 10.3: Úhlová velikost stromů