

# Souměrný diagram odvozený z Minkowského



Bohumír Tichánek

## Souvislosti časoprostoru

V teorii relativity je již po celé století známý Minkowského diagram. Ukazuje propojení času a prostoru v časoprostoru.

Obě veličiny se vyskytují společně, pod jedním vlivem. Čas není přímo čtvrtým rozměrem světa, nýbrž je propojený se třemi délkovými rozměry určitým, odlišným způsobem. Kdežto newtonovský přístup uznával vzájemnou nezávislost prostoru a času.

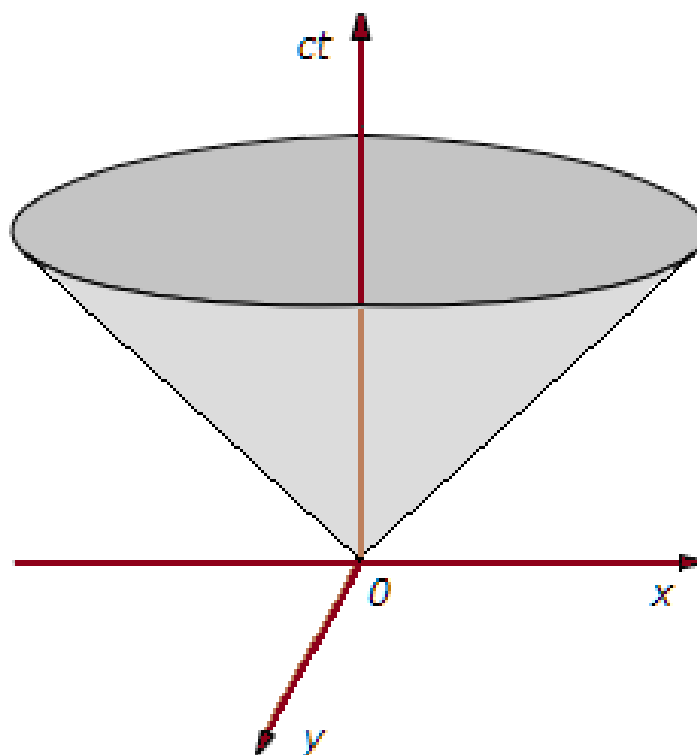
Časoprostor působí ve světě tím způsobem, že neustále určuje nárůst času v souvislosti s pohybem v geometrickém prostoru. Extrémními případy jsou foton - jemu čas nepřibývá, kdežto objektu bez pohybu čas přibývá nejrychleji.

## Minkowského diagram

Ve dvojrozměrném prostoru lze časoprostor znázorňovat následovně (obr. 1). Postup času objektu podle svislé osy - a pohyb prostorem dle vodorovné.

Respektováním mezní rychlosti světla vznikne kužel, jehož objem je určující objektům, jež vyšly z počátku  $0$ . Není jim dovoleno stoupat mimo kužel; to by značilo překročení rychlosti světla. Kužel se stále zvětšuje, tak jak tmavošedá rovina postupuje nahoru v čase.

Osy vodorovná a svislá jsou cejchované toutéž jednotkou. Užití  $ct$  pro svislou osu, namísto  $t$ , zdůrazňuje společnou jednotku - metry, oběma osám časoprostoru. Svislé ose se sekundy krátí:  $1 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ m}$ .



Obr.1. Minkowského diagram pro dvojrozměrný prostor

Geometrickému 1D prostoru se nezobrazí kužel, ale jen trojúhelník (obr. 2). Zde rovnoramenný, zásluhou měřítek dílků  $1 \text{ s} \sim 300.000 \text{ km}$ . Opět se hmota nemůže objevit mimo vybarvenou plochu. Obrázek určuje kosmoplánu rychlost  $300.000 \text{ km}$  za  $3$  sekundy.

Obr. 2. Minkowského diagram  
jednorozměrného prostoru

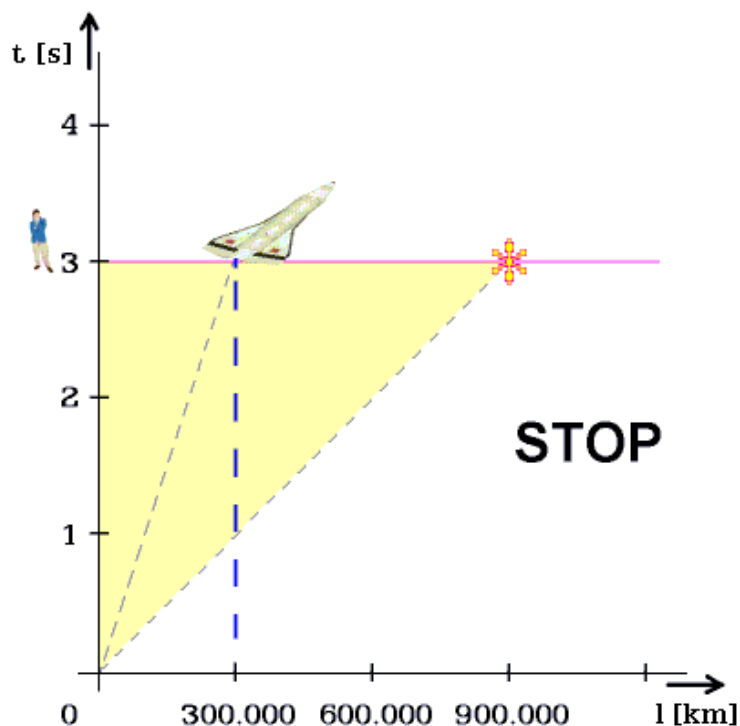
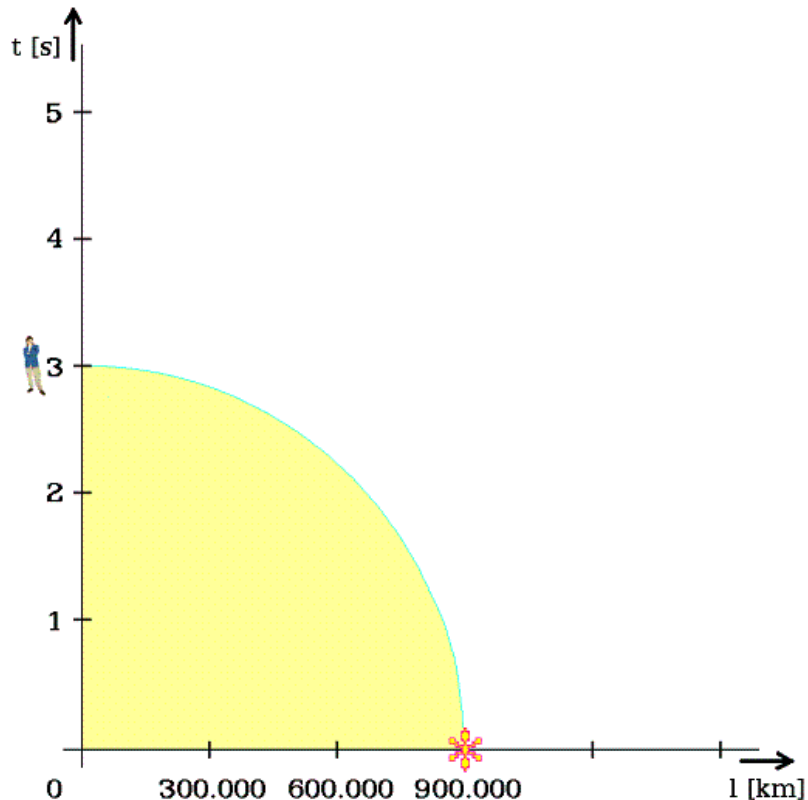


Diagram však názorně nezobrazí rovnocennost času a prostoru. Vždyť ukáže odlišné vzdálenosti, jež má postava bez pohybu a foton bez času – měřeno od počátku 0.

### Souměrný diagram

Uplatnit lze také další graf, který však dosud bývá mimo zájem fyzikální teorie (obr. 3.). Protože čas a pohyb prostorem jsou v časoprostoru rovnocenné, lze obdobně užít obě osy. Svislá - pro čas a vodorovná - pro dráhu. V ocejchování grafu sjednotím dílky délkově: 1 sekunda - svisle a 300.000 km - vodorovně.

Obr. 3. Souměrný diagram  
jednorozměrného prostoru



## Smysl souměrného diagramu

V Minkowského diagramu se časoprostor projevuje zvedáním kružnice (pro 2D světový prostor), nebo úsečky (pro 1D světový prostor), po časové ose.

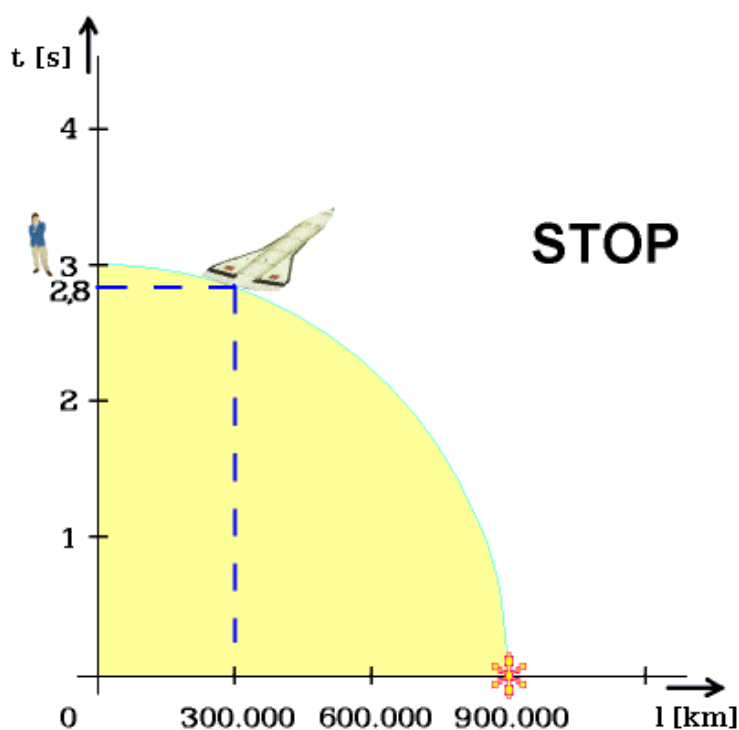
Nyní k 1D prostoru, k vodorovné ose. Časoprostor v souměrném obrázku určuje rovnoměrný růst průměru čtvrtkružnice, s jejím středem v počátku časoprostoru.

Objektům v pohybu se relativisticky zpožďuje čas. Zde souměrný graf umožní snadné zobrazení této skutečnosti.

Například kosmoplán ať má rychlost 300.000 km za 3 sekundy pozemské. Tento čas tří sekund platí pro postavu bez pohybu na svislé časové ose.

Na svislé ose lze odečítat zpomalený čas (obr. 4) kosmoplánu, jenž má rychlost 100.000 km/s (za jednu sekundu). Třem sekundám pozemským odpovídá čas na kosmoplánu jen 2,8 sekundy. Kosmonauti stárnou pomaleji.

Graf umožňuje nalézt vlastní (zpomalený) čas orientačně, snadným vyhledáním na vodorovné a svislé ose. Určující je přitom umístění sledovaného kosmoplánu na obvodě čtvrtkružnice. Podle jeho rychlosti na odpovídajícím místě jejího obvodu.



Obr. 4. Souměrný diagram umožní odečít zpomaleného času, ze svislé osy

Například ať má rychlost 750.000 km/3 sekundy. Pak z vodorovné osy nutno vztyčit kolmici v bodě 750.000 km, a z průsečíku s obloukem najít ve vodorovném směru zpomalený relativistický čas, který odpovídá zadané rychlosti (250.000 km/s).

Naše stará Apolla a Sojuzy mívají rychlost tak asi 30 km za 3 sekundy, takže za 3 sekundy pozemské na nich uplyne čas také 3 s. Podrobnosti o nepatrném zpoždění času z grafu neodečteme.

## Ověření funkce souměrného diagramu

Výpočtem a měřením lze porovnat funkci navrženého souměrného diagramu.

<b>v</b>	<b>l</b>	<b>t<sub>v</sub></b>	<b>t<sub>z</sub></b>
km/s	km	s	s
100.000	300.000	2,82	2,8
200.000	600.000	2,28	2,2
250.000	750.000	1,65	1,6

*Tabulka časů zjištěných výpočtem nebo odměřením v grafu*

v ... rychlost objektu

l ... dráha objektu uražená za 3 sekundy

t<sub>v</sub> ... vlastní čas objektu - vypočítaný

t<sub>z</sub> ... vlastní čas objektu - změřený na svislé ose 4. obrázku

## Závěr

Výsledky z tabulky ukazují, že předvedený princip pro zjištění relativistického času přijatelně posloužil.

Využití souměrného diagramu může studentům pomoci při pochopení problematiky speciální teorie relativity. Přesné výsledky však poskytnou relativistické výpočty.

