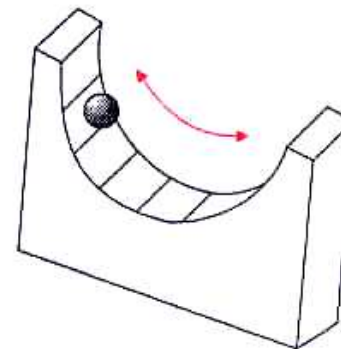
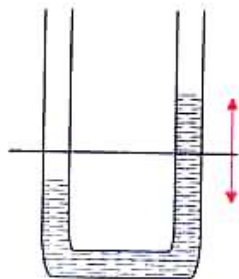
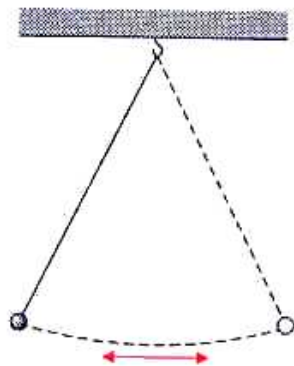
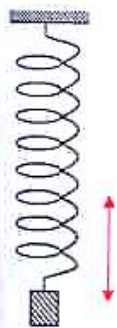


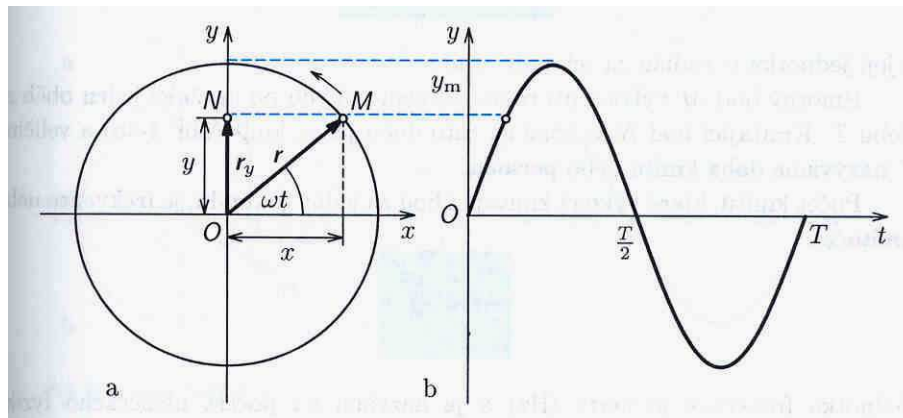
Kmity – základní popis

- kmitání je periodický pohyb, při kterém těleso pravidelně prochází rovnovážnou polohou
- mechanický oscilátor – zařízení vykonávající kmity



Základní veličiny

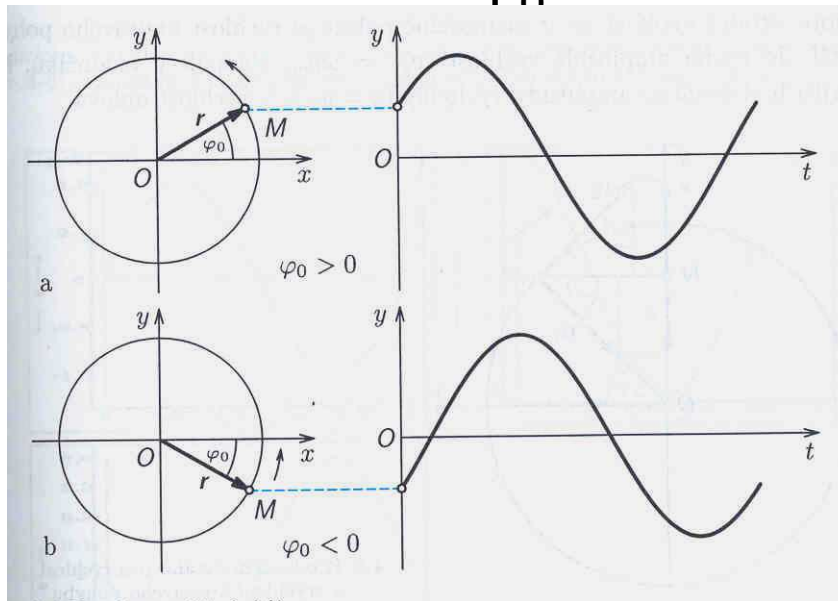
- Perioda T [s], frekvence $f=1/T$ [Hz, s^{-1}]
- kmit – pohyb za jednu periodu
- harmonický kmit – sinusový průběh
- harmonické kmity mají souvislost s rovnoměrným pohybem po kružnici



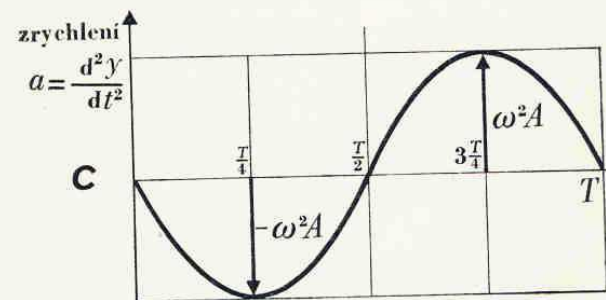
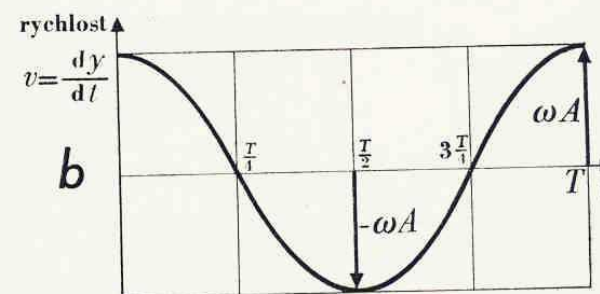
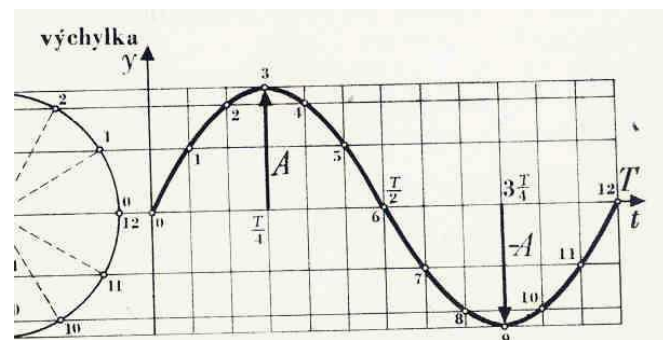
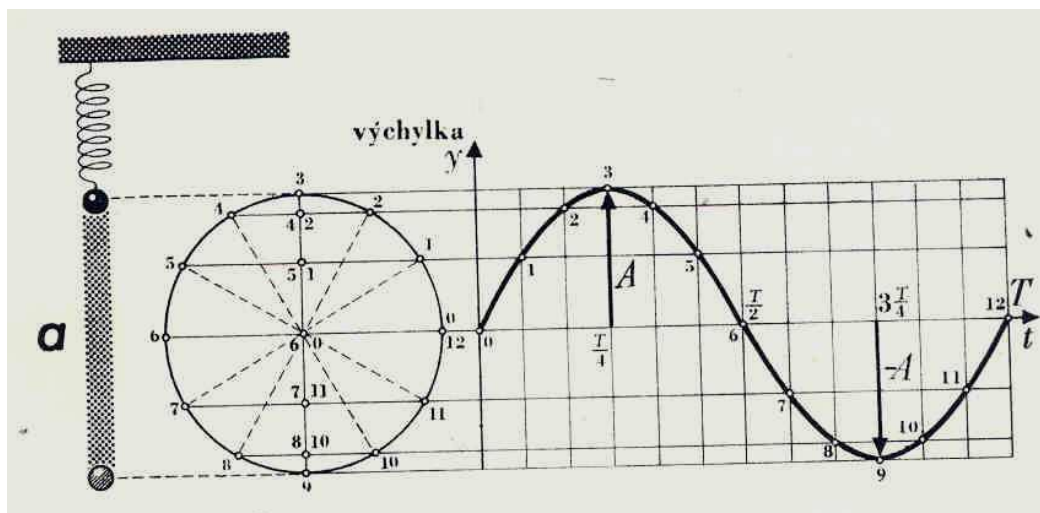
$$\forall \omega = 2\pi/T, \omega = 2\pi f \quad (\text{rad/s})$$

- $y = y_m \sin \omega t$ – okamžitá výchylka

vliv má počáteční fáze φ_0

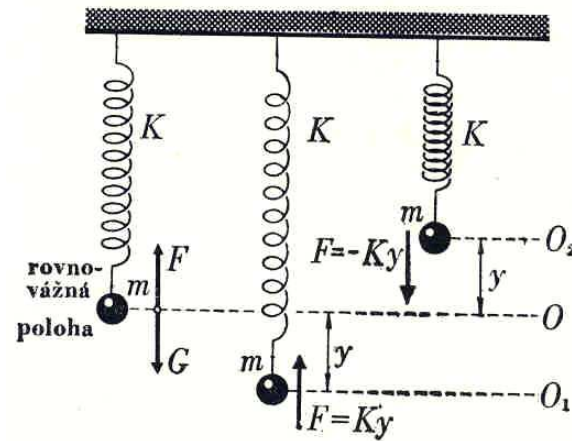


- pro rychlosti a zrychlení platí:
- $v = y_m \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$
- $a = -y_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$

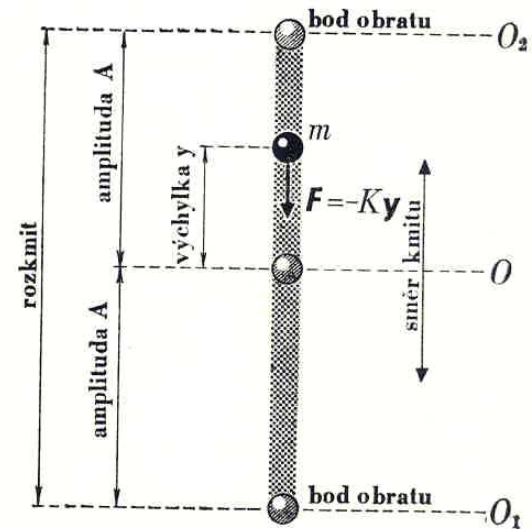


pružina

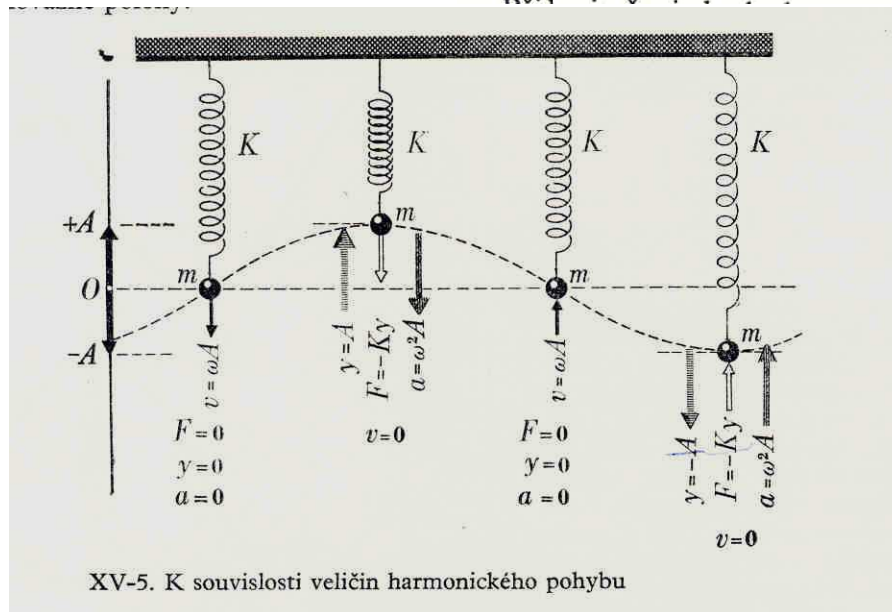
$$\omega^2 = k/m$$



XV-1. Elastické kyvadlo



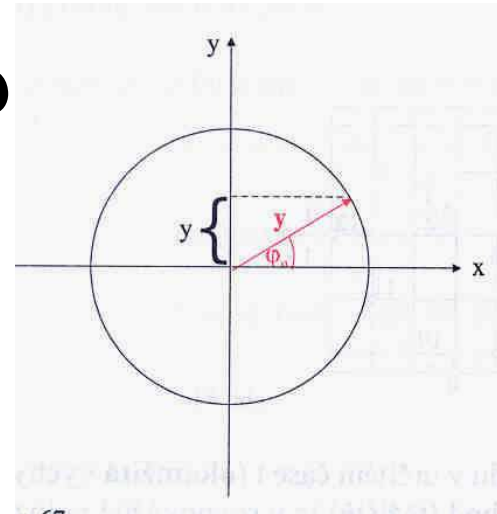
XV-2. Ke kmitavému pohybu



XV-5. K souvislosti veličin harmonického pohybu

fázor

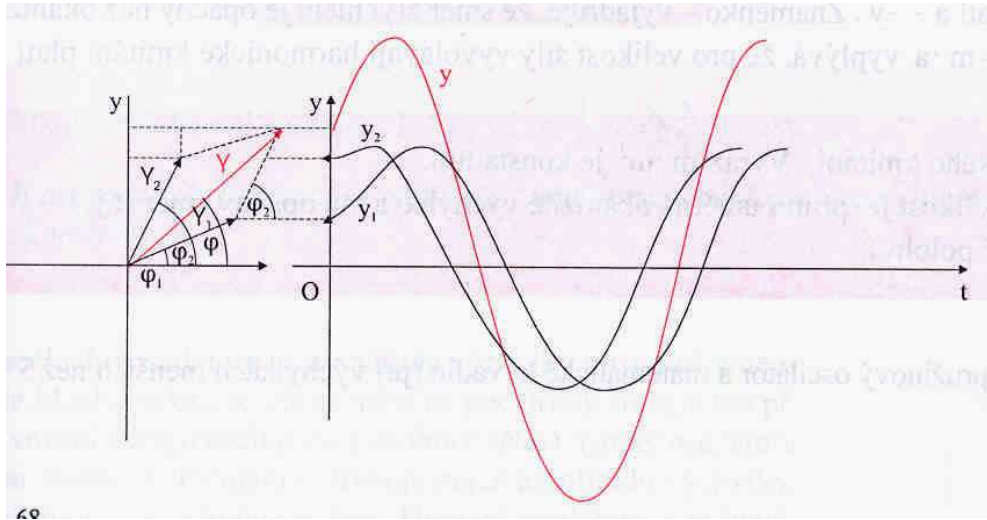
- rotující vektor popisující kmitavý pohyb
- využívá souvislosti s pohybem po kružnici
- délka odpovídá amplitudě, poloha je určena poč. fází φ_0 , rotuje v kladném směru kolem bodu O úhlovou rychlostí ω



Složené kmitání (ve stejném směru)

- více harmonických pohybů současně
- platí princip superpozice
- výsledné kmity vzniknou složením dílčích kmitů, platí $y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_k$
- při skládání kmitů závisí na jejich amplitudě, frekvenci a počáteční fázi

izochronní kmity



$$y_1 = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y_2 = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)$$

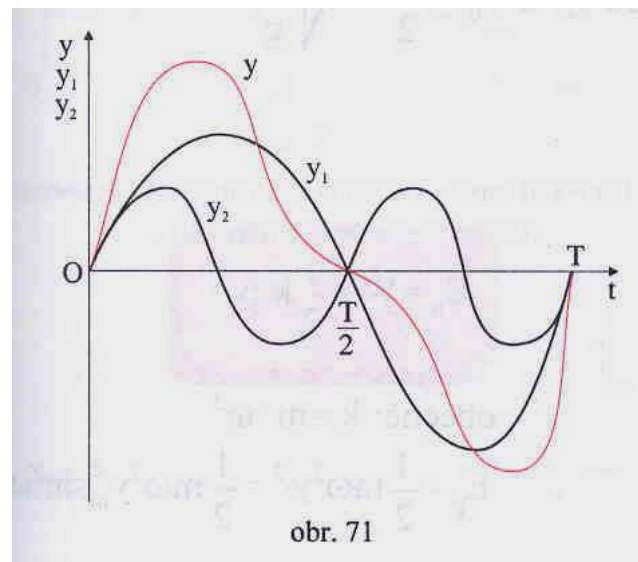
$$y = 2y_m \cdot \cos \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \cdot \sin(\omega t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2})$$

- harmonické, izochronní. Totéž z fázorového diagramu
- Zvláštní případ: $\Delta\varphi=0$ – amplitudy se sčítají, $\Delta\varphi=\pi$ -- odčítají

<http://physics.uwstout.edu/physapplets/Northwesten/www.physics.nwu.edu/vpl/waves/superposition1.html>

Neizochronní kmity

- $f_1 \neq f_2$
- složené kmitání není harmonické
- pokud poměr frekvencí roven poměru celých čísel – periodické kmitání

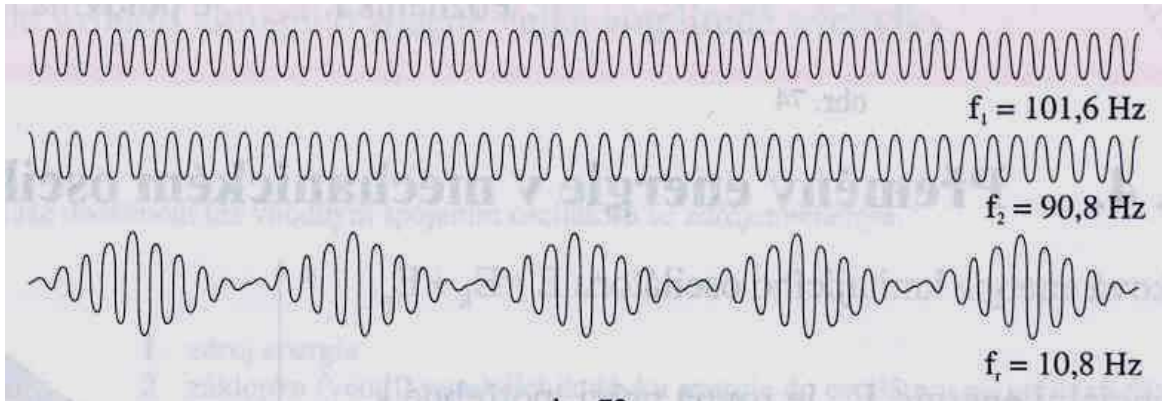


<http://physics.uwstout.edu/physapplets/Northwestern/www.physics.nwu.edu/vpl/waves/superposition1.html>

Rázy (zázněje)

- vznikají při skládání kmitů blízkých frekvencí
- neharmonické kmity, jejichž amplituda se periodicky mění

$$y = 2y_m \cos(\Delta\omega t) \sin \omega t$$



<http://physics.uwstout.edu/physapplets/Northwestern/www.physics.nwu.edu/vpl/waves/superposition1.html>

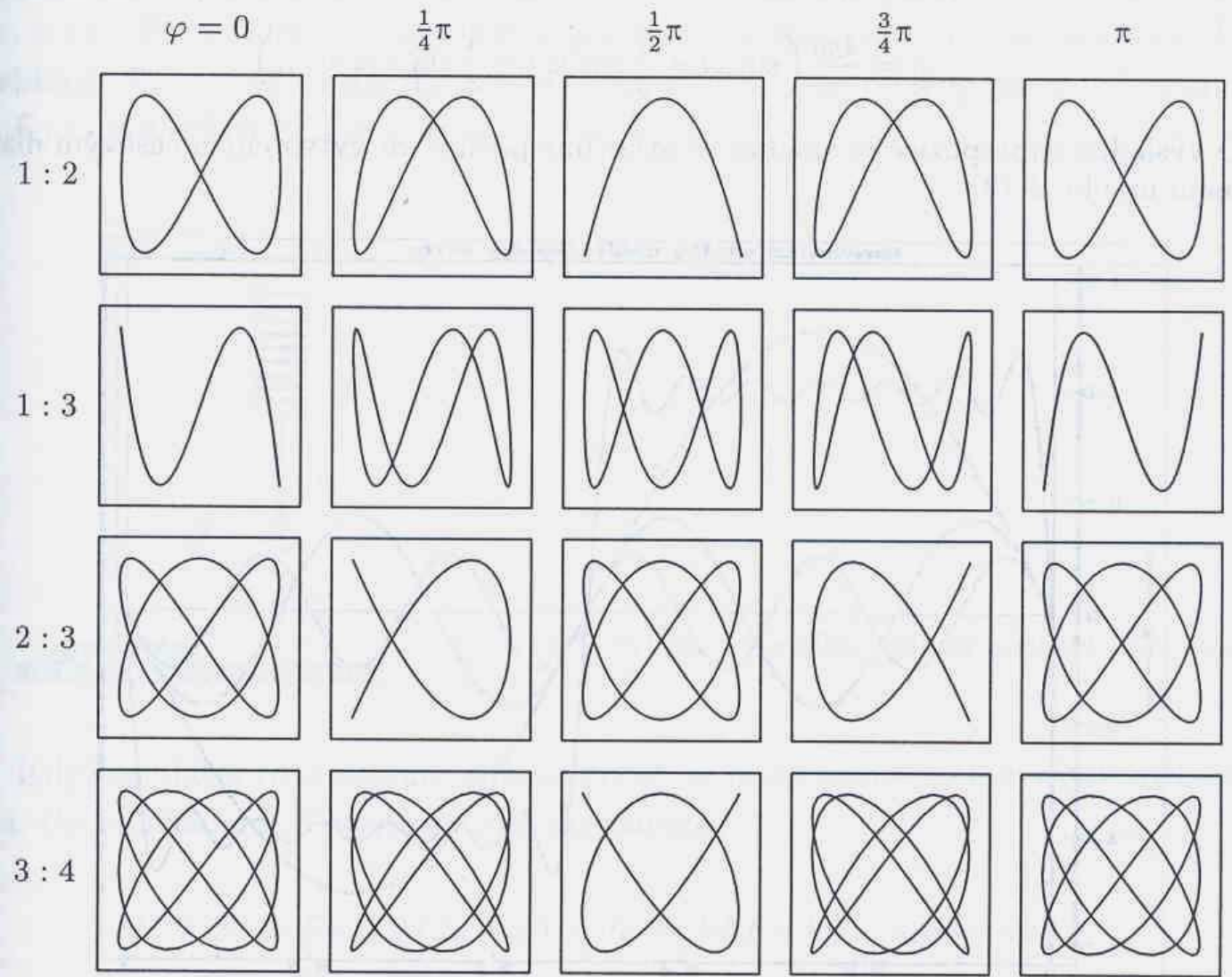
Navzájem kolmé kmity

- vznikají tzv. Lissajousovy obrazce
- závisí na frekvenci a fázi skládaných kmitů
- nejjed. případ – stejné frekvence

$$x = x_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) \quad y = y_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$\forall \Delta\varphi = k\pi$ - přímka, $\Delta\varphi = (2k+1)\pi/2$ – kružnice

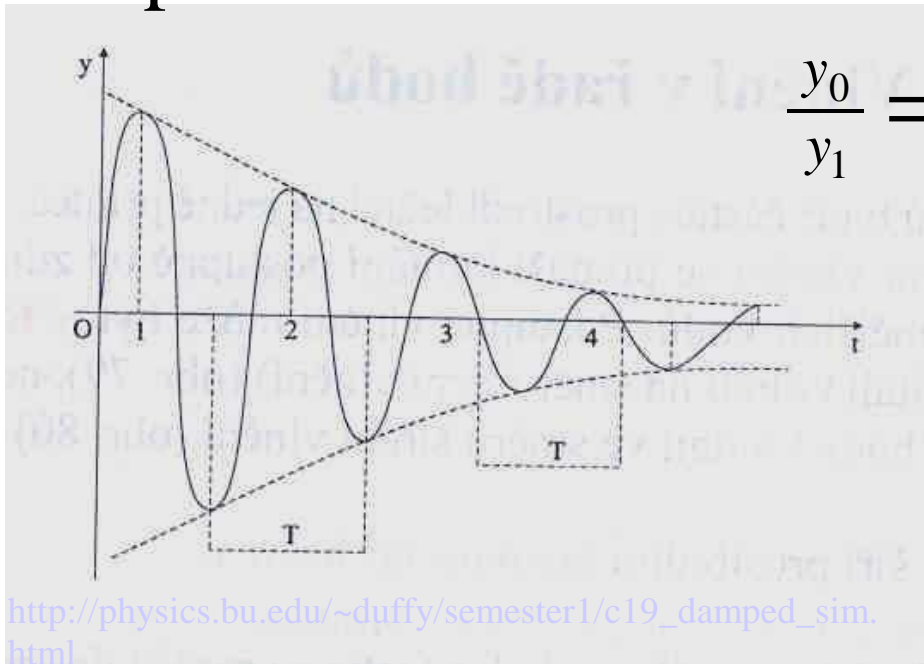
- <http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Lissajous.htm>
- <http://surendranath.tripod.com/Applets/Oscillations/Lissajous/LissajousApplet.html>



4-11 Lissajousovy křivky

Tlumené kmitání

- v reálných situacích (ztráty vzniklé třením), působí součinitel tlumení δ



$$\frac{y_0}{y_1} = e^{\delta T} \quad y = y_0 e^{-\delta T} \sin \omega t$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$

$\omega_0^2 > \delta^2$ - tlumené kmity

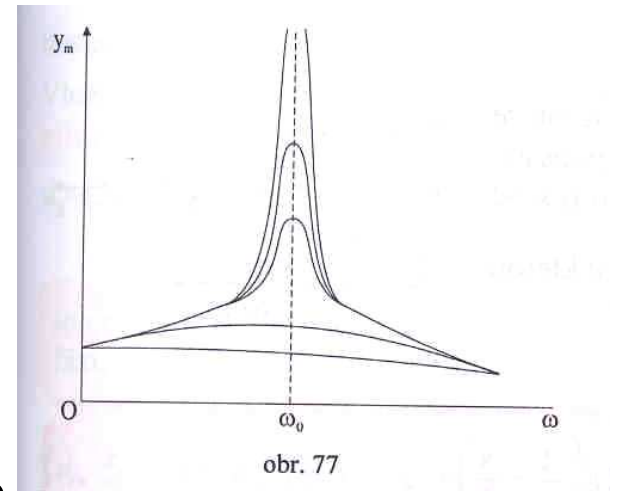
$\omega_0^2 > \delta^2$ - aperiodický pohyb

$\omega_0^2 > \delta^2$ - kritické tlumení

<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/damped/d.htm>

Nucené kmity

- musí být přítomna periodická budící síla
- frekvence závisí na frekvenci budící síly
- netlumené
- při rovnosti vlastní frekvence a frekvence budících kmitů dochází k rezonanci
- při rezonanci dochází ke kmitání s maximální výchylkou, může dojít až k destrukci
- <http://physics.uwstout.edu/physapplets/a-city/physengl/resonance.htm>
- <http://www.enm.bris.ac.uk/research/nonlinear/tacoma/tacoma.html>

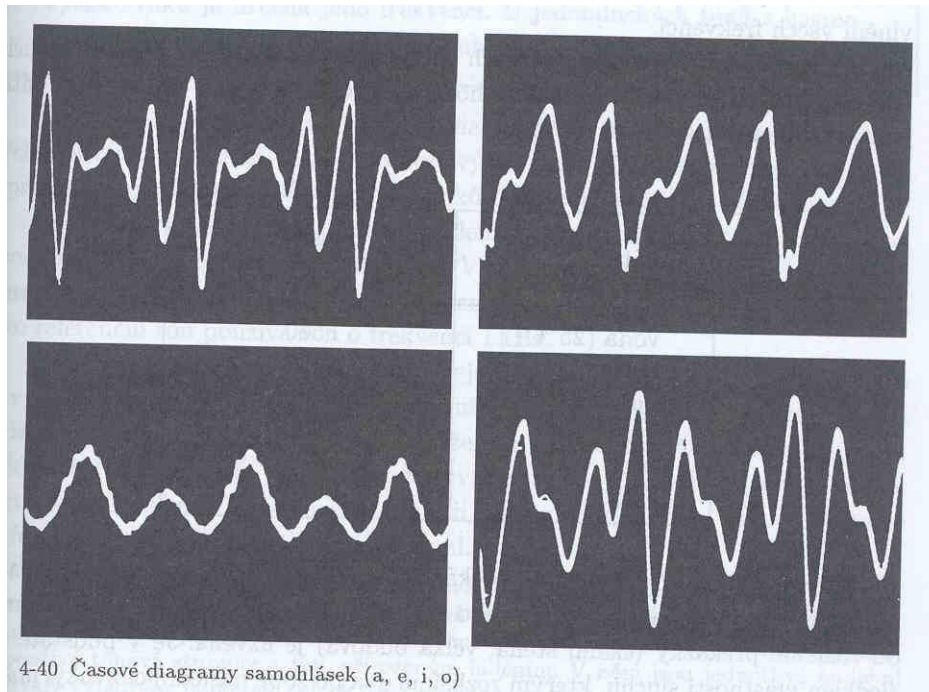


Kde v životě?

- tlumiče v automobilech
- vyklepávání šroubů (hula-hop efekt)
- hudba, zvuk
- otravné zvuky v počítači (drnčení, zesilující a zeslabující se zvuk)

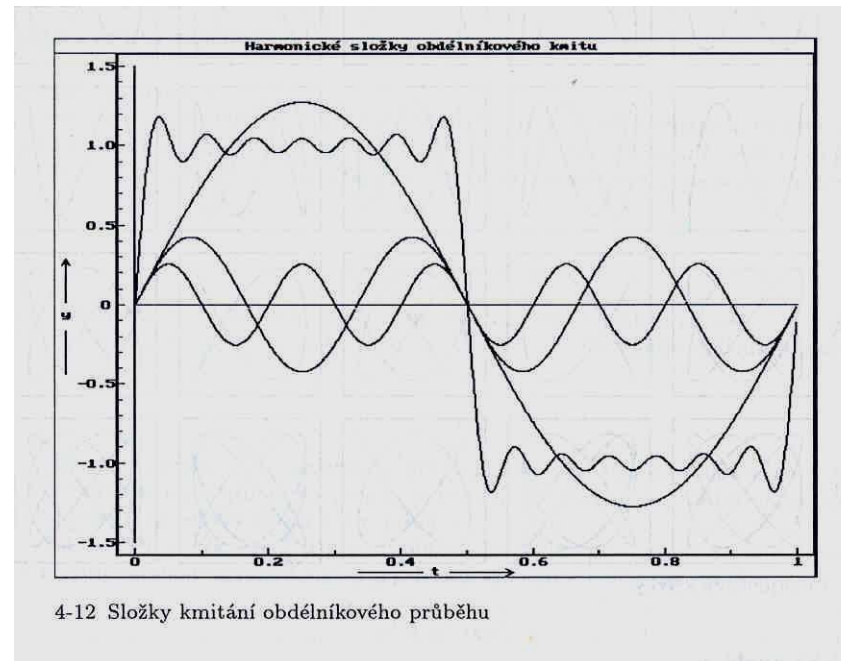
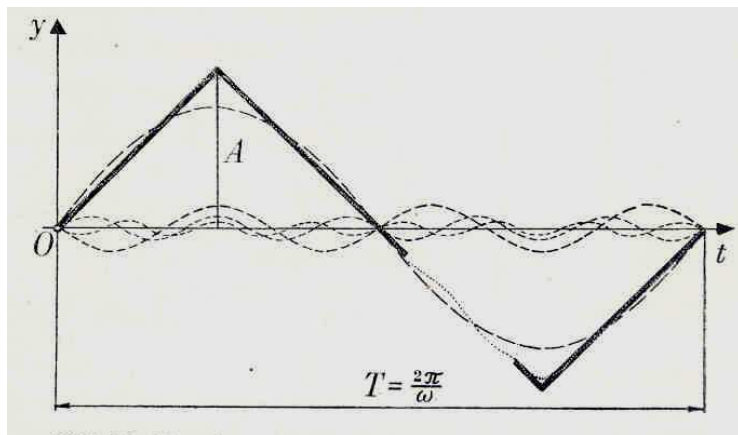
Harmonická analýza

- dosud pouze sinusové kmity (harmonické)
- v reálu ale různý průběh



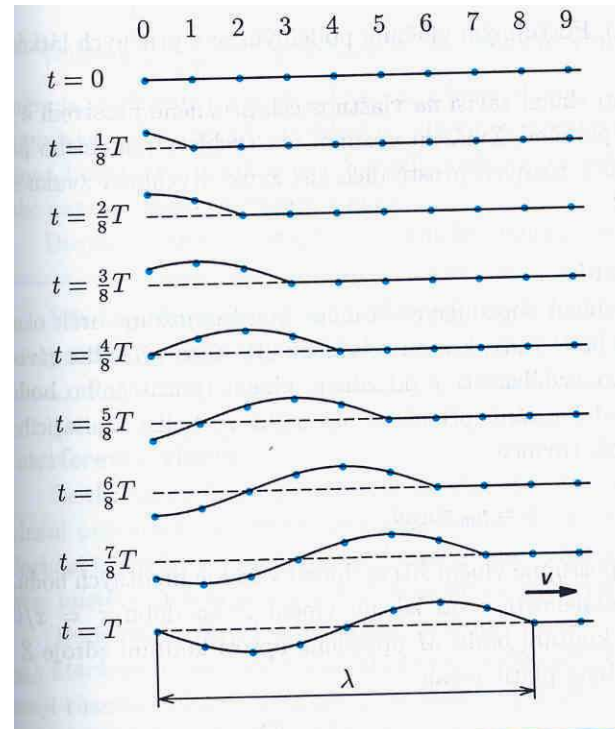
- ukázali jsme si ale složené kmity
- Fourier (1786-1830): každá periodická funkce se dá rozložit na součet harmonických funkcí (tzv. fourierova řada)
- pomocí základní a vyšších harmonických frekvencí
- komprese zvuku

<http://phet.colorado.edu/simulations/fourier/fourier.jnlp>



pružné prostředí

- k šíření vlnění musí existovat podmínky – látkové prostředí s vazebnými silami mezi částicemi. Kmitání se pak přenáší vazbou z jedné částice na druhou. (pružné prostředí)
- v - rychlost, λ - vlnová délka



vlnová délka je vzdálenost dvou nejbližších bodů kmitajících se stejnou fází. Rychlost šíření závisí na prostředí

příčné a podélné vlnění

- podle typu kmitů. Kolmé na směr šíření – příčné, shodný směr – podélné
 - http://physics.bu.edu/~duffy/semester1/c20_trans_long.html
 - <http://physics.bu.edu/~duffy/classroom.html>
- kmitání bodu závisí i na vzdálenosti od zdroje – rovnice vlnění se složitější

$$\begin{aligned}y &= y_m \sin \omega(t - \tau) = \\ &= y_m \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right) = \\ &= y_m \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\end{aligned}$$

Interference vlnění

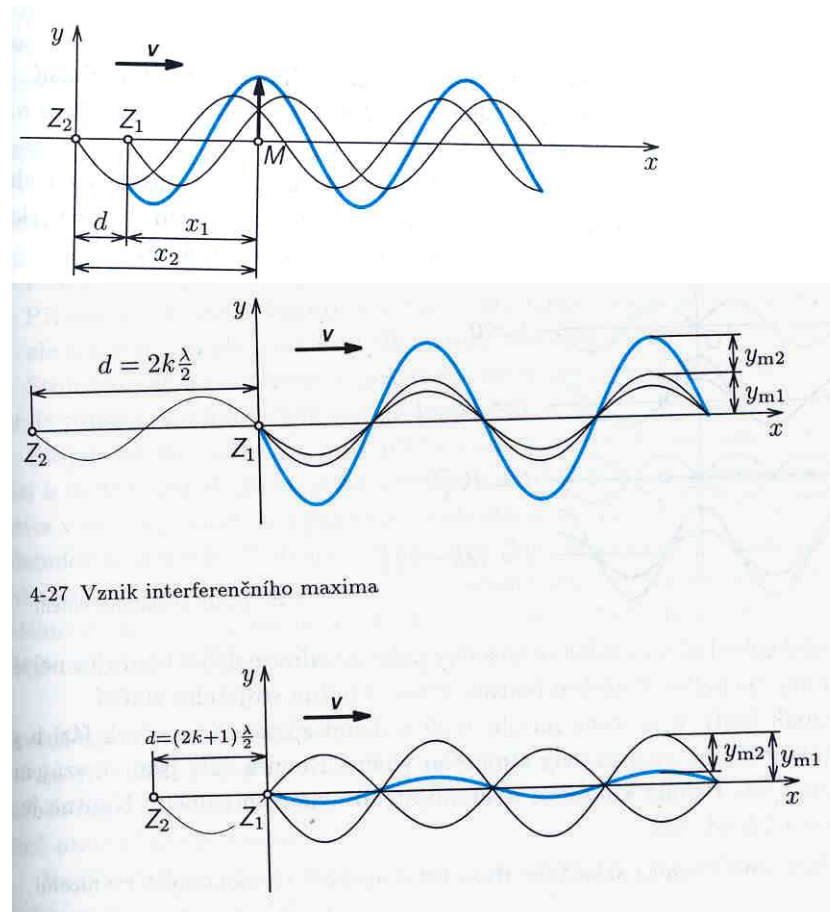
- jednotlivá vlnění se pohybují nezávisle, podle principu superpozice ale působí – výchylky se skládají

<http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave2.html>

závisí na **rozdílu fází**, s jakým se vlnění setkají

-velký problém při konstrukci budov (akustika)

[-http://physics.bu.edu/~duffy/semester1/c21_int_2D.html](http://physics.bu.edu/~duffy/semester1/c21_int_2D.html)



stojaté vlnění

- vzniká interferencí dvou postupných vlnění
- význačné body: uzly a kmitny
- Všechny body kmitají se stejnou fází, ale mají různou amplitudu

$$Y_m = 2y_m \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

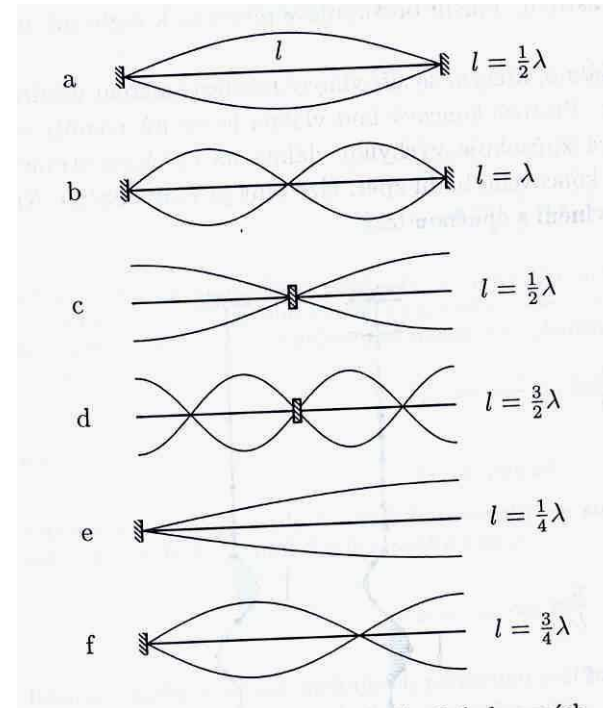
- <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave4.html>

Odraz vlnění

- při vlnění v konečném prostředí
- rozdíl. zda odraz na pevném či volném konci
- pevný konec – odraz s opačnou fází
- volný konec – odraz se stejnou fází
- <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave6.html>
- <http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave5.html>

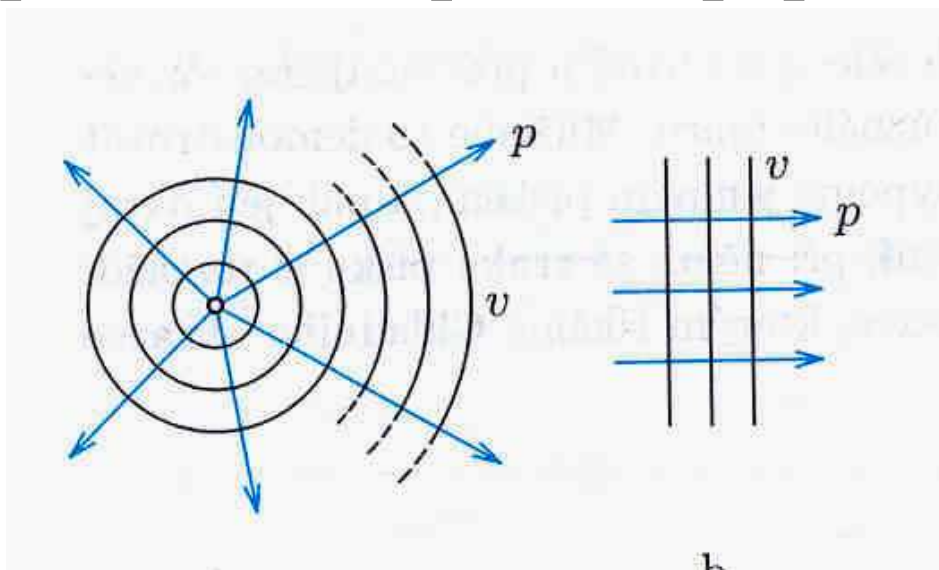
chvění mech. soustav

- základ funkce hudebních nástrojů (a nejen jich)
- délka tyče ovlivňuje vlnovou délku vlnění
- vznikají vyšší harmonické frekvence



Šíření vlnění v prostředí

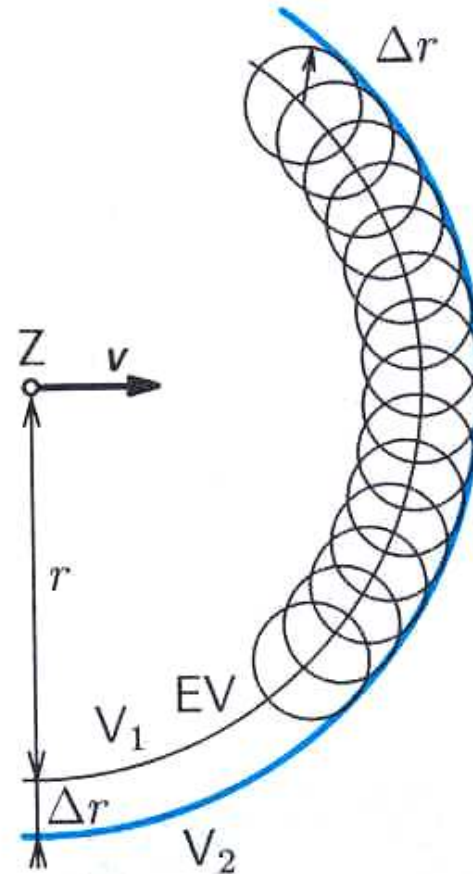
- popis pomocí vlnoploch a paprsků



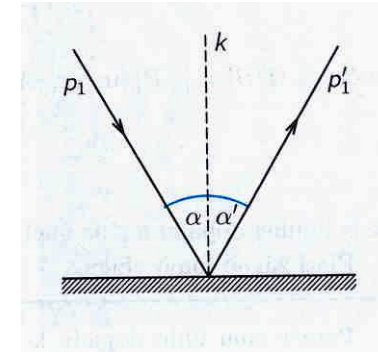
vlnoplocha je místo, kde prostředí kmitá se stejnou fází,
paprskem určuje směr šíření vlnění v daném bodu

Huygensův princip

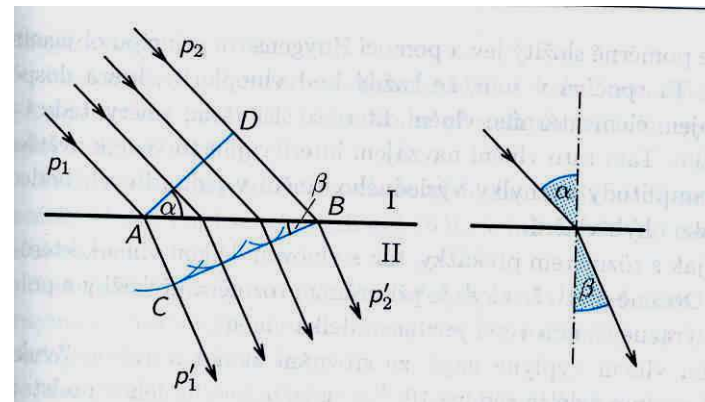
- Každý bod vlnoplochy do něhož dospělo vlnění v určitém okamžiku, můžeme pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch ve směru, v němž se vlnění šíří



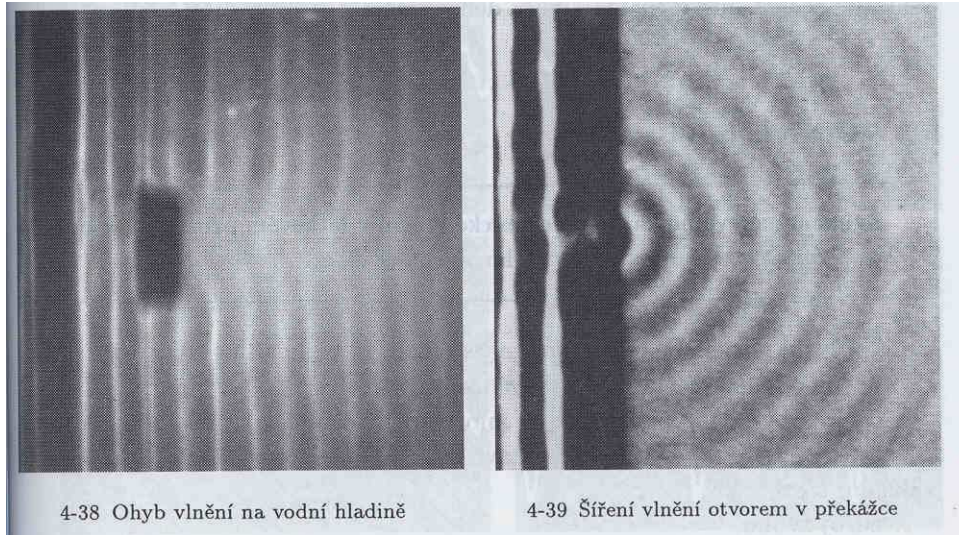
Odraz a lom vlnění



- Při dopadu na rozhraní dvou různých prostředí
- platí zákon odrazu: Úhel odrazu vlnění se rovná úhlu dopadu. Odražený paprsek leží v rovině dopadu
- zákon lomu: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$
- nejvýznamnější pro světlo



Ohyb vlnění

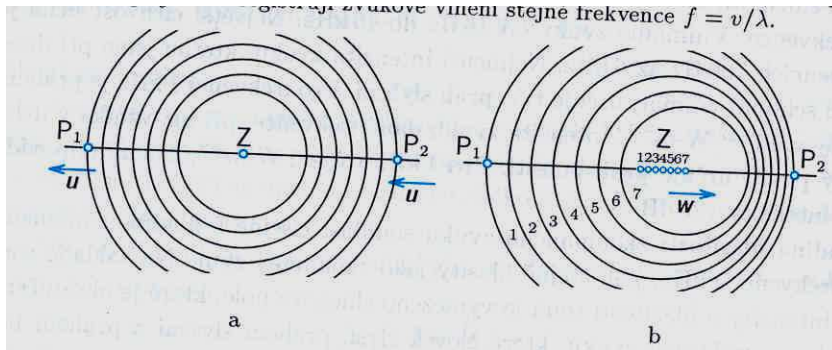


- nastává za urč. podmínek (roli hraje velikost překážky). ovlivňuje směr šíření vlnění
- zvuk se „ohýbá“, takže slyšíme „i za roh“

Dopplerův jev

- vzniká při pohybu zdroje zvuku nebo pozorovatele

$$f_1 = \frac{v-u}{v} f$$



- <http://physics.uwstout.edu/physapplets/a-city/physengl/dopplengl.htm>