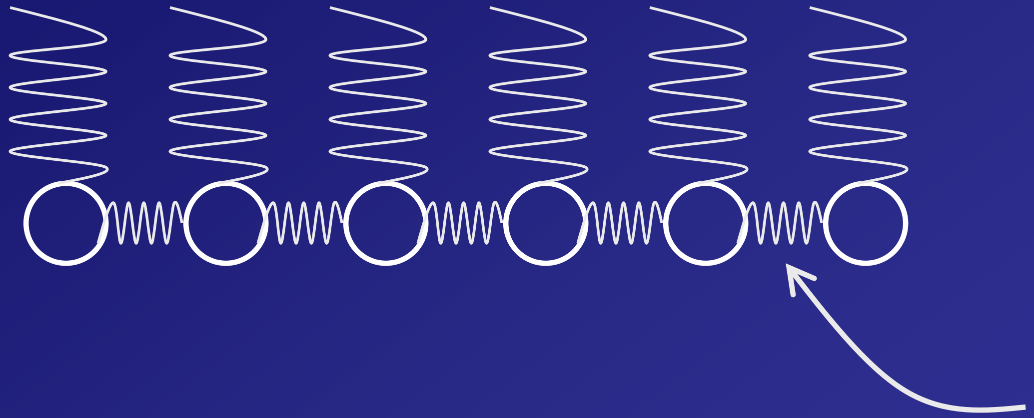
Vlnění

Hlavní body

- Úvod do vlnění
- Harmonické vlny
  - Popis, periodicita v čase a prostoru
  - Huygensův princip, odraz a lom vlnění
  - Energie a intenzita vlnění
  - Interference vln, Dopplerův jev

Vlny – přenos kmitů prostorem

Prostředím složeným z hmotných bodů, z nichž každý může vykonávat kmity a mezi kterými jsou vazby, charakterizované například moduly *E* a *G*, se výchylka může šířit jako vlna – postupné kmitání v prostoru a čase.

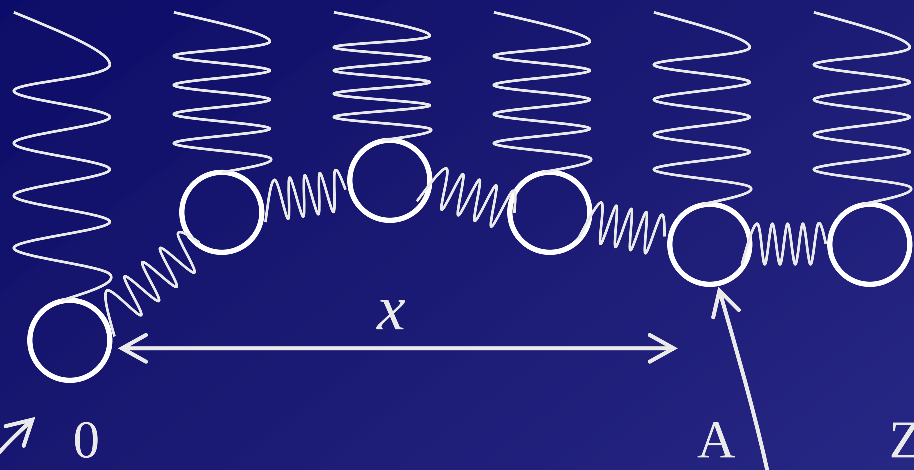


Vazba mezi harmonickými oscilátory

Př. - tepelná vodivost pevných látek

- šíření zvuku v látkách

Vlny – jak se chová oscilátor ve vzdálenosti x od počátku?



Z bodu 0 do bodu A dojde vzruch za čas τ

$$y(t)_{v\ bodu\ 0} = y_0 \sin(\omega t)$$

$$y(t)_{v\ bodu\ A} = y_0 \sin \omega(t - \tau)$$

$$y(t)_{v\ bodu\ A} = y_0 \sin \omega\left(t - \frac{x}{c}\right)$$

$$\tau = \frac{x}{c}$$

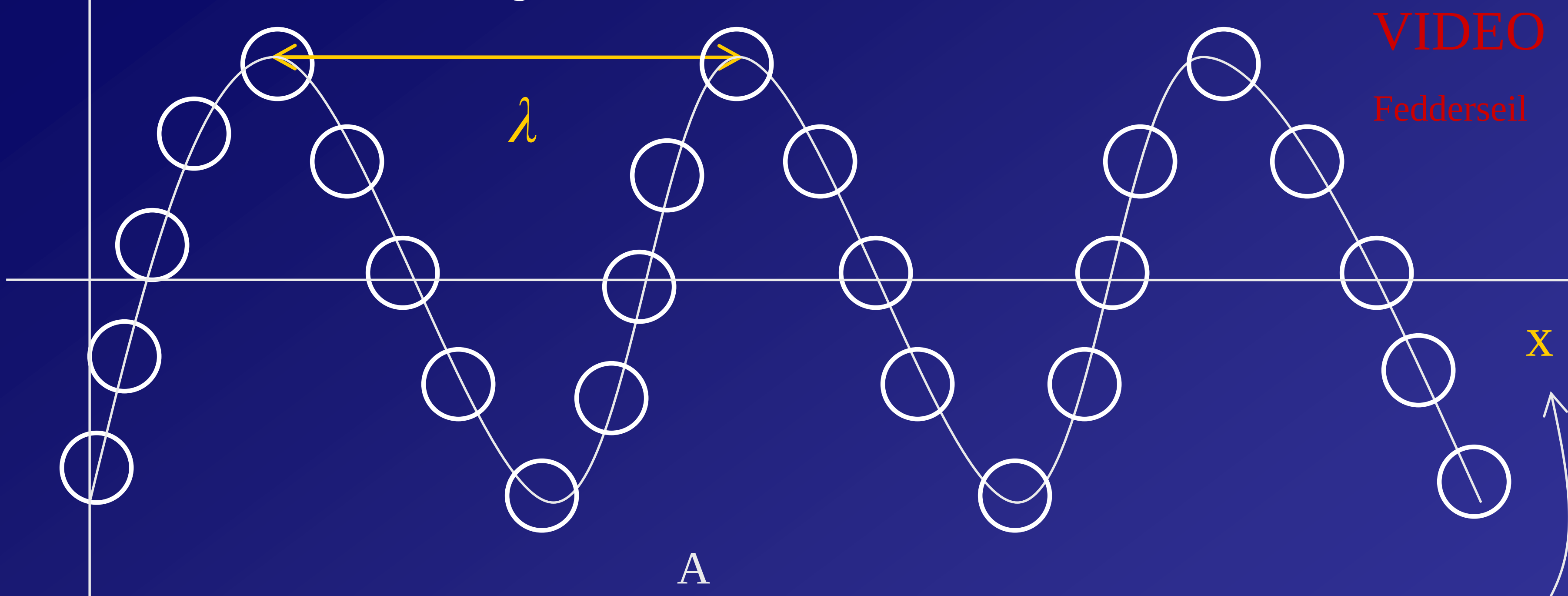
kde *c* je (zatím) neznámá rychlost šíření vzruchu

y(t) závisí na času a poloze = *y(t,x)*

Vlny – vlnová délka, frekvence perioda

VIDEO

Fedderseil



λ je vlnová délka

= vzdálenost dvou bodů, které kmitají se stejnou fází

x, ne t !!!

$$y(t)_{v\ bodu\ A} = y_0 \sin \omega\left(t - \frac{x}{c}\right)$$

$$y(t)_{v\ bodu\ A} = y_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\lambda = cT$$

$$(x = vt)$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$

Vlnění je typické tím, že se prostorem šíří energie (+ informace), ale ne hmota.

Výchylku harmonické vlny, šířící se rychlostí *c* ve směru osy *x* popisujeme:

$$y(x,t) = y_0 \sin \omega\left(t \mp \frac{x}{c}\right)$$

znaménko "-" platí pro kladná *x*

v bodě *x* je tedy výchylka, která byla v počátku před dobou *x/c* $= \tau$, za kterou do něj vlna dospěla

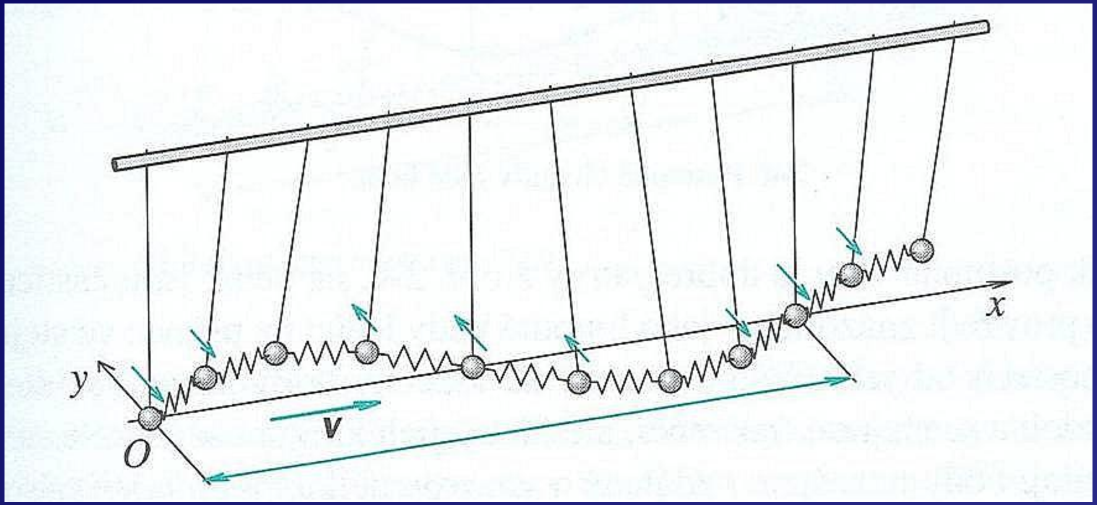
$$y(x,t) = y_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$t = t + mT$$

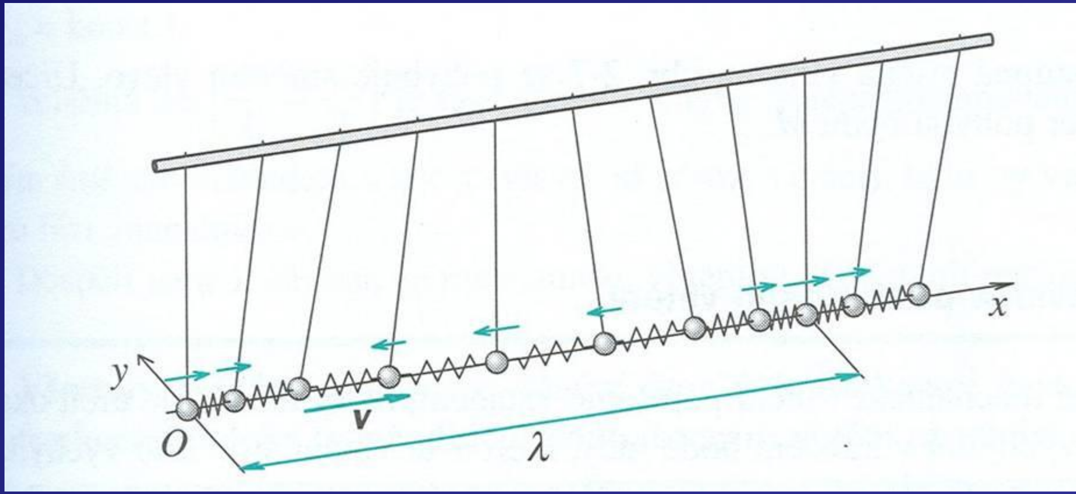
$$x = x + n\lambda$$

Harmonická vlna je periodická v čase i prostoru, vzhledem k periodičnosti funkce sinus

Vlnění se dělí na příčné (transversální) a podélné (longitudinální)



Postupné vlnění příčné

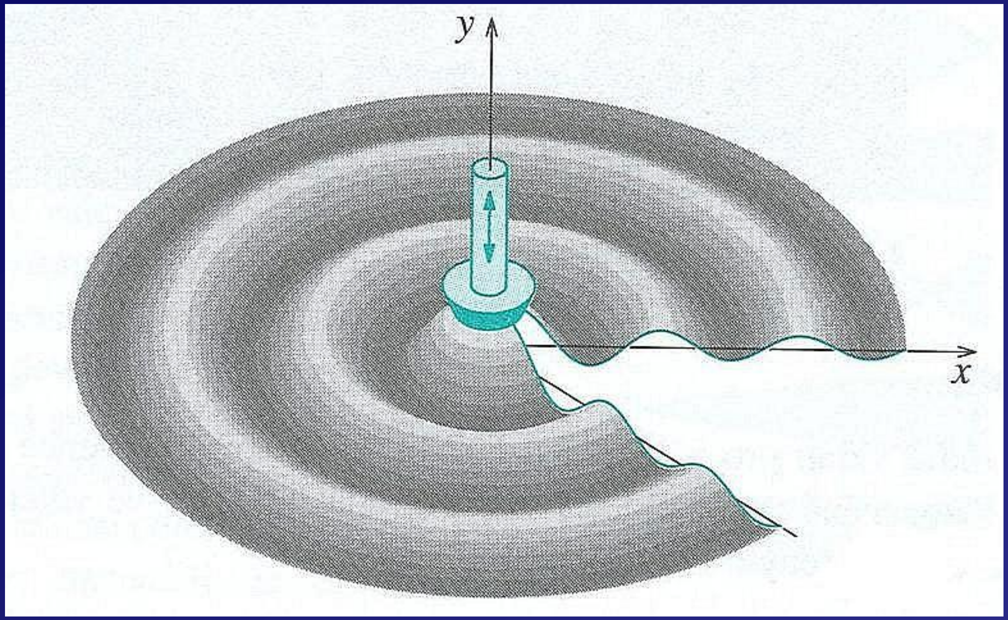


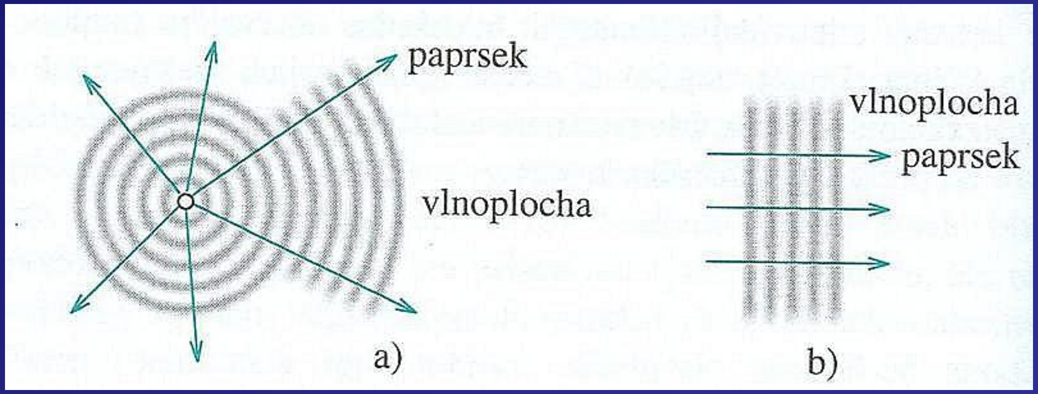
Postupné vlnění podélné

VIDEO

Fedderseil

Vlnění v izotropním prostředí



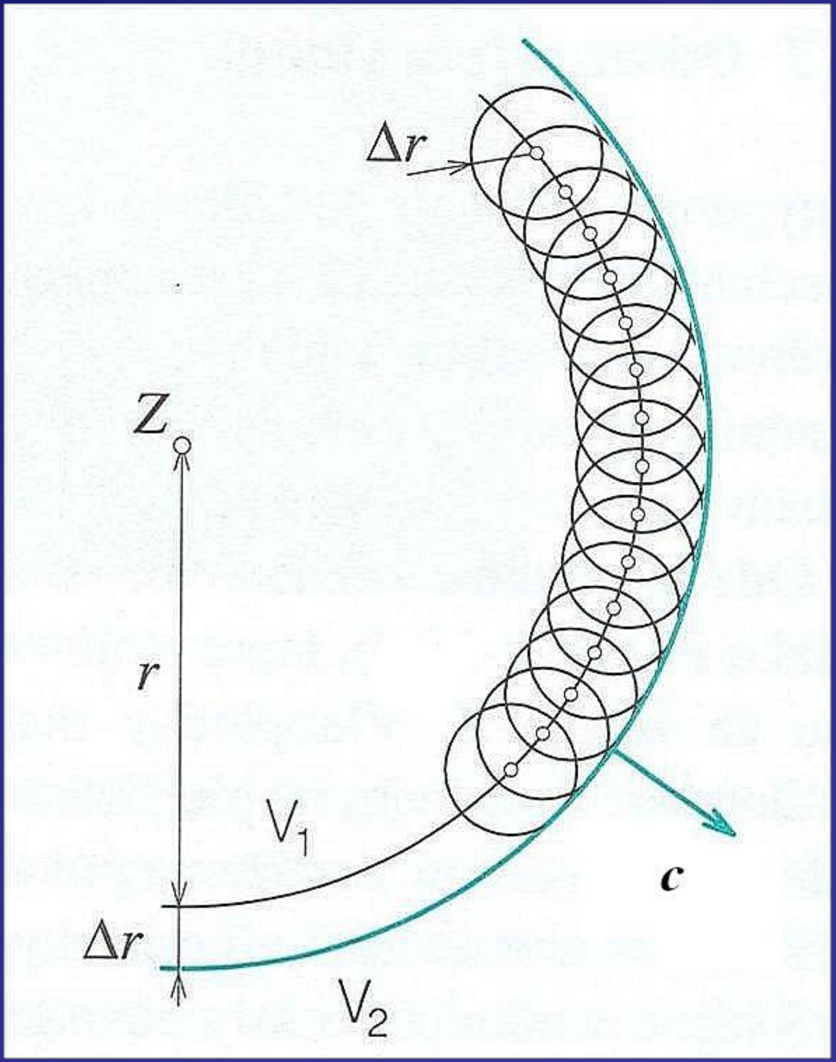


Izotropním prostředím nazýváme prostředí, které má z hlediska šíření vlnění ve všech směrech stejné vlastnosti Vlnění se šíří ve směru paprsku, který je vždy kolmý na vlnoplochu.

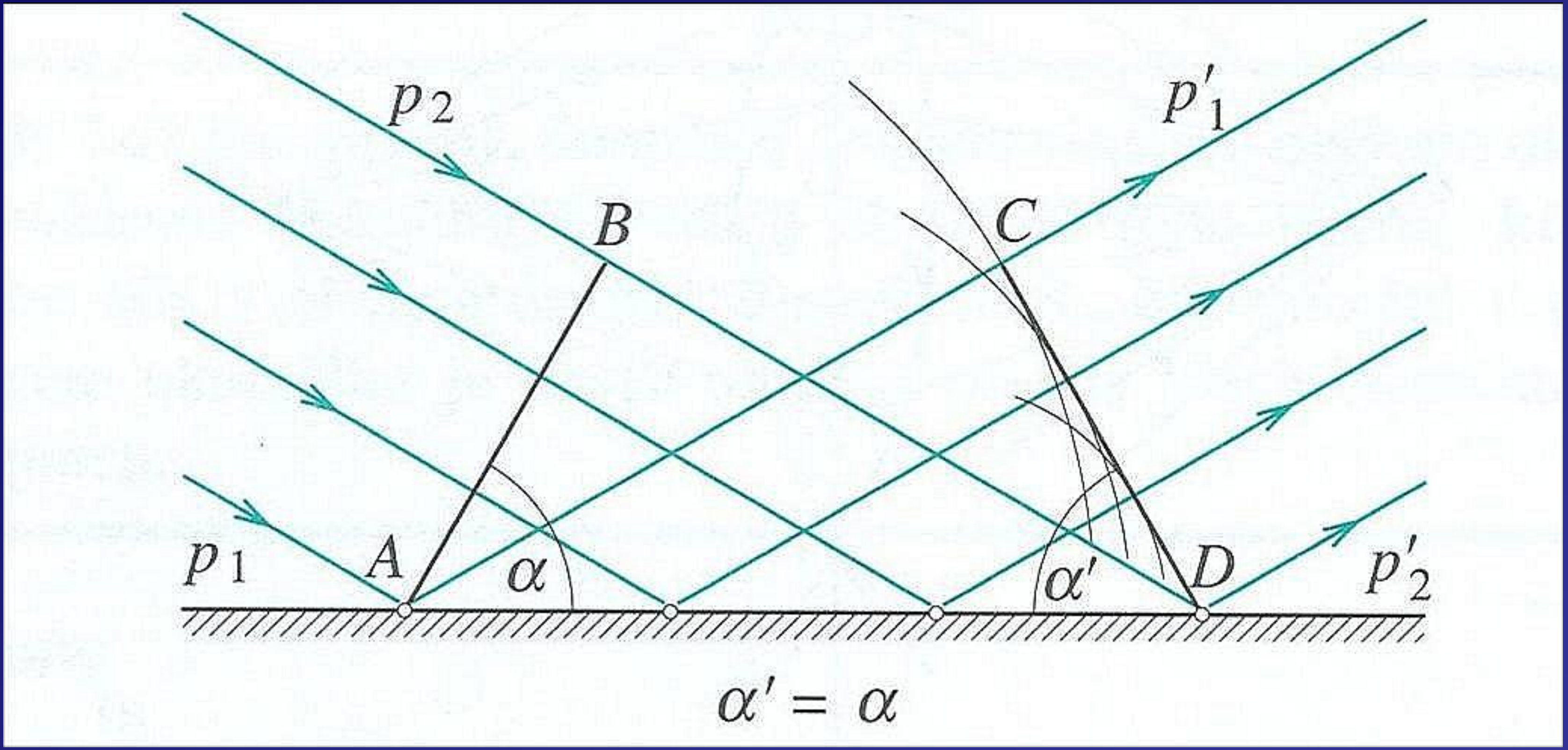
Vlnoplocha vlnění je plocha, jejíž body jsou stejně vzdálené od zdroje vlnění a kmitají tedy se stejnou fází.

Huygensův princip:

Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.



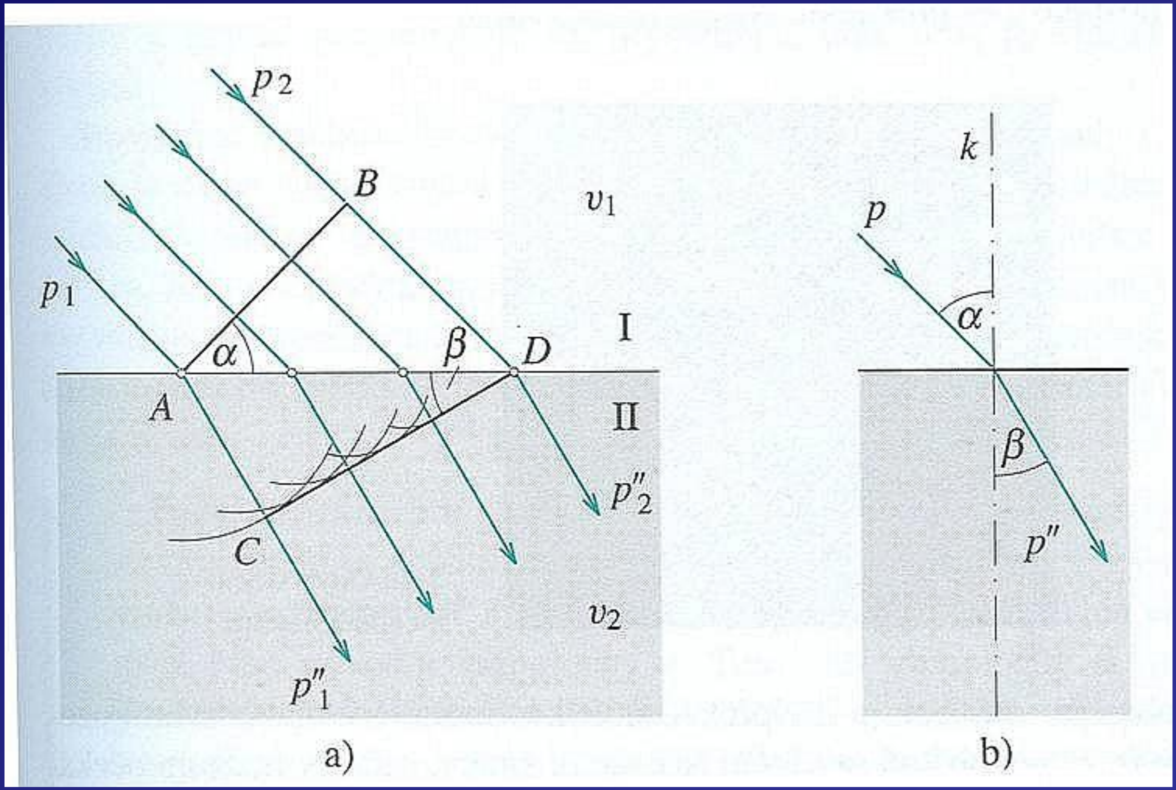
Odraz rovinné vlnoplochy



Úhel odrazu je roven úhlu dopadu

Lom vlnění

Při přechodu vlnění z jednoho prostředí do druhého se mění směr šíření vlnění. Je to způsobeno tím, že se v druhém prostředí vlnění šíří jinou rychlostí.
Poměr sinu úhlu dopadu k sinu úhlu lomu je pro daná dvě prostředí stálá veličina a rovná se poměru rychlostí vlnění v obou prostředích. Nazývá se index lomu vlnění $n_{1,2}$ pro daná prostředí. Lomený paprsek zůstává v rovině dopadu.



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$$

Pozor!
Laboratoře: n = f(λ)

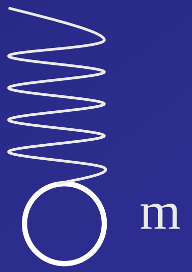
VIDEO

Huygens prinzip

Energie a intenzita vlnění

Vlnění je postupné kmitání jednotlivých oscilátorů podél jeho šíření.

Lze tedy očekávat, že se bude prostřednictvím vlny šířit energie kinetická i potenciální.



Celková energie kmitajícího bodu:

$$E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 y_0^2$$

Energie v jednotce objemu:

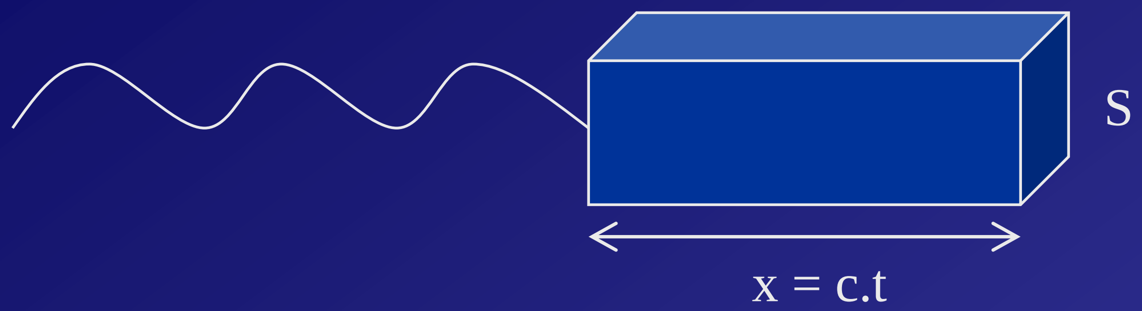
$$w = \frac{dE_k}{dV} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 y_0^2$$

$\Longrightarrow$

Celková energie vlnění:

$$E = \int_V w \, dV$$

Intenzita vlnění je rovna energii, která projde jednotkovou plochou S (kolmo na směr šíření) za jednotku času t



$m = c.t.S.\rho$

$$I = \frac{E}{S \cdot t} = \frac{\frac{1}{2} m \omega^2 y_0{}^2}{S \cdot t} = \frac{\frac{1}{2} \rho S c t \omega^2 y_0{}^2}{S \cdot t} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 y_0{}^2$$

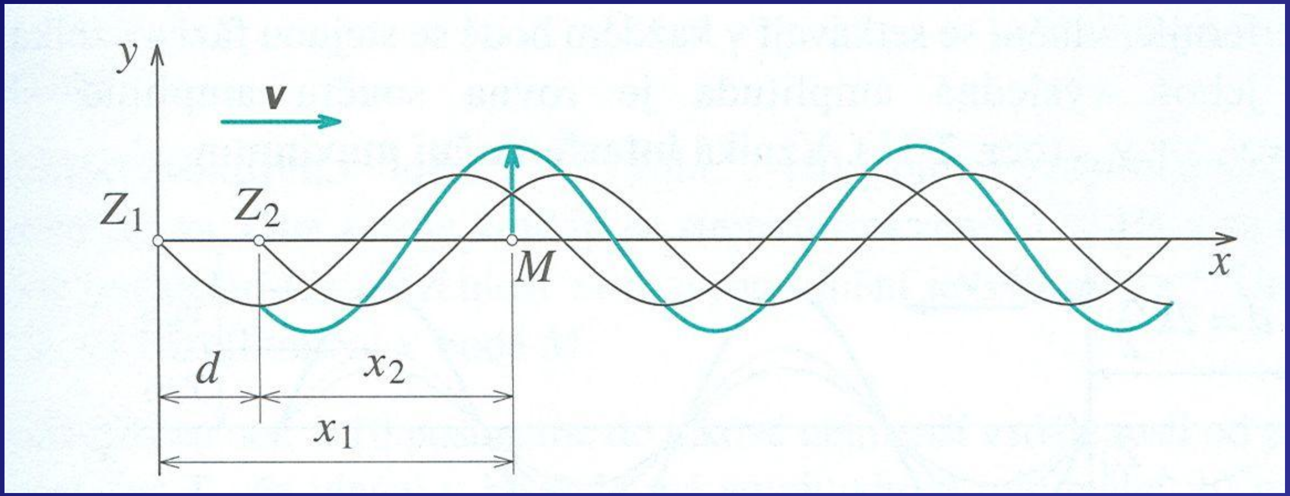
$$I = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 y_0{}^2 \quad \left(W m^{-2} \right)$$

Rychlost *c* v sobě skrývá modul media ve kterém se vlnění šíří $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

Skládání vlnění - Interference

Omezíme se na dvě vlny stejné frekvence ω a různé fáze φ

$$y_1(x,t) = y_{01}\sin\left(\omega(t-\frac{x}{c})+\varphi_1\right) \qquad y_2(x,t) = y_{02}\sin\left(\omega(t-\frac{x}{c})+\varphi_2\right)$$



$$\varphi_1 = \frac{\omega x_1}{c}$$

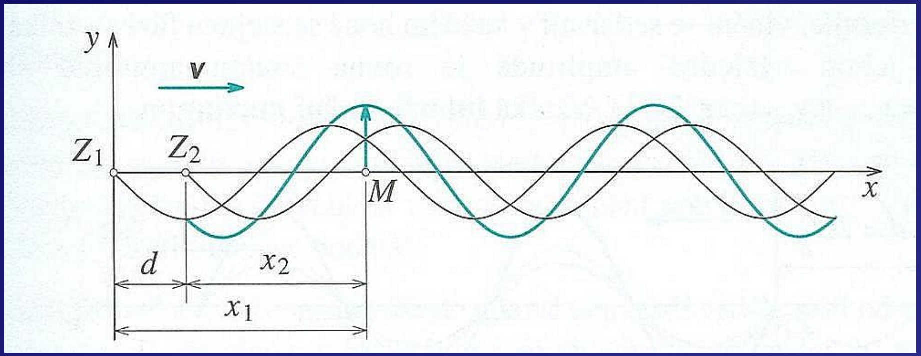
$$\varphi_2 = \frac{\omega x_2}{c}$$

Amplituda:

$$y_0 = \sqrt{y_{01}^2 + y_{02}^2 + 2y_{01}y_{02}\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

Interference vlnění – konstruktivní $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$

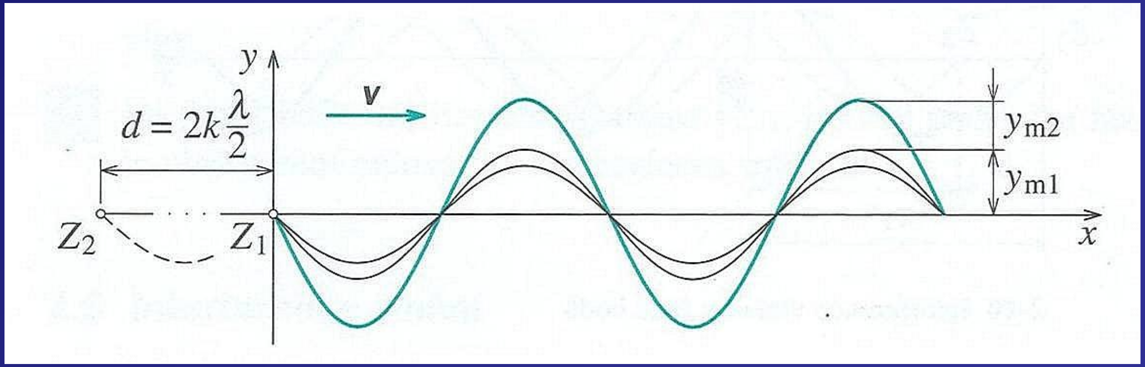
$$y_0 = \sqrt{y_{01}^2 + y_{02}^2 + 2y_{01}y_{02}\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$



Maximum nastává když:

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{\omega x_2}{c} - \frac{\omega x_1}{c} = 2k\pi$$

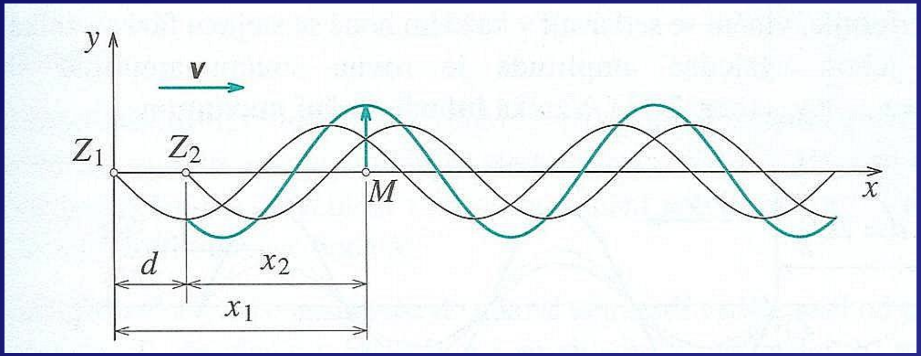
$$d = x_1 - x_2 = k\lambda$$



$$y_0 = \sqrt{y_{01}^2 + y_{02}^2 + 2y_{01}y_{02}}$$

Interference vlnění – destruktivní $cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$

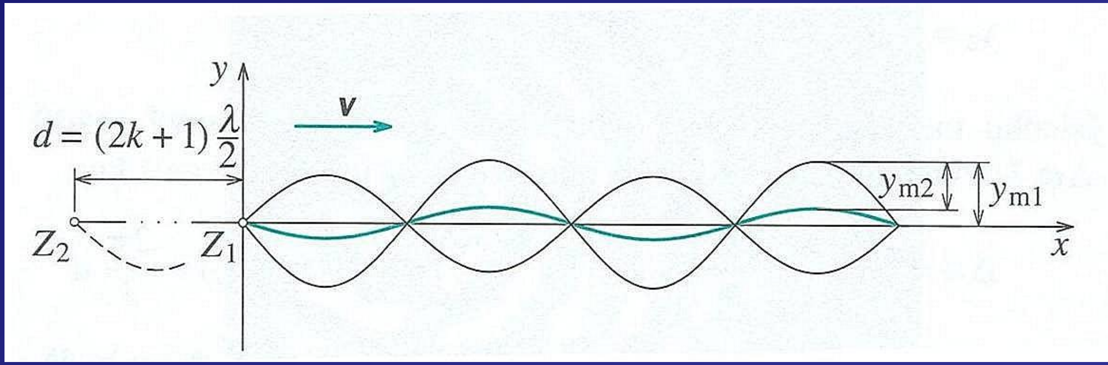
$$y_0 = \sqrt{y_{01}^2 + y_{02}^2 + 2y_{01}y_{02}\,cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$



Minimum nastává když:

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{\omega x_2}{c} - \frac{\omega x_1}{c} = (2k+1)\pi$$

$$d = x_1 - x_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$



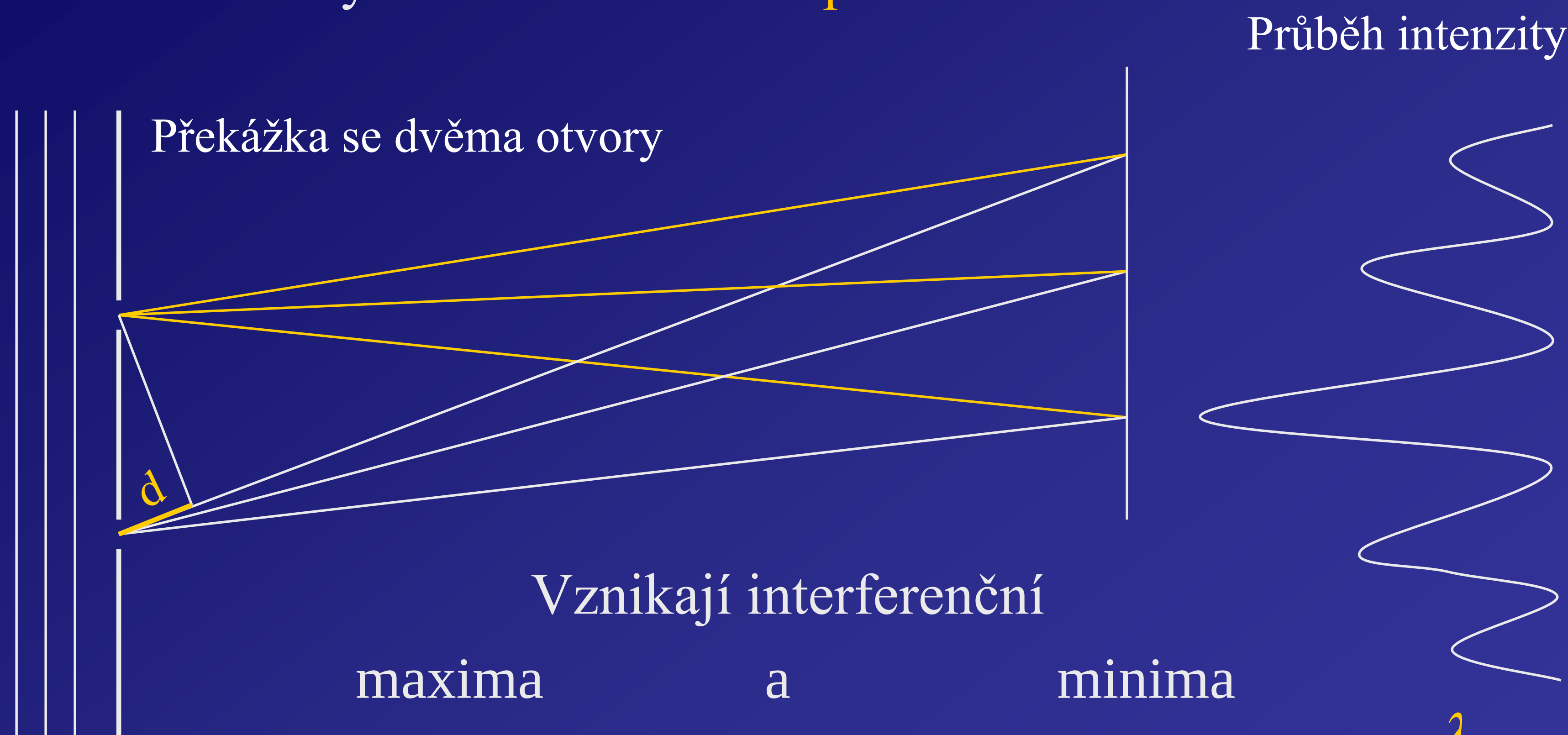
$$y_0 = \sqrt{y_{01}^2 + y_{02}^2 - 2y_{01}y_{02}}$$

Interference vlnění – dvojštěrbina, mřížka

VIDEO

Interferenz

Ohyb vlnění nastává na předmětech o velikostech blízkých vlnové délce – optická mřížka



Vznikají interferenční

maxima a minima

$$d = x_1 - x_2 = k\lambda \qquad d = x_1 - x_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

Dopplerův jev a rázová vlna

Pohybuje-li se zdroj vlnění, pozorovatel nebo prostředí, ve kterém se vlnění šíří, dochází ke změně pozorované frekvence.

Popišme pohyb :

- zdroje vlnění rychlostí v
- příjemce vlnění rychlostí u
- rychlost šíření c je větší než u, v, ale menší než rychlost světla ve vakuu
- všechny rychlosti ve směru osy $+x$ jsou kladné

1 Když se pozorovatel pohybuje, vlny kolem něj neprochází rychlostí *c*, ale relativní rychlostí *c - u*.

VIDEO

Doppler effekt

$$f_u = \frac{c-u}{\lambda_0} = \frac{c-u}{c} f_0 \Rightarrow \frac{f_u}{f_0} = \frac{c-u}{c}$$

Pro vzdalujícího se pozorovatele je tedy frekvence nižší, pro přibližujícího se by bylo *u* záporné a frekvence by byla vyšší.

2 Nyní je pozorovatel v klidu a zdroj se pohybuje rychlostí *v* od počátku k pozorovateli. Takže každá vlna se zmačkne do prostoru $T_0(c-v)$.

$$\lambda = T_0(c-v) \Rightarrow \frac{f_v}{f_0} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{T_0 c}{T_0(c-v)}$$

Pro vzdalující se zdroj je tedy $v<0$ a frekvence je nižší, pro přibližující se by byla frekvence opět vyšší.

Rázová vlna – viz. video