

7. Vlnové jevy, popis a základní charakteristika, příklady, aplikace

1/2

Veličiny, druhy vlnění, vznik vlnění

- "kmitání šířící se v prostoru" - podle směru kmitání máme vlnění $\begin{cases} \text{podélné} \\ \text{příčné} \end{cases}$
- charakterizováno amplitudou, fází a rychlostí šíření
- výchozí popis vlny fáz, která splňuje vlnovou rovnici $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$
- postupná vlna: $u(x, t) = A \cdot \sin(\omega t - kx) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
 - příčné a podélné (světlo) (zvuk)
- stojatá vlna: $u(x, t) = A \cdot \sin(kx) \sin(\omega t)$, kde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
 - ~~postupná~~ příčné a podélné (strunné) (dechové) (vlnění)
 - λ = vlnová délka, T = perioda

druhy vlnění:

- mechanické - akustické vlny, vlny hladiny - šíří se NZ
- elektromagnetické - světlo, popsané Maxwellovými - šíří se vakuem
- de Broglieho vlnění hmoty - kvantový charakter element. částic

- podle tvaru vlnoplochy: (= body se stejnou vzdáleností od zdroje)

- kulová - amplituda klesá se vzdáleností $I = \frac{P}{S} \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow A = \frac{A_0}{r}$
- rovinná - neklesá $|S| = 1$

zdroje vlnění (mechanického)

- oscilátory s vazbou
- pružné prostředí

Superpozice vlnění - složený vlnění podobně jako u kmitů $u(x, t) = u_1(x_1, t) + u_2(x_2, t)$

- interference: • konstruktivní - $\Delta \varphi = 2\pi m \Rightarrow \Delta x = \lambda \cdot m$

• destruktivní - $\Delta x = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$

- u protiběžných vlnění $u(x, t) = u_0 \sin \omega t \cos kx$

- stojaté vlnění

$$u = 2u_0 \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t - \frac{k_1 + k_2}{2}x\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t - \frac{k_1 - k_2}{2}x\right)$$

- vznik interf. obrazů u světla

- fázová a grupová rychlost: $v_g = v_f - \lambda \frac{dv_f}{d\lambda}$

- disperze: $v = f(\lambda)$ klasický
- anomální $v = f(\lambda)$ relativistický
- normální

Šíření vln prostředím, podmínky na rozhraní

Doppler: $f_p = f_0 \frac{v - w}{v - u}$ (pohybující se zdroj)
 $f_p = f_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$ (pohybující se pozorovatel)
 - přibližování

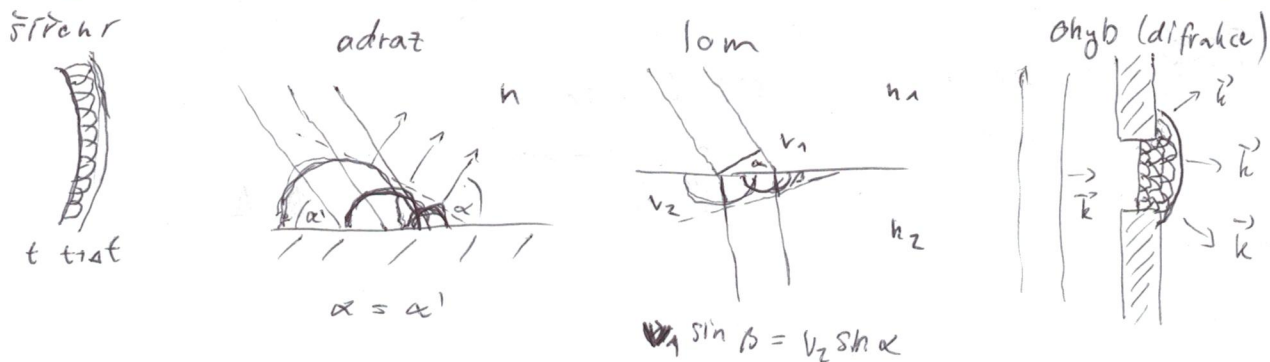
- v izotropním prostředí se šíří konstantní rychlostí
- pojem vlápnost - body se stejnou vzdáleností od zdroje - kmitají se stejnou frekvencí

$$I = \frac{P}{S} = \frac{dP}{dS} \approx A^2$$

↑
křivka

kulové vlny $S \sim r^2 \Rightarrow A = \frac{A_0}{r}$
 rovinné vlny $(S=1) \Rightarrow A=A_0$

- Huygensův princip - každý bod je zdrojem dalších element. vlápností



- Fermatův princip (nejmenšího času) - všechny jevy jsou důsledkem rytmického světla

- všechny jevy lze vyjádřit pomocí jediné rovnice:

- síťka mřížky

$$d n_1 \sin \alpha_1 - d n_2 \sin \alpha_2 = m \lambda$$
 - vlnová délka vlnění, $m = 0, 1, 2, \dots$

odraz	lom
$n_1 = n_2$	$n_1 \neq n_2$
$m = 0$	$m = 0$
\downarrow	\downarrow
$\alpha_1 = \alpha_2$	$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$

$$R_s = \left[\frac{n_1 \cos \varphi_i - n_2 \cos \varphi_t}{n_1 \cos \varphi_i + n_2 \cos \varphi_t} \right]^2$$

$$R_p = \left[\frac{n_1 \cos \varphi_t - n_2 \cos \varphi_i}{n_1 \cos \varphi_t + n_2 \cos \varphi_i} \right]^2$$

- Fresnelovy vztahy - na rozhraní se jinak odrazí s a p polarizace

Vlnové jevy v mechanice spojitých prostředích - akustika

- zvuk = mechanické vlnění látkového prostředí
 - místo výhybků se používá akustický tlak
- plyny - podélné
 kapaliny - podélné
 pevné látky - podélné i příčné

$$P_0 = \rho v \omega u_0$$

akustická impedance rychlost šíření

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}}$$

akustická impedance rychlost šíření

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 u_0^2 \quad [I] = \text{dB} \quad a[\text{dB}] = 10 \log \frac{b}{b_0}$$

- obecně nelineární - rychlost se zvyšuje s amplitudou

Vlnové jevy v eldynam a optice, interference, difrakce

- světlo jako elmag vlnění: $\Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$, $\Delta \vec{H} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$, kde $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$

- ve vakuu: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \Rightarrow n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ intenzita
mag. pole

- Poyntingův vektor: $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$, $|\vec{P}| \dots$ intenzita ~~vlnění~~

- zdroje světla: tepelné zdroje - Planckův vyzařovací zákon
 výbojky - excitace atomů, diskrétní spektrum
 luminiscentní zdroje - excitace \rightarrow kaskádová deexcitace
 zářivky - kombinace výbojek a luminescence
 LEDky - PN přechod
 laser - metastabilní hladiny \rightarrow stimulovaná emise

- interference - podobně jako u kmitů: $u(x, t) = u_0 \sin(\omega t - kx)$

- pouze pro koherentní ~~vlnění~~ vlnění

$$u_0 = \sqrt{u_{0,1}^2 + u_{0,2}^2 + 2 u_{0,1} u_{0,2} \cos[k(x_1 - x_2) + \varphi_1 - \varphi_2]}$$

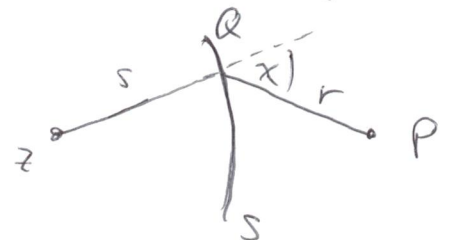
- koherence prostorová - ze dvou míst na povrchu tělesa
- koherence časová - z jednoho místa s časovým odstupem

- difrakce

• Huygensův - Fresnelův princip

$u(P, t) = \int_S \frac{A \cdot k(x)}{s \cdot r} e^{i[\omega t - k(r-s)]}$ faktor sklonu element plochy

$k(x) = \frac{i}{\lambda} \frac{1 + \cos x}{2} \approx \frac{i}{\lambda}$... pro malé úhly



- Fraunhoferova aproximace

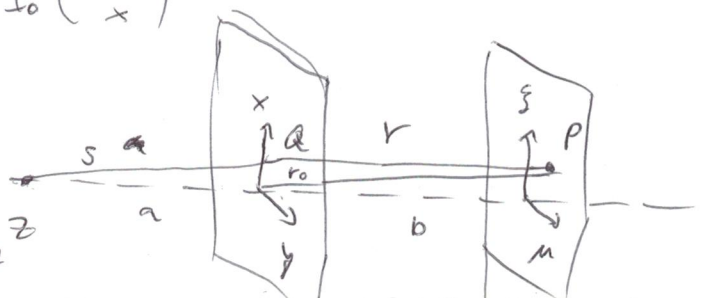
$s = \sqrt{a^2 + x^2 + y^2}$

$I = I_0 \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2$

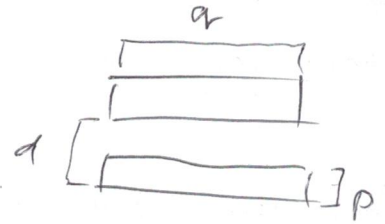
$r = \sqrt{b^2 + (x-x')^2 + (y-y')^2}$

$a \cdot b \approx s \cdot r$ A₀ - difrakční amplituda

$\Rightarrow u(P, t) = A \frac{i}{\lambda} \frac{e^{i\omega t}}{a \cdot b} \int_a e^{ik \frac{x\xi + y\eta}{r_0}} d\xi d\eta$



- difrakce na mřížce:



$$u(x, y, z) = A_0 \sum_{n=0}^{\infty} \iint e^{ik \frac{x\xi + y\eta}{r_0}} d\xi d\eta$$

$$\Rightarrow I(x, y, z) = \left| A_0 \cdot p \cdot q \sin c \frac{k p \xi}{2 r_0} \sin c \frac{k q \eta}{r_0} \right|^2 \left| \frac{\sin \frac{k d m \xi}{2 r_0}}{\sin \frac{k d \xi}{2 r_0}} \right|^2$$