2. Popis fyzikálního systému v různých vztažných soustavách, Invariance fyz. zákonů vzhledem k transformacím.

Vliv volby soustavy souřadnic na popis pohybu částic, unášivé zrychlení

- volba SS může ovlivnit pohybové rovnice – často se volí tak aby byly co nejjednodušší
- neexistuje soustava absolutního klidu
- u volné částice lze vždy najít soustavu, kt. je v klidu nebo pohybu RPČ
  a čas se jeví homogenní a prostor homogenní ($L \neq f(\vec{r})$) a izotropní ($\vec{v} \to v$)
  - => Lag. závisí pouze na velikosti rychlosti $L = L(v^2)$
  - – z Lag.-Eul. rovnic zjistíme, že $v = konst.$ $\quad \frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \vec{v}} = \frac{\partial L}{\partial \vec{r}} = 0$
    $\Rightarrow \frac{\partial L}{\partial \vec{v}} = const.$
- když zvolíme soustavu, která se vůči 1. soustavě pohybuje rychlostí $\vec{u}$ bude pohyb opět RPČ
  - => existuje nekonečně mnoho takových soustav (inerciálních) = Galileiho princip
- inerciální soustava – soustava, která se ke zvolené soustavě pohybuje konstantní rychlostí
- neinerciální soustava – soustava, která se ke zvolené soustavě pohybuje zrychleně
  - – nejjednodušší s konstantním zrychlením = a_u ... unášivé zrychlení

Nerelativistická mechanika, pohybové zákony, Galileova transformace + princip relativity

- inerciální vztažná soustava – Galileiho transformace – rychlost $\vec{u} = konst.$

  $$\vec{r} = \vec{r}\,' - \vec{u}\cdot t, \quad \vec{v} = \vec{v}\,' - \vec{u}, \quad t = t' \ \text{(homogenita)}$$

  - platnost pohybových zákonů? $\qquad t = -t$ (izotropie)

  $$\frac{d\vec{u}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$$ => Newtonovy zákony jsou vůči Gal. transformaci invariantní = Galileiho princip relativity
- neinerciální vztažná soustava – volba $\vec{a}_u = konst.$ (ale může se měnit)

  $$\vec{r} = \vec{r}\,' - \frac{1}{2}\vec{a}_u t^2, \quad \vec{v} = \vec{v}\,' - \vec{a}_u t, \quad \vec{a} = \vec{a}\,' - \vec{a}_u \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}' - m\cdot\vec{a}_u$$ – setrvačná síla (fiktivní)

  => neplatí 1. a 3. Newtonův pohybový zákon; a kdyby soustava rotovala dopadne

Relativistická mechanika, princip stálé rychlosti světla, Lorentzova transformace

- Maxwellovy rovnice nejsou invariantní vůči Galileově transformaci
  - nefunguje klasické skládání rychlostí <=> <u>princip stálé rychlosti světla</u>
- Einstein formuloval postuláty:
  - mech., opt. a elmag. jevy probíhají ve všech inerciálních soustavách podle stejných zákonů => Maxwellky mají ve všech soustavách stejný tvar
  - rychlost světla ve vakuu je nezávislá na rychlosti zdroje ani pozorovatele
- používá se jiná metrika – hledáme transformaci, kt. by splnila podmínku

$$x^2+y^2+z^2-c^2t^2 = x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2$$

=> Lorentzova transformace: (pohyb jen v x rychlostí v): $\Lambda = \begin{pmatrix} \gamma & \frac{v}{c}\gamma & 0 & 0 \\ \frac{v}{c}\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

- změní se i rychlosti: pokud se S vůči S' pohybuje rychlostí $\vec{u} = (0,0,u)$

$$v_x = \frac{v_x' + u}{1+\frac{v_x u}{c^2}}, \quad v_y = \frac{v_y'}{\gamma\left(1+\frac{v_x u}{c^2}\right)}, \quad v_z = \frac{v_z'}{\gamma\left(1+\frac{v_x u}{c^2}\right)}$$

Klasická elektrodynamika, invariance rovnic elmag. pole při transformaci

- tenzor elmag. pole: $F_{ik} = \frac{\partial A_k}{\partial x^i} - \frac{\partial A_i}{\partial x^k}$, kde A_i je čtyřpotenciál

$$\Rightarrow F^{ik} = \Lambda^i_m \Lambda^k_n F'^{mn}$$

$A_i = \left(\frac{\phi}{c}, \vec{A}\right)$

$x^i = (ct, \vec{x})$

- při transformaci při pohybu ve směru x

$$E_x = E_x' \quad E_y = \gamma(E_y' + vB_z') \quad E_z = \gamma(E_z' - vB_y')$$

$$B_x = B_y' \quad B_y = \gamma\left(B_y' - \frac{v}{c^2}E_z'\right) \quad B_z = \gamma\left(B_z' + \frac{v}{c^2}E_y'\right)$$

$$F_{ik} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{E_x}{c} & \frac{E_y}{c} & \frac{E_z}{c} \\ -\frac{E_x}{c} & 0 & -B_z & B_y \\ -\frac{E_y}{c} & B_z & 0 & -B_x \\ -\frac{E_z}{c} & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix}$$

- při malých rychlostech přechází do $\vec{E} = \vec{E}' - \vec{v}\times\vec{B}$, $\vec{B} = \vec{B}'$
- invarianty:

$$F_{ik}F^{ik} = -2\left(\frac{\vec{E}^2}{c^2} - \vec{B}^2\right), \quad F_{ik}{}^*F^{ik} = 4\frac{\vec{E}\cdot\vec{B}}{c}$$

$${}^*F_{ik} = \begin{pmatrix} 0 & -B_x & -B_y & -B_z \\ B_x & 0 & -\frac{E_z}{c} & \frac{E_y}{c} \\ B_y & \frac{E_z}{c} & 0 & -\frac{E_x}{c} \\ B_z & -\frac{E_y}{c} & \frac{E_x}{c} & 0 \end{pmatrix}$$

duální tenzor