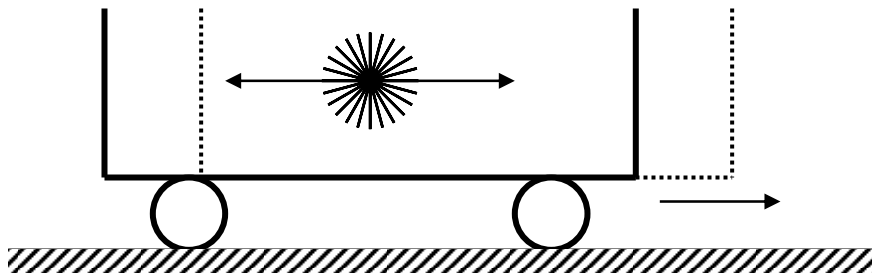


SPECIÁLNÍ TEORIE RELATIVITY

1. Základní informace

- autor – Albert Einstein
- jevy pozorované ve DVOU vztažných soustavách, které se vzhledem k sobě pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla ve vakuu
- Co uvidí „vnější“ a „vnitřní“ pozorovatel u následujícího pokusu?



2. Postuláty STR

- I. Ve všech inerciálních vztažných soustavách platí stejné fyzikální zákony*
- II. Ve všech inerciálních soustavách má rychlost světla ve vakuu stejnou hodnotu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nezávislou na směru pohybu zdroje a pozorovatele.*

Michelson – Morleyho experiment 1887

http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/mmexpt6.htm

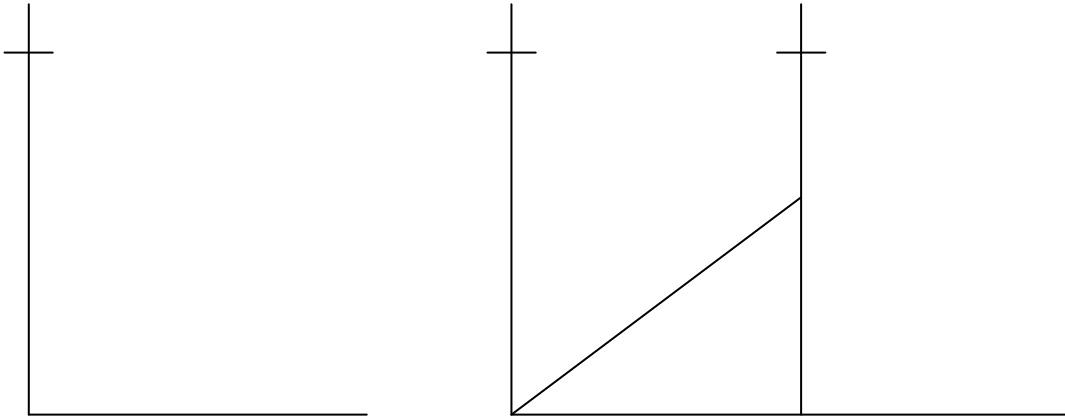
Jaká byla hlavní myšlenka experimentu?

Byl experiment úspěšný?

a) dilatace času

„Pohybující se hodiny tikají pomaleji než hodiny v klidu“

<http://www.anu.edu.au/Physics/qt/Welcome.html>



$$c^2 \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2 + v^2 \Delta t'^2$$

$$(c^2 - v^2) \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2$$

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

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

„vnitřní“ pozor. – čas na hodinách v pohybu = v jejich klidové soustavě

„vnější“ pozorovatel – čas na hodinách v klidu = mezi událostmi v pohybující se soustavě

Otázky:

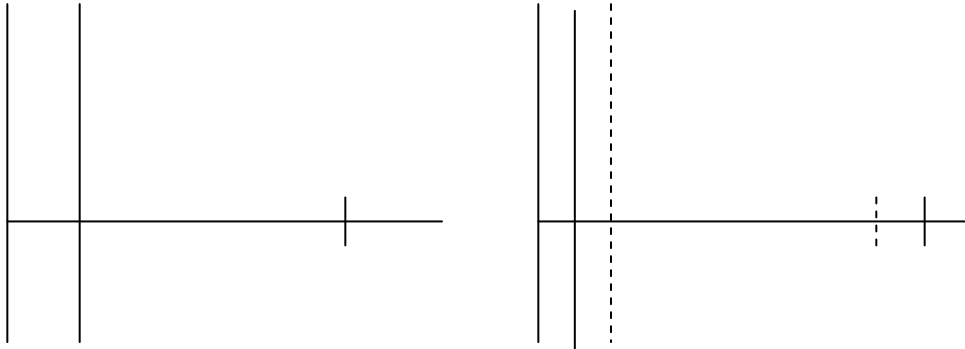
1. Paradox mionů ($207 m_e$, náboj $+e$ nebo $-e$): tyto částice vznikají ve velkých výškách, jejich střední doba života je kolem $2,2 \mu\text{s}$. Můžeme je zjistit na povrchu Země, což by nemohly stihnout, ani kdyby se pohybovaly téměř rychlostí c . Závěr – střední doba života částice, která se pohybuje velmi rychle vzhledem k nám, se pro nás změnila! Uvažujte $v = 0,9 c$ a spočítejte jakou střední dobu života mionů naměříme.

2. Mezony π^+ , $m = 273 m_e$, střední doba života $2,5 \times 10^{-8} \text{s}$, se vzhledem k nám pohybují rychlostí $0,99 c$. Jakou dráhu urazí ve své klidové soustavě a vzhledem k nám?

b) kontrakce délek

„Rychlejší se jeví kratší“

Nemůžeme změřit vzdálenost mezi konci pohybující se tyče v jednom okamžiku – co je současné v jedné vztažené soustavě není současné v jiné vztažené soustavě (viz první obrázek – záblesk světla ve vagónu)



pro pozorovatele v pohybující se soustavě K' je čas potřebný k uražení dráhy OZO'

$$t' = \frac{2l_0}{c}$$

pro pozorovatele v soustavě K :

$$|OZ|: ct_1 = vt_1 + l$$

$$|ZO'|: ct_2 = l - vt_2$$

$$\text{celkový čas } t = t_1 + t_2 = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2lc}{c^2 - v^2} > t'$$

čas je také relativní, takže:

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{odtud}$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

v klidové soustavě
pro vnějšího pozorovatele

<http://www.physicsclassroom.com/mmedia/specrel/lc.html>

<http://www.physics.ucdavis.edu/Classes/NonclassicalPhysics/animations.html>

c) relativita hmotnosti a hybnosti

„Klidová hmotnost je nejmenší“

2. N.Z.: $F_V = ma$ pokud $m = konst.$

$\Delta E_k = W$ vykonaná F_V - těleso by mělo zrychlovat do nekonečna, ale díky nutnosti zachovat energii i v relativistických úvahách při velkých rychlostech, měla by i síla potřebná k udělování zrychlení úměrně růst – není možno dosáhnout c

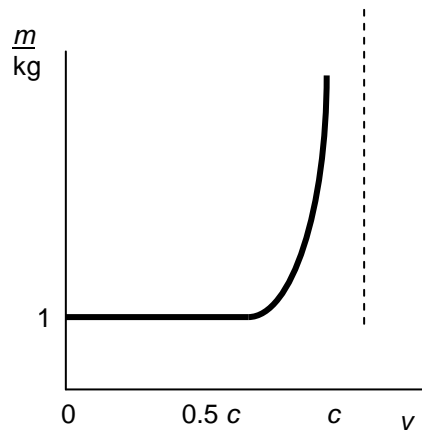
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

klidová hmotnost

hmotnost pro vnějšího pozorovatele

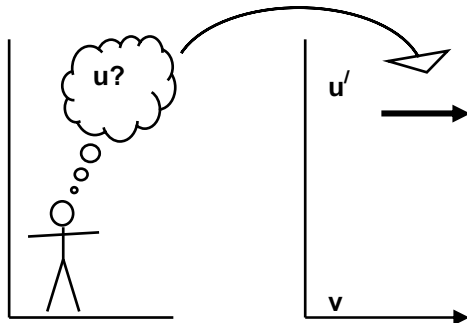
$$\vec{p} = m \vec{v} \quad \text{i v relativitě}$$

$$\vec{p} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v}$$



d) sčítání rychlostí

„Největší rychlost v jakékoli vztažné soustavě je c “



pro $v \ll c$ $u = u' + v$

pro $v \approx c$:
$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

odvoďte vztah pro $u' = c$:

e) ekvivalence hmoty a energie

Když se hmotnost tělesa změní o Δm , odpovídá tomu změna energie o ΔE :

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Příklad – vazebná energie jádra:

Hmotnost jakéhokoli jádra je vždynež součet hmotností jednotlivých nukleonů.

Je to díky energii při vzniku jádra. Chceme-li jádro opět rozdělit na jednotlivé nukleony, musíme..... stejné množství energie.

vyberte: větší/ menší, dodané/uvolněné, dodat/uvolnit

3. Shrnutí

- neexistuje žádná základní = klidová vztažná soustava
- c – největší rychlost, se kterou se 2 tělesa nebo informace mohou míjet, ostatní veličiny jsou jiné v každé vztažné soustavě!

OBEČNÁ RELATIVITA

- čas a prostor je tvořen rozložením látky a energie – nejkratší vzdálenost mezi 2 tělesy nemusí být přímka
- gravitace = zrychlení
- gravitace ovlivní čas (nastavení GPS)
- nutno použít pro extrémní situace (černé díry, ...)

Otázky:

3. Určete periodu a frekvenci „světelných hodin“ délky 5 cm in a) v jejich klidové soustavě b) v soustavě, která se vzhledem k nim pohybuje rychlostí $v = 0,7 c$.
4. Kosmická loď se vzhledem k nám pohybuje rychlostí $v = 0,5 c$. Pokud v ní vznikne světelný záblesk, jaká bude jeho rychlost v naší soustavě? Dokažte pomocí rovnice.

L7/1-9, 12-13

Odpovědi:

1. $5 \mu\text{s}$
2. $7,4 \text{ m}$; 53 m
3. $3,3 \times 10^{-10} \text{ s}$; $3 \cdot 10^9 \text{ Hz}$; $4,6 \cdot 10^{-10} \text{ s}$, $2,16 \cdot 10^9 \text{ Hz}$
4. c