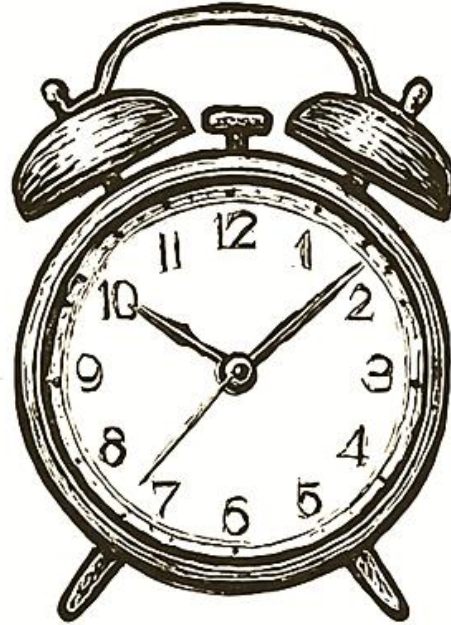
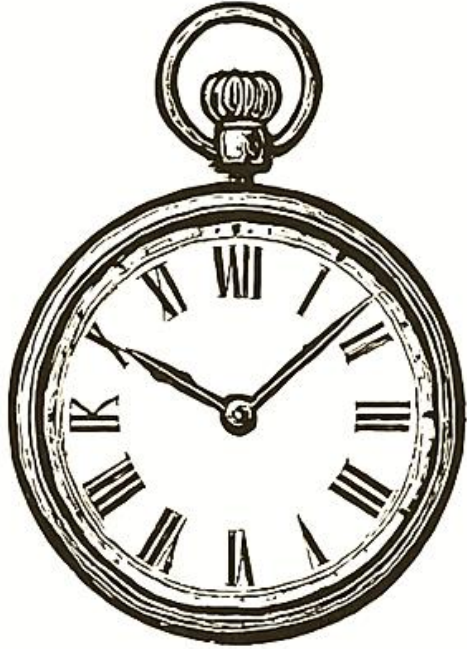


# Jak plyne čas?



prof. Jan Novotný

Seminář Matematika a fyzika ve škole 2025



# Počítání, předvídání, porozumění

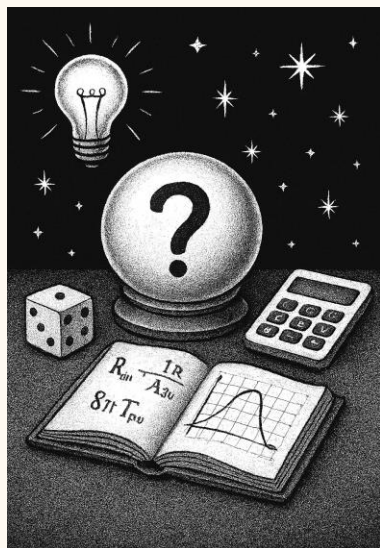
( Zpověď emeritního relativisty )



Stačí psát vzorce a předvídat jevy nebo je třeba i porozumět?

David Deutsch, *Předivo reality*:

„Schopnost předpovídat jevy anebo je s libovolnou přesností popsat není totéž jako jim porozumět.“



Příklad snahy o porozumění:

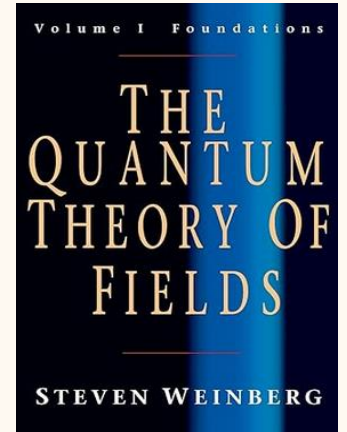
Solomon Marcuse: *Matematická analýza čtená podruhé*

Milan Uhde: *Nápady pozdního čtenáře*



Steven Weinberg (laureát Nobelovy ceny):

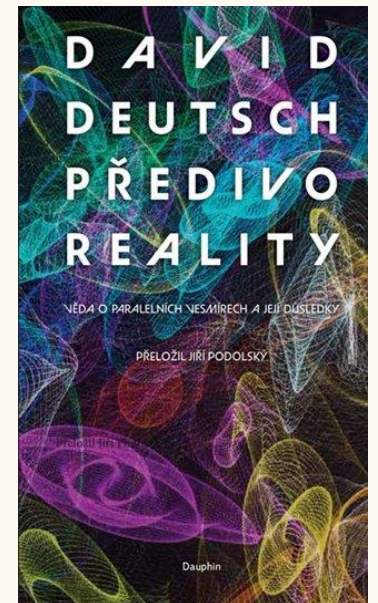
Důležité je činit předpovědi a o obrazech na fotografických deskách pořízených astronomy, a frekvencích spektrálních čar a tak dále, a prostě nezáleží na tom, zda-li tyto předpovědi připíšeme fyzikálním vlivům gravitačních polí na pohyby planet a fotonů, anebo zakřivení prostoru a času.



David Deutsch (1997:

Weinberg a jiní instrumentalisté se mýlí. Záleží na tom, čemu připíšeme konkrétní obrazy na astronomických fotografických deskách a záleží na tom nejen teoretickým fyzikům jako jsem já, pro něž je hlavní motivací pro formulování a studium teorií touha lépe porozumět světu.

(Jsem si jist, že je to i Weinbergova motivace: primárně ho nežene vnitřní potřeba předpovídat grafy a spektra!). Neboť i v ryze praktických aplikacích je objasňující síla teorie prvořadou věcí, zatímco její prediktivní síla je až sekundární, dodatečná.



# Prostoročas: Newton a Einstein

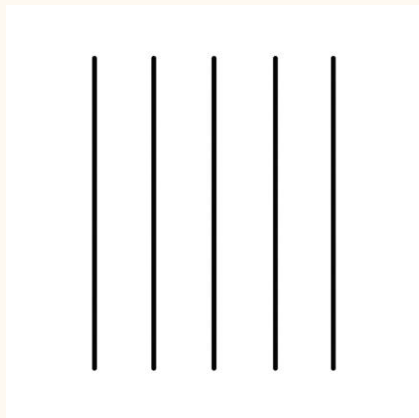
Einstein: „Prostoročas je absolutní, ale prostor i čas jsou relativní...“

Kvadrát vzdálenosti  $s$  je kvadratickou funkcí souřadnic  $X^i$ , prostoročas je 4-rozměrný

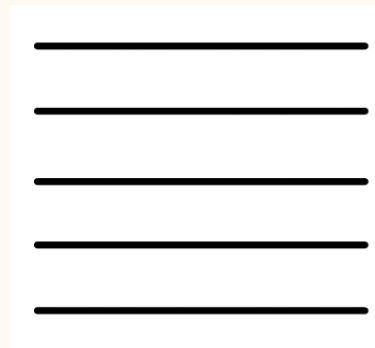
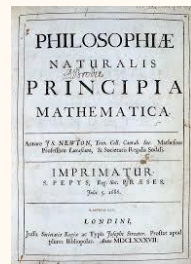
$$s^2 = g_{ik} X^i X^k \quad i = 0, 1, 2, 3$$

$$g_{space} = \begin{pmatrix} 0 & & & \\ & 1 & & \\ & & 1 & \\ & & & 1 \end{pmatrix} \quad g_{time} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & 0 & & \\ & & 0 & \\ & & & 0 \end{pmatrix}$$

abs.prostor      abs.čas

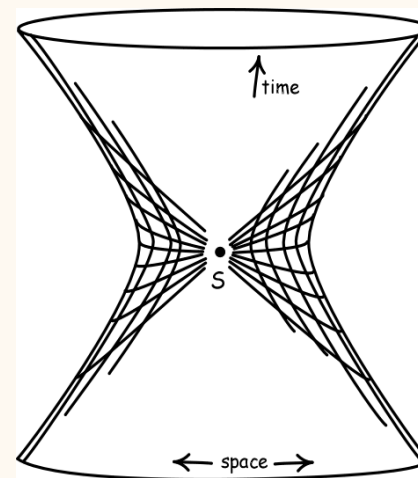


Newton



$$g_{spacetime} = \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ & & & -1 \end{pmatrix}$$

Einstein STR



$$ds^2 = g_{ik}(x^j) dx^i dx^k$$

$$(x^j = ct, x^\alpha) \quad d\tau = \frac{ds}{c}$$

čas souřadnicový  $t$  a vlastní čas  $\tau$

# Vztažné soustavy

Møller, Landau - Lifšic

světočáry vztažných bodů  $x^\alpha = \text{konst.}$  „propíchnutí“ prostoročasu světočarami

třírozměrné světoplochy současnosti  $x^0 = ct = \text{konst.}$  „prořezání“ prostoročasu světoplochami

záměny souřadnic v téže vztažné soustavě  $x^{\alpha'} = x^{\alpha'}(x^\beta)$   $x^{0'} = x^{0'}(x^0, x^\alpha)$



Møller (The Theory of Relativity):

Současné události (stejně  $t$ ) se nemohou vzájemně ovlivnit – požadavek příčinnosti



Landau-Lifšic (Теория поля):

Požadavek příčinnosti se neklade



# Prostor



Zdalo by se, že prostorová metrika je  $d\sigma^2 = -g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$

Správná volba je však jiná (Møller)  $d\sigma^2 = \gamma_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$   $\gamma_{\alpha\beta} = -g_{\alpha\beta} + \frac{g_{\alpha 0} g_{\beta 0}}{g_{00}}$

---

$$\text{platí} \quad g_{ik} g^{kl} = \delta_i^l \quad \gamma_{\alpha\beta} \gamma^{\beta\epsilon} = \delta_\alpha^\epsilon$$

vždy se dá zavést synchronní soustava, v níž bude

$$g_{0\alpha} = 0, g_{00} = 1 \quad \text{a tedy} \quad \gamma_{\alpha\beta} = g_{\alpha\beta}$$

---

Landau, Lifšic: „V obecné teorii relativity klasický pojem vzdálenosti ztrácí smysl

# Vlastní čas a souřadnicový čas



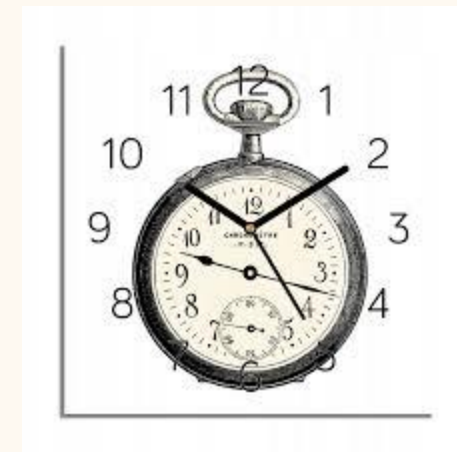
$$d\tau = dt \left\{ \left[ \left( 1 + \frac{2\varphi}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{\gamma_\lambda u^\lambda}{c} \right]^2 - \frac{u^2}{c^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$g_{00} = \left( 1 + \frac{2\chi}{c^2} \right)$$

skalární „gravitační“ potenciál

$$\gamma_\lambda = \frac{-g_{\lambda 0}}{\sqrt{g_{00}}}$$

vektorový „gravitační“ potenciál



Potenciály jsou určeny vztažnou soustavou.

Problémy s interpretací vzorce, co vlastně znamená „silnější“ gravitační pole?

pohybové rovnice částice:

$$a_\alpha = -\frac{\partial \varphi}{\partial x^\alpha} = g^\alpha \quad (\text{pro } \gamma_\alpha = 0)$$



J.L. Synge

Pro dvojce standardní hodiny je poměr počtu tiků na daném úseku světočáry přírodní konstanta nezávislá na světočáře a na jejích bodech.

Současná rafinovaná teorie atomu a jeho vyzařování je tak komplikovaná, že by nebylo moudré čekat přímou a určitou odpověď na otázku, je-li tato hypotéza pravdivá.

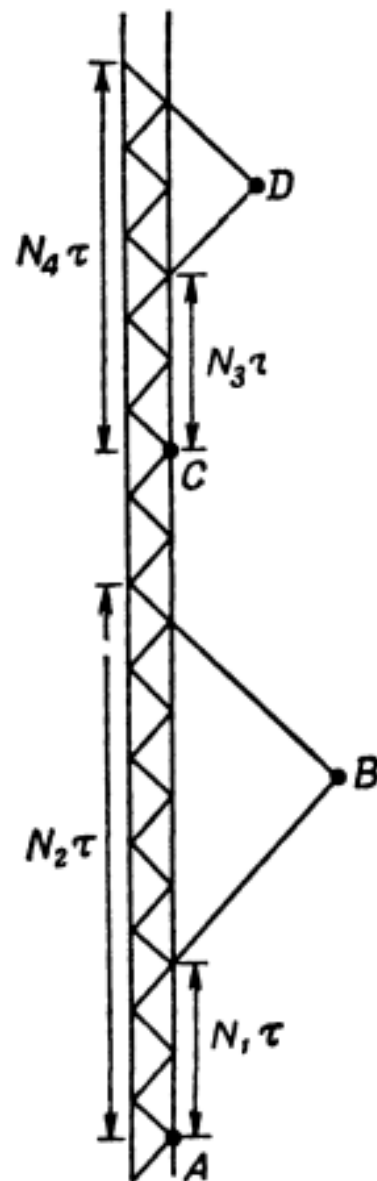


John A. Wheeler

Postavme problém jinak: proč vůbec potřebujeme představu o atomové stavbě látky, chceme-li určit etalon délky času.

Proč zaplétat do základů klasické obecné teorie relativity kvantum akce?

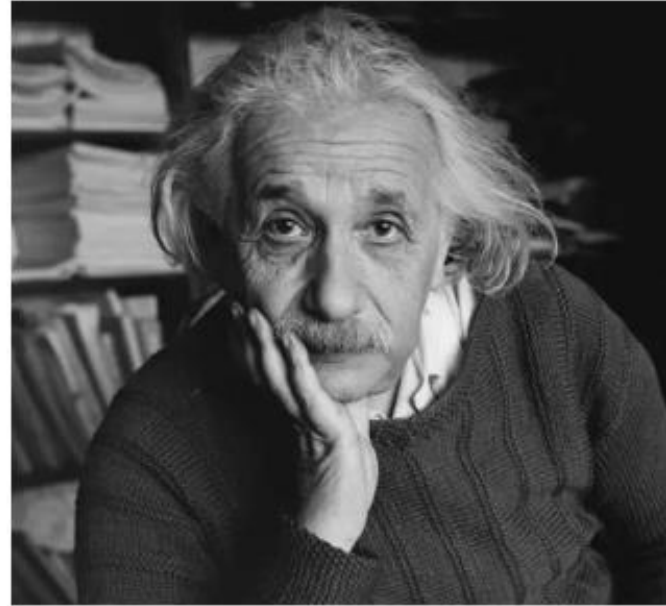
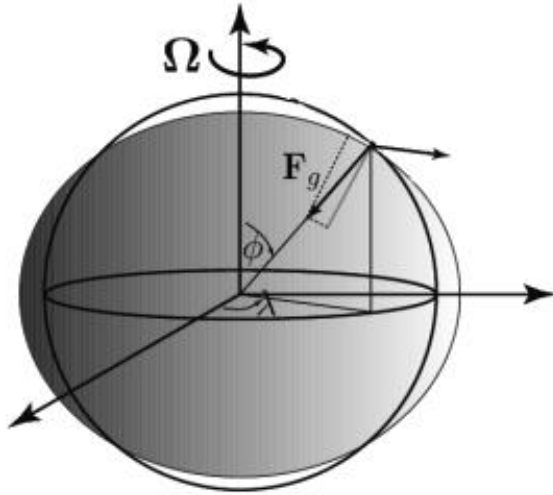
# Ideální hodiny



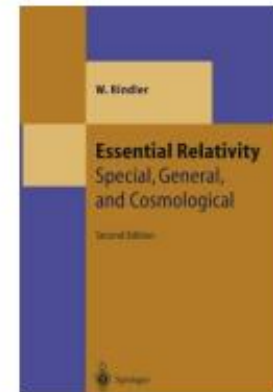
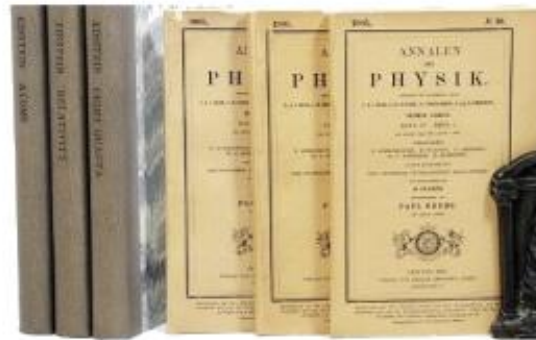
# Několik problémů

Mýlil se v roce 1905 Einstein?

Potenciál a intenzita



Wolfgang Rindler



# První teze

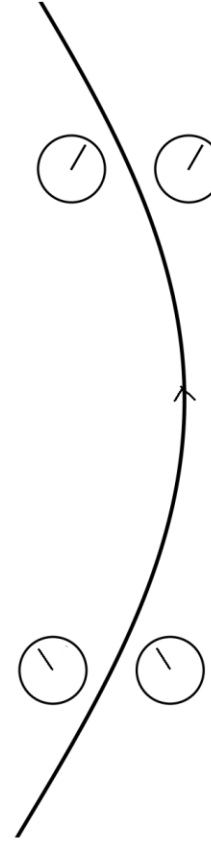
# Hodiny společného osudu

Čas (pokud vůbec plyne) plyne všude stejně.

Prostorová analogie



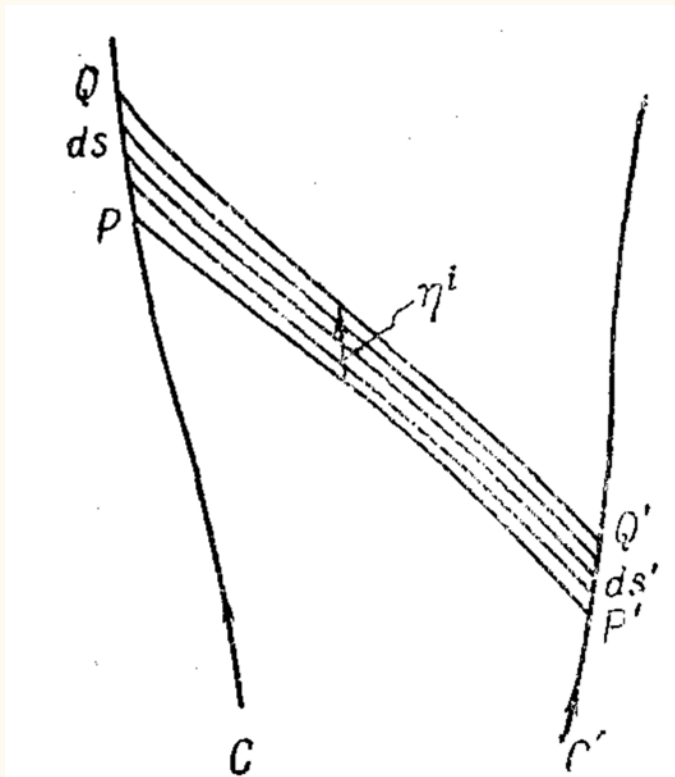
Dvoje hodiny v protilehlých polohách na světočáře ukazující stejný čas



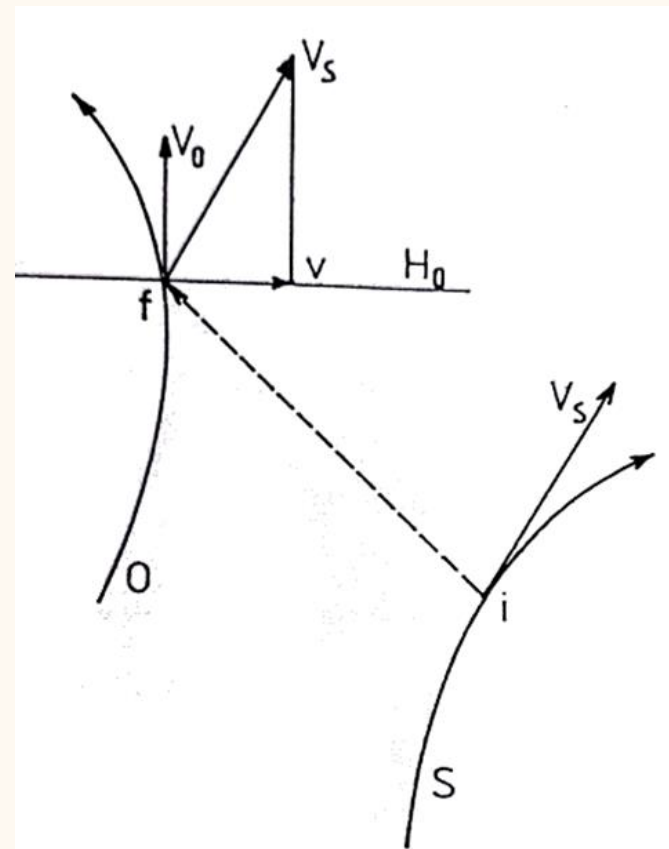
Filosofický problém: prezentismus a eternalismus

# Druhá teze   Hodiny různého osudu   vzájemné pozorování

Jevy spojené s ideálním časem lze vždy vysvětlit jako projevy Dopplerova efektu!



Relativity: The General Theory by J. L. SYNGE



Can the Cosmological Red Shift be treated as Doppler Effect



# Dopplerův jev podle Synga

RELATIVITY: THE GENERAL THEORY by J. L. SYNGE School of Theoretical Physics Dublin Institute for Advanced Studies

$$\frac{\nu_f}{\nu_i} = \frac{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}{1 + \frac{u_r}{c}}$$

$\nu_f$  frekvence přijímaná pozorovatelem

$\nu_i$  frekvence vysílaná zdrojem

$\vec{u}$  třírozměrná rychlost zdroje

$u_r$  radiální složka rychlosti zdroje

Radiální Dopplerův jev

$$u_r = u$$

$$\frac{\nu_f}{\nu_i} = \sqrt{\frac{1 - \frac{u}{c}}{1 + \frac{u}{c}}} = k \text{ (Bondiho koeficient)}$$



Příčný Dopplerův jev

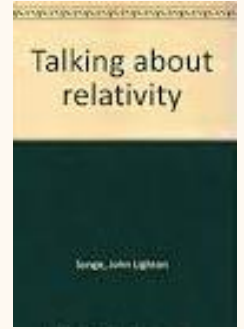
$$u_r = 0$$

$$\frac{\nu_f}{\nu_i} = \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$



1897 – 1995

# Syngeho komentáře k Dopplerově principu



Pokud jde o otázku příčiny spektrálního posunu, je třeba poznamenat, že ... spektrální posun je způsoben relativní rychlostí pozorovatele.

Jedná se v podstatě o Dopplerův jev v původním slova smyslu.

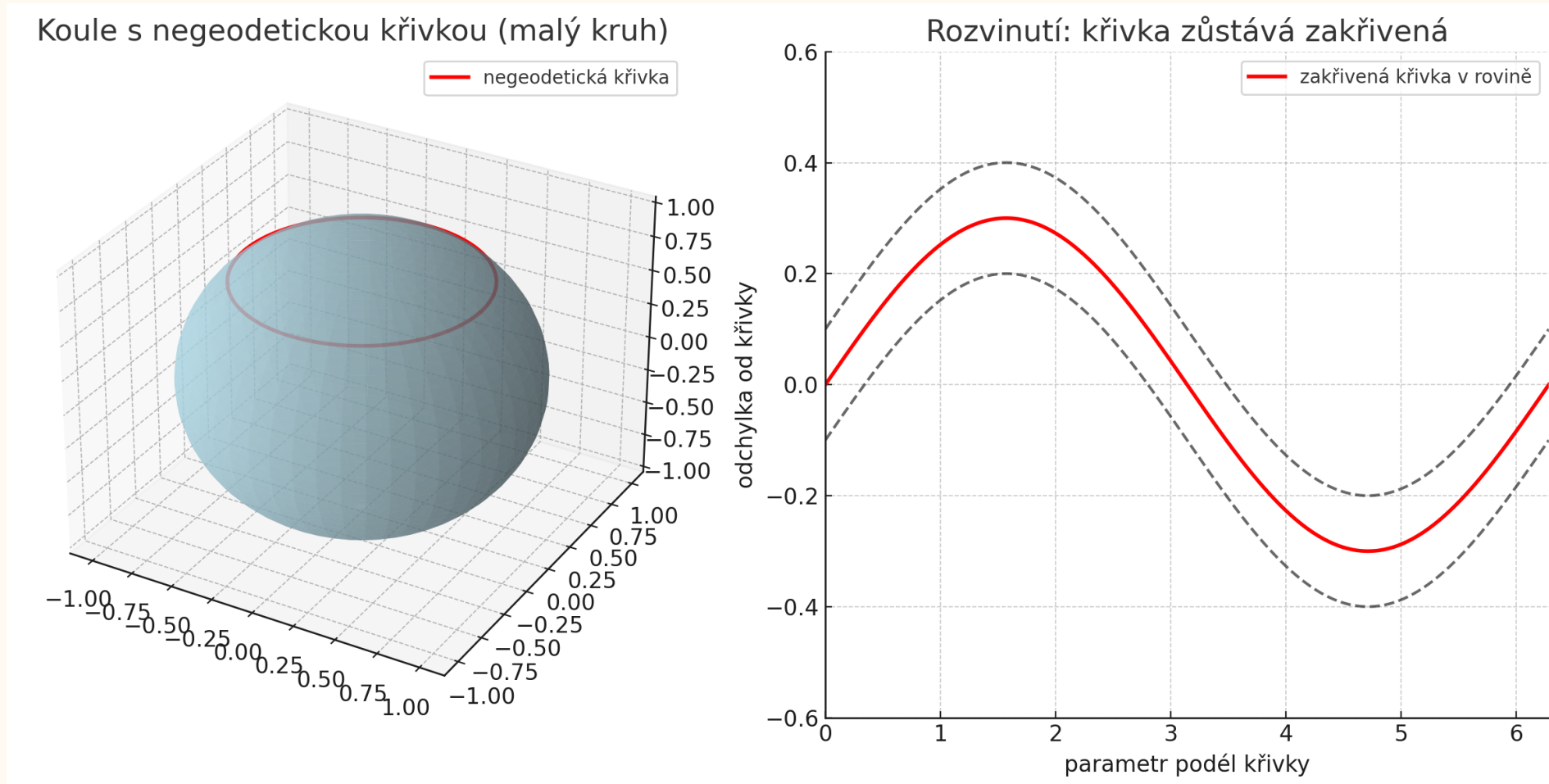
Tento efekt nemá nic společného s gravitací, protože Riemannův tenzor se v našich vzorcích nikde nevyskytuje.

Toto stanovisko je v rozporu s tvrzením, které se často vyskytuje v pracích o OTR, že příčinou rudého posuvu je gravitační pole.

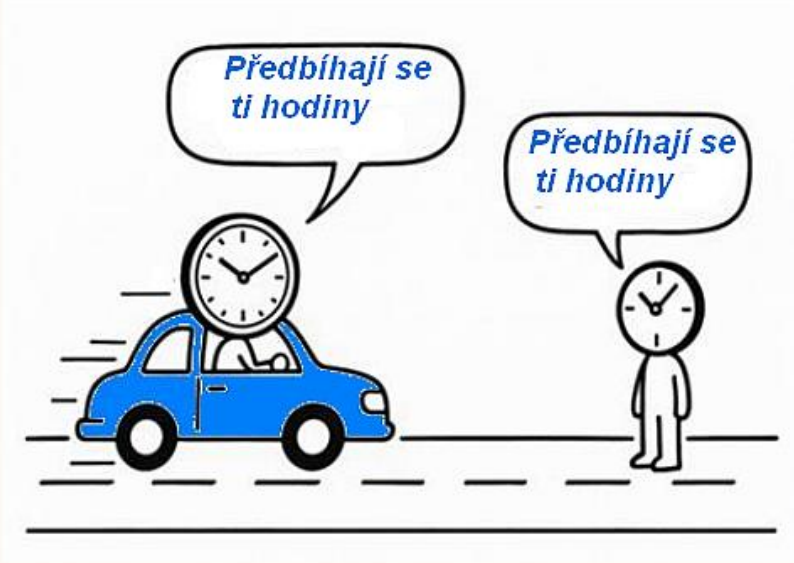
Úvahy týkající se této otázky jsou naprosto chybné, neboť představují krajně povrchní pokusy o výklad jevů bez potřebné analýzy významu použitých pojmů.

# Prostorová analogie

Okolí křivky na zakřivené ploše se dá promítnout do eukleidovské roviny

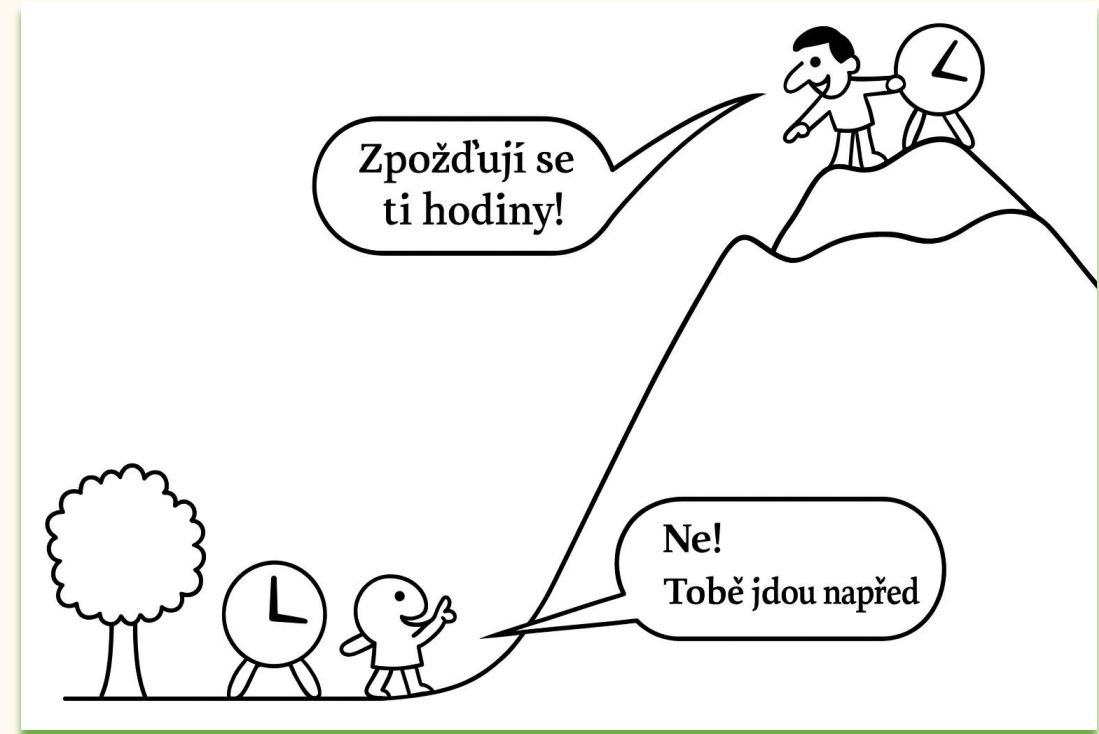


# Dilatace času a Doppler.jev



$$\Delta t' = \gamma \Delta t = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

# „Gravitační“ posun času



# Zpomalují se pohybující se hodiny?

Znamená to, že čas plyne pomaleji?      A plyne vůbec čas?

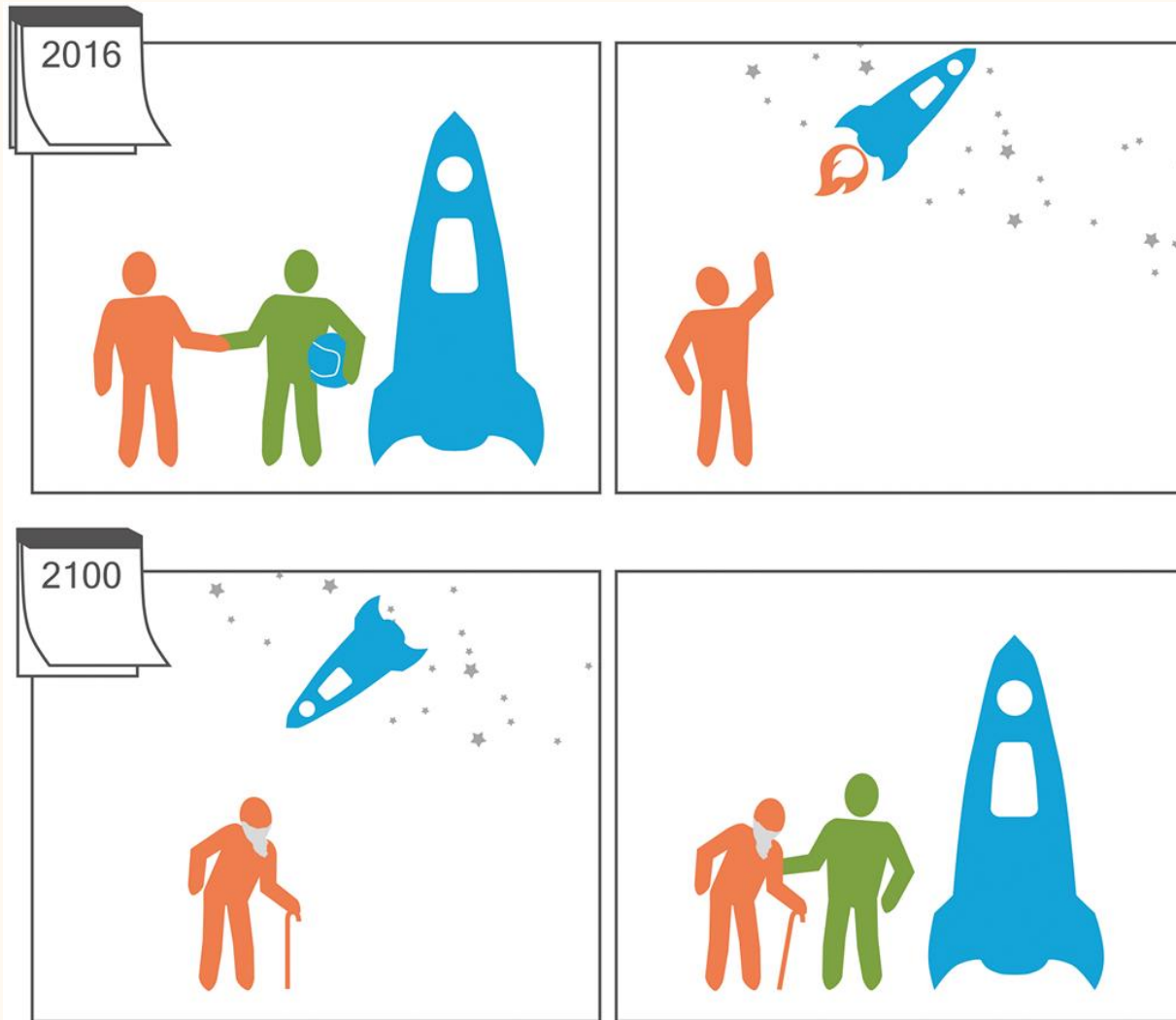
Fráze "**pohybující se hodiny jdou pomaleji**" je všeobecně užívaná a objevuje se zcela běžně více než sto let.

Uvědomujeme si, že návrh nepoužívat tuto frázi (ačkoli je správný), není příliš realistický vzhledem k "intelektuální setrvačnosti" fyzikální komunity.

Tuto intelektuální setrvačnost dobře potvrzuje Okuňův neúspěšný boj se zastaralým konceptem relativistické hmotnosti

*Citace: Do moving clocks slow down? A. Alizzi, A.Sen, Z. K. Silagadze, October 2022, European Physical Society  
European Journal of Physics, Vol. 43, Number 6 DOI 10.1088/1361-6404/ac93ca*

# Paradox dvojčat



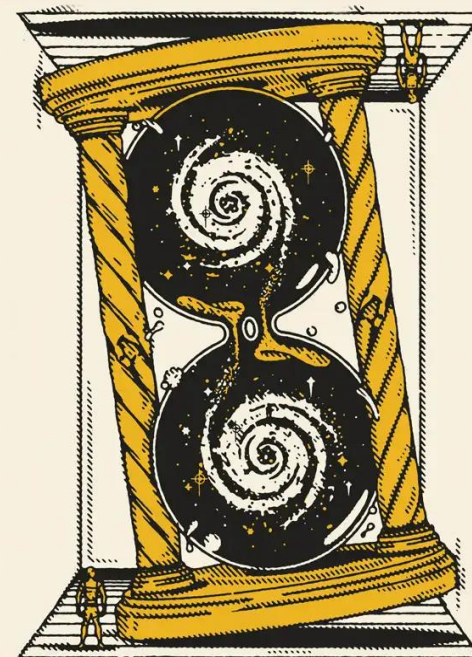
# Přednosti tohoto výkladu

Teze I

Zdůvodnění univerzálnosti ideálního času

Teze II

Významná (neočekávaná) role Dopplerova jevu



Děkuji za Váš  
Čas 😊

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$