FYZIKA DĚJŮ A PROCESŮ

I. Úvod

Technická fakulta

Česká zemědělská univerzita v Praze

Maximální rozsah předmětu

1. Fyzikální systémy a jejich vlastnosti
2. Periodické děje a periodicita
3. Volný kmitavý pohyb
4. Tlumený jednoduchý harmonický pohyb
5. Buzený harmonický oscilátor, jeho energie, aplikace
6. Postupné vlnění, polarizace a skládání vln, vlnová rovnice, aplikace
7. Stojaté vlnění, souvislost s vlastními kmity, tlumení, energie
   Aplikace stojatého vlnění na řešení praktických problémů:
   struna, nosník, deska.
8. Elektrické a elektromagnetické vlny, základní vlastnosti
9. Elektromagnetické vlny, aplikace výsledků získaných v oblasti mechanických vln
10. Vývoj složitých systémů, termodynamická omezení, entropie
11. Fundamentální změny systémů - růstové funkce a kinetické rovnice, křivky přežití
12. Transportní rovnice v jednoduchých systémech, základní pojmy a vztahy
13. Transportní rovnice hmoty, difuse a tok látek a hmotných částic
14. Transportní rovnice „energie“, elektrický proud, vedení tepla, tok elektromagnetického záření

Fyzikální systémy a jejich vlastnosti

Literatura ke kapitole 1

Učebnice – Fyzika dějů a procesů (k dostání na katedře fyziky)

http://home.czu.cz/sedlacek/

Brdička, M., Hladík, A.: Teoretická mechanika. Academia, Praha 1987, 581 s.

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika. Část 1. Mechanika. VUTIUM/PROMETHEUS, Praha 2000, s. 1-328.

Horák, Z., Krupka, F., Šindelář, V.: Technická fysika. SNTL, Praha 1960. 1435 s.

Kvasnica, J.: Termodynamika. SNTL, Praha 1965, 394 s.

Kvasnica, J.: Statistická fyzika. SNTL, Praha1983, 314 s.

Kvasnica, J., Havránek, A., Lukáč, P., Sprušil, B.: Mechanika. Academia, Praha 1988, 476 s.

Landau, L., Lifšic, E.: Mechanika. Izdatelstvo „Nauka“, Moskva 1965, 204 s.

Fyzikální systém

- **Je část fyzikálního vesmíru**
- **Okolí systému – ta část přírody, která do daného systému nepatří**
- **Chování systému je dáno jeho fyzikálním stavem**
- **Stav systému popisují stavové proměnné a stavové funkce**
- **Stav systému mění děj resp. posloupnost dějů (proces)**
- **Parametry systému:**
- **vnější - popisují působení okolí na systém**
- **vnitřní - charakterizují pouze daný systém**
- **Reálné systémy jsou zjednodušovány do modelových systémů:**
- **hmotný bod, ideální plyn, ideální kapalina, atd.**

Klasická mechanika časoprostoru

Významnou změnou fyzikálního systému je změna časoprostorové konfigurace – pohyb – tím se zabývá mechanika

Klasická Newtonova mechanika – vybudována na představě o silovém působení mezi hmotnými body resp. tělesy (prostřednictvím silových polí)

- je formulována pomocí vektorů

Polohový vektor v kartézské soustavě souřadné určuje okamžitou polohu hmotného bodu:

$$\boxed{\vec{r}_i = x_{1i}\vec{e}_1 + x_{2i}\vec{e}_2 + x_{3i}\vec{e}_3 \equiv x_{ki}\vec{e}_k \, (k = 1,2,3)}$$

Kartézská base

Násobení vektoru skalárem

$\vec{b} = c\,\vec{a}$

$|\vec{b}| = c\,|\vec{a}|$

1 c větší než 0
2 c rovno 0
3 c menší než 0

Kolinearita vektorů $\vec{a}$ $\vec{b}$

$\vec{b} = c\,\vec{a}$

Koplanarita vektorů $\vec{a}$ $\vec{b}$ $\vec{c}$

$\vec{c} = d_1\,\vec{a} + d_2\,\vec{b}$

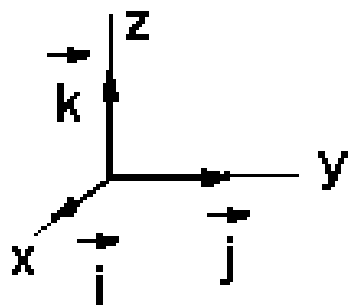
Rovnají-li se sobě dva vektory, rovnají se sobě i stejnojmenné složky

Base

Jakýkoliv vektor je lineární kombinací vektorů base

rovina: dva nekolineární vektory
prostor: tři nekoplanární vektory

Kartézská soustava souřadná



x, y z - osy souřadné

$\vec{i}$ $\vec{j}$ $\vec{k}$ - jednotkové vektory
vektory base

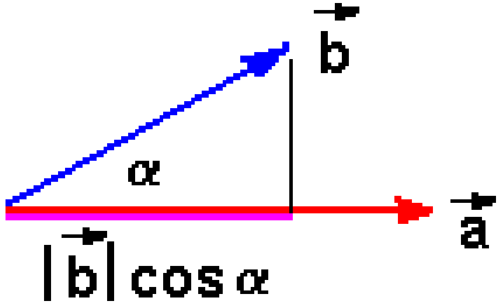
$$\boxed{\vec{a} = a_x\,\vec{i} + a_y\,\vec{j} + a_z\,\vec{k}}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

a_x a_y a_z složky

Skalární součin vektorů

$$\underline{\vec{a}\cdot\vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}|\cos\alpha}$$



$$\boxed{\begin{array}{l}\vec{i}\cdot\vec{j} = 0\\ \vec{i}\cdot\vec{i} = 1\end{array}}$$

$$\vec{a}\cdot\vec{a} = |\vec{a}|^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2$$

$$\vec{a}\cdot\vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$$

$$\vec{a}\cdot\vec{i} = a_x$$

$$\cos\alpha = \frac{\vec{a}\cdot\vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|} = \frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}\,\sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}$$

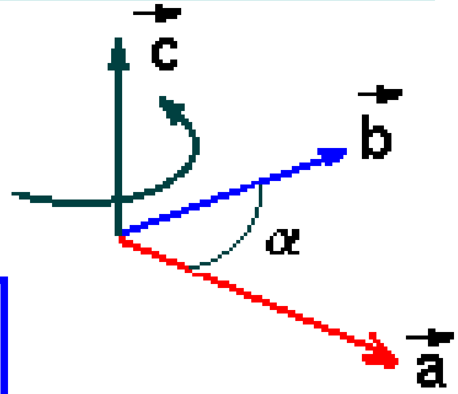
směrové kosiny

- úhly mezi vektorem a příslušnými osami souřadnými

$$\cos\alpha = \frac{\vec{a}\cdot\vec{i}}{|\vec{a}||\vec{i}|} = \frac{a_x}{|\vec{a}|}$$

Vektorový součin

$$\left|\vec{a}\times\vec{b}\right| = |\vec{a}|\left|\vec{b}\right|\sin\alpha = |\vec{c}|$$



$\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}$

$\vec{i} \times \vec{i} = 0$

1. velikost: $|\vec{a}||\vec{b}| \sin\alpha$
2. směr je kolmý na $\vec{a}$ i $\vec{b}$
3. tvoří pravotočivou soustavu s vektory $\vec{a}$ i $\vec{b}$
4. nulový vektor, jsou-li $\vec{a}$ a $\vec{b}$ kolineární
5. $\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_y b_z - b_y a_z)\vec{i} + (a_z b_x - b_z a_x)\vec{j} + (a_x b_y - b_x a_y)\vec{k}$$

Soustava *N* částic S(*N*)

- soustavu *N* hmotných bodů označujeme symbolem S(*N*),
- místo pojmu hmotný bod budeme používat pojem částice

<u>volná</u> soustava – pohyb částic není omezen – lze popsat Newton. ricemi:

$$\boxed{m_i \dot{\vec{v}}_i = \vec{F}_i (i = 1,..., N)}$$

-<u> platí v inerciální soustavě</u> – tj. tam, kde platí 1. NZ

<u>na soustavu S (*N*) zpravidla působí vazby</u> (omezení) vyjádřené rovnicí či nerovnicí)

- vazby dvoustranné (udržující),

- vazby jednostranné (neudržující)

- rovnice $f(\vec{r}_1,...,\vec{r}_n;t) = 0$ **charakterizuje**

<u>*holonomní*</u> (integrabilní) vazbu - v rovnicích pouze čas a souřadnice

- může být vyjádřena také diferenciální rovnicí

Soustava *N* částic S(*N*)

Neholonomní vazby (v nich i další složky – např. rychlost)

reonomní *(nestacionární)* **– ve vazbové podmínce vystupuje explicitně čas**

skleronomní *(stacionární)* **opak reonomní podmínky**

geometrické **- ve vazbové podmínce pouze souřadnice, speciální případ skleronomních podmínek**

kinematické **– ve vazbových podmínkách vystupují také rychlosti**

Úvod do zobecněných souřadnic pro vázané částice

- soustava částic S(*N*) omezena *s* holonomními vazbovými podmínkami:

$$\boxed{\varphi_j\left(\vec{r}_1,\ldots,\vec{r}_N;t\right)=0;(j=1,\ldots,s)}$$

Počet stupňů volnosti soustavy je *f* = 3*N* – *s*

- eliminace *s* závislých souřadnic:

Transformací původních 3*N* souřadnic na *f* nových nezávislých zobecněných souřadnic: $q_1, q_2, \ldots, q_f$

- původní souřadnice jsou:

$$\boxed{x_{ki}=x_{ki}\left(q_1,\ldots,q_f;t\right);}\qquad k=1,2,3,\; i=1,\ldots N$$

- nové zobecněné souřadnice definují bod v *f*-rozměrném prostoru

Jednoduchý příklad

Jedna částice, jejíž pohyb je vázán na kružnici:

místo dvou kartézských souřadnic x_1 a x_2 splňující holonomní resp. skleronomní (geometrickou) vazbovou rovnici:

$$\boxed{\left|\vec{r}\right|^2 = r^2 = x_1^{\ 2} + x_2^{\ 2}}$$

stačí použít jednu zobecněnou souřadnici φ, pomocí níž vyjádříme obě kartézské souřadnice:

$$\boxed{\begin{aligned} x_1 &= \left|\vec{r}\right| \cos\varphi \\ x_2 &= \left|\vec{r}\right| \sin\varphi \end{aligned}}$$

Newtonovy pohybové zákony

I. *<u>Zákon setrvačnosti</u>* **Volné hmotné body v inerciální soustavě, je to spíše podmínka: „ Hmotný bod zůstává …..“, ustavuje <u>inerciální soustavy</u>**

II. *<u>Zákon síly</u>*

$$\boxed{\dot{\vec{p}}_i = \vec{F}_i}$$

fundamentální zákon klasické mechaniky

III. *<u>Akce a reakce</u>* **Symetrie působících sil, základ dynamické rovnováhy**

- použití NZ pro vázané soustavy vede k problémům:

1. **Pohybové rovnice nezahrnují vazby**
2. **Vazbové síly jsou neznámé**

- proto je Newt. mechanika vhodná ke studiu volných a nikoliv vázaných soustav

- pro vázané soustavy je třeba použít variační principy z analytické mechaniky

Úvod do analytické mechaniky

Eulerovy-Lagrangeovy rovnice

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial L}{\partial q_i}=0}$$

$L = L(q_i(t),t) = T - U$

Lagrangeova funkce

T – kinetická energie

U – potenciální energie

<u>nekonzervativní systémy</u> - potenciální energie v zobecněném smyslu,

veličiny *T* a *U* můžeme je vyjádřit v libovolných souřadnicích,

k určení pohybu systému nemusíme zavádět ani pojem síly a dokonce ani vazbové podmínky!

Úvod do analytické mechaniky

Hamiltonovy kanonické rovnice

<u>Převod Eulerových-Lagrangeových rovnic na kanonický (Hamiltonův) tvar</u>

<u>(z dif. rovnic 2. řádu na dif. rovnice 1. řádu):</u>

- zavedení zobecněných hybností

$$p_i \equiv \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = p_i(q, \dot{q}, t); \qquad i = 1, \ldots, f$$

- **přechod od proměnných** $(q_i, \dot{q}_i)$ **k proměnným (*q_i*, *p_i*):**

- **kde:**

$$\boxed{H(q_i, p_i, t) = \sum_{j=1}^{f} p_j \dot{q}_j - L(q_i, \dot{q}_i, t)\Big|_{\dot{q}_i \to p_i}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \dot{q}_i &= \frac{\partial H}{\partial p_i} \\ \dot{p}_i &= -\frac{\partial H}{\partial q_i} \\ \frac{\partial H}{\partial t} &= -\frac{\partial L}{\partial t} \end{aligned}}$$

Funkce *H*(*q_i*, *p_i*, *t*) se nazývá <u>Hamiltonova funkce (Hamiltonián)</u>

- má rozměr energie,

- pokud *L* nezávisí explicitně na čase, tj. platí-li $\partial L / \partial t = 0$ **, *H* se nemění,**

- ve většině případů je *H* totožné s celkovou energií systému: *H* = *T* + *U*

Cvičení

1. **Diskutujte stavové parametry, které můžeme přiřadit fyzikálnímu systému, tvořeným hmotným bodem.**
2. **Diskutujte stavové parametry, které můžeme obecně přiřadit termodynamickému systému.**
3. **Diskutujte stavové parametry fyzikálního systému, tvořeného planetou Země, popř. Sluneční soustavou.**
4. **Diskutujte zvláštnosti fyzikální soustavou tvořenou celým vesmírem.**
5. **Prostřednictvím polohového vektoru popište body, které leží na kruhové trajektorii o poloměru 4 v rovině dané vektory base a její střed je dán polohovým vektorem.**
6. **Těleso o hmotnosti m_1 a těleso o hmotnosti m_2 jsou spojeny nehmotným, neprodlužujícím se vláknem délky l, vedeným přes nehmotnou kladku o poloměru R, která se volně otáčí bez tření (viz. obr. 1) Takovéto uspořádání se nazývá Atwoodův padostroj. Určete pohyb obou těles.**