

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 pravoúhlou 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 Galileův 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:
 - jediné 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
 - \Rightarrow 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 vztažné soustavě rychlostí v a částice ve vagónu se pohybuje rychlostí u ve směru trajektorie $\rightarrow +$, proti směru pohybu
- $u = (u' + v) / (1 + (u' * v / c * c))$
- 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 experimentální dokazování bylo nutné dokázat, že při změně energie se změní hmotnost, pro makroskopické těleso je to neměřitelné
 - urychlovače jaderné fyziky
 - toto je ale využíváno při řízené jaderné reakci
 - Chicagské fotbalové hřiště během II.světové války
 - Einstein, Openheimer
- toto bylo použito na vysvětlení termionukleárních 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