

**Otázka:** Speciální teorie relativity

**Předmět:** Fyzika

**Přidal(a):** blackbird.995

### **Prostor a čas v klasické mechanice**

- klasická mechanika se řídí Newtonovými zákony
- **Cern - Španělsko**
  - částice, které se pohybují rychlostí  $\frac{1}{2}c$  a neplatí pro ně Newtonovy zákony
  
- poloha tělesa pomocí kartézského souřadnicového systému  $[x,y,z]$
- pohyb -> vzhledem k vztažné soustavě
  - v každé volíme pravouhlou soustavu souřadnic
  - bodová událost -> děj proběhne v urč. prostoru a čase (stisk tlačítka, záblesk světla)
  - popsáno  $x,y,z,t$  (čas)
    - události : souměstné ( $x,y,z$  mají stejné)
    - současné (stejně  $t$ )
    - souměstné a zároveň současné
  
- vztažné soustavy
  - inerciální (platí zákon setrvačnosti)
    - Země, třída, všechny soustavy, které jsou k Zemi v klidu nebo

- v rovnoměrném přímočarém pohybu (vzhledem k jejímu povrchu)
- neinerciální
  - vzhledem k inerciální je v nerovnoměrném pohybu
  - pohyb zrychlený, zpomalený a soustavy pohybující se po křivce (ne po přímce)

### **Předpoklady klasické mechaniky**

- čas je absolutní
  - tvrdí, že ve všech vztažných soustavách plyne čas stejně
- současnost událostí je absolutní
  - události, které se staly současně, budou současnými i pro pozorovatele
- rozměry jsou absolutní
  - délka auta je 4m a naměříme je kdekoli
- hmotnost je absolutní
  - je stálá, nezávislá na rychlosti => rychlost těles v klasické mechanice nezná mezí
- skládání rychlostí závisí pouze na jejich směru
  - buď se sčítají ve stejném směru, nebo odečítají v různém směru
- platí Gallileův princip relativity
  - ve všech inerciálních VS (vztaž. soust.) platí Newtonovy zákony, všechny jsou rovnocenné
- všechny děje týkající se klasické fyziky se pohybují v rychlostech, které jsou mnohem menší než rychlost světla ( $v \ll c$ )

### **Historie**

#### **Römer**

- „světlo se šíří konečnou rychlostí“

- 17. stol.

## Huygens

- změřil rychlost světla na 250 - 300 tis.km/s

## Fizeau

- určil rychlost světla v laboratorních podmínkách na 300 000 km/s

=> vznikla otázka: ve které vztažné soustavě má světlo tuhle rychlost?

## Teorie éteru:

- 19. stol., popisovala chování světla
- tvrdila, že světlo se šíří podobně jako zvuk ve vzduchu a to proto, že svět je obklopen světelným éterem
- světlo se díky tomu šíří všemi směry stejnou rychlostí (v inerciální soustavě)
- podle této teorie by se v různých soustavách světlo šířilo jinak (jinou rychlostí)
- předpoklad: pro změřenou  $c$  by muselo platit:
  - jedině inerciální VS spojená se světelným éterem by měla tu vlastnost, že by se vzhledem k ní světlo šířilo rychlostí světla
  - Země by musela být absolutní soustavou
    - z astronomického hlediska je ale Země nepodstatná (Slunce obíhá kolem galaktického středu, ...)
    - světlo by se muselo šířit v různých zem. šířkách na Zemi jinak (pohyb by byl ovlivněn pohybem Země v éteru)
      - => hloupost => krize fyziky

## Michelson

- změřil rychlost světla pomocí interference
- ačkoli byl přístroj dostatečně citlivý, aby zachytil změnu rychlosti světla, přesto žádný nezaznamenal

## Albert Einstein

- zpracoval princip relativity na obecně platný vzorec
- Speciální teorie relativity (1905)
  - ve všech inerciálních VS platí stejné fyzikální zákony
    - všechny IVS jsou rovnocenné a žádná absolutní neexistuje
  - princip stálé rychlosti světla
    - „ve všech IVS má rychlost světla ve vakuu stejnou hodnotu,
    - nezávisle na pohybu světelného zdroje a pozorovatele“
- Obecná teorie relativity
  - teorie chování černých děr, gravitace,...
- Nobelovu cenu dostal za vysvětlení fotoelektrického jevu

## Důsledky

1. relativnost současnosti
2. dilatace času
3. kontrakce délek
4. zvláštní skládání rychlostí (změna hmotnosti při rychlostech blízkých  $c$ )

## Relativnost současnosti

- současnost událostí platí pouze pro  $v \ll c$ , pro rychlosti blízké  $c$  současné za určitých podmínek nejsou
  - př. vagón pohybující se po rovné trati rychlostí blízké  $c$ , v něm je zdroj světla
  - => 2 nesoumísné události, které jsou v jedné IS současné,
  - současné nejsou vzhledem k jiné IVS
- pokud mluvíme o současnosti událostí, musíme uvést vztažnou soustavu

## Dilatace času

- týká se měření času mezi dvěma událostmi v téže soustavě
- zkoumá se na světelných hodinách
  - dvě zrcadla o vzdálenosti  $l_0$  a mezi nimi kmitá světelný paprsek
  - doba, za kterou světlo urazí vzdálenost mezi dvěma zrcadly a zpátky
    - $t_0 = 2l_0/c$
  - světelné hodiny necháme pohybovat rychlostí blízkou rychlosti světla
  - směr pohybu je kolmý ke směru pohybu paprsku (ve vagónu, kde paprsek kmitá od stropu k podlaze)
  - pro pozorovatele, který je vně soustavy, budou zrcadla ujíždět a jakoby paprsek urazil delší dráhu, tzn. musí to trvat déle
  - pozorovatel vůči kterému se hodiny pohybují, naměří delší dobu trvání děje, než pozorovatel, vůči němuž jsou hodiny v klidu
- dilatace času je děj, kdy pro pozorovatele vně trvá děj déle než pro pozorovatele uvnitř
  - experimentální ověření dilatace času proběhlo s částicemi pí + mezonů (= částice vznikající, když hliníkový terčík odstřelujeme rychle letícími protony)
  - tato částice je velmi nestabilní, rychle se rozpadá a její střední doba života je  $2,5 \cdot 10^{-8}$  s (pro pozorovatele uvnitř)
  - experimenty ale došly k výsledku, že částice kdyby se pohybovala rychlostí  $c$ , urazila by 7m, ale byla detekována i na delší vzdálenost -> chybělo vysvětlení
  - pozorovatel mimo částici naměří skoro 7 krát delší životnost a vzdálenost až 52m???

### **Experiment pomocí atomových hodin v letadle**

- další experimentální důkaz byl proveden pomocí cesiových atomových hodin (jedny v letadle, které letělo kolem Země a druhé na Zemi), rozdíl byl 200 nanosekund, ale při vzletu a přiletu je letadlo neinerciální soustavou

### **Paradox dvojčat**

- pokud máme dvě dvojčata a jedno z nich se vydá raketou na cestu do vesmíru a zpět rychlostí blízkou rychlosti světla, pak bude dvojčeti na raketě ubíhat čas pomaleji (bude pomaleji stárnout), ačkoli dvojčeti na Zemi bude čas ubíhat normálně

### **Kontrakce délek**

- poněvadž měření délky pohybujícího se předmětu vyžaduje současné určení poloh koncových bodů měřeného předmětu a současnost událostí je relativní pojem, je rovněž délka předmětu relativním pojmem (vzhledem k volbě vztažné soustavy)
- v soustavě v níž se těleso pohybuje, naměříme menší délku než v soustavě klidové (v kosmické lodi tyč o délce 1m, ale ze Země ho naměříme jako kratší, kvůli rychlosti té kosm. lodi)
- předpokládáme, že se pohybuje předmět uložený v soustavě ve směru osy  $x$  a ta soustava se pohybuje taky po ose  $x$  (pokud bych předmět umístila k ose  $y$ , tak by se jeho délka nezměnila)

### **Skládání rychlostí blízkých $c$**

- pokud se soustava pohybuje vzhledem k jiné vztažené soustavě rychlostí  $v$  a částice ve vagónu se pohybuje rychlostí  $u$  ve směru trajektorie  $\rightarrow +$ , proti směru pohybu
- $u = (u' + v) / (1 + (u' * v / c^2))$
- uvažujeme IVS  $K'$  pohybující se vzhledem k jiné IVS  $K$  rychlostí  $v$
- $u'$  = rychlost částice
- pro malé rychlosti je jmenovatel velmi blízký jedničce a vzorec odpovídá klasickým vzorcům fyziky
- pro rychlost soustavy opačnou než je rychlost částice, dosazujeme v záporné

## Základní pojmy relativistické dynamiky

- dynamika = příčina pohybu
- srovnání v klasické a relativistické fyzice:
  - v klasické fyzice hmotnost je na rychlosti nezávislá
  - relativistická - v klidové soustavě nejmenší hmotnost, se stoupající rychlostí vyšší hmotnost
  - $m = (m_0) / (\text{odmocnina z } 1 - (v^2 / c^2))$
  - s rostoucí rychlostí by musela růst síla, která by tělesu dodávala potřebné zrychlení (ale čím víc se blíží rychlosti světla, tím je těleso hmotnější)
  - žádné těleso s nenulovou klid. hmotností tedy nemůže dosáhnout rychlosti světla nebo ji překročit
  - ověřeno na urychlovačích částic, tam se podařilo dosáhnout a změřit hmotnost částice 40 000 krát vyšší než klidová
    - rychlost té částice by se lišila od  $c$  zhruba o 0,1 m/s

## Zákon zach. hybnosti:

- i pro relativistické objekty (s rel. hmotností) platí zákon zachování hybnosti
- platí i zákon zachování hmotnosti

- $p_0 = m_0 \cdot v$  (hybnost je součin hmotnosti a rychlosti) - hybnost v klas. fyzice
- celková relativistická hybnost v izolované soustavě zůstává u všech dějů probíhajících uvnitř konstantní
- je to vekt. veličina, o směru hybnosti rozhoduje směr rychlosti
- v urychlovači v Stratfordu - ověření proběhlo při srážkách částic urychlených až na 90%  $c$

### Vztah mezi hmotností a energií:

- těleso může mít E kinetickou, potenciální, vnitřní - vzhledem k soustavě se nemění (v klasické fyzice)
- změna E závisí na změně hmotnosti
- změna celkové E soustavy je úměrná přírůstku její hmotnosti
- $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$
- přírůstek hmotnosti vzhledem k zahřívání je velmi malý až neměřitelný
- celková energie závisí na hmotnosti:  $E = m \cdot c^2$
- při experimentálním dokazování bylo nutné dokázat, že při změně energie se změnila hmotnost, pro makroskopické těleso je to neměřitelné
  - urychlovače jaderné fyziky
  - toto je ale využíváno při řízení jaderné reakce
    - Chicagské fotbalové hřiště během II. světové války
    - Einstein, Openheimer
- toto bylo použito na vysvětlení termojaderných reakcí uvnitř hvězd
- klidová E:  $E_0 = m_0 \cdot c^2$
- $E = E_0 + E_k$
- zákon zachování E platí i pro relativistickou fyziku
  - celková E v izolované soustavě zůstává při všech dějích probíhajících uvnitř soustavy konstantní
- v relat. fyzice s tímto zákonem úzce souvisí zákon zach. hmotnosti, změna hmotnosti úzce souvisí se změnou E
- při zkoumání částic (deuteron = částice složená z protonů a neutronů, jeho celková



hmotnost je menší než součet hmotností protonů a neutronů ze kterých se skládá), na to, abychom rozdělili deuteron na proton a neutron musíme dodat E, která odpovídá vazebné E těchto částic

- rozdíl mezi hmotnostmi protonu a neutronu se nazývá hmotnostní úbytek
- vazebná E deuteronu
- v jednotkách eV (elektron volt) =  $1,6 * 10^{-19}$ J
- při vzniku deuteronu se vazebná E uvolní
- k rozložení deut. musíme E dodat
  - při slévání jednoduchých částic se uvolňuje E (ale je to za vys. teplot
- příliš vysoká klidová E způsobuje, že u makroskopických těles nepoznáme rozdíl v E