INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

FYZIKA PRO II. ROČNÍK GYMNÁZIA

9. MECHANICKÉ VLNĚNÍ

Mgr. Monika Bouchalová

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114 s názvem
„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

1. vznik a druhy vlnění
2. rovnice postupného vlnění
3. interference vlnění
4. odraz vlnění v řadě bodů, stojaté vlnění
5. chvění mechanických soustav
6. vlnění v izotropním prostředí
7. odraz a lom vlnění
8. ohyb vlnění

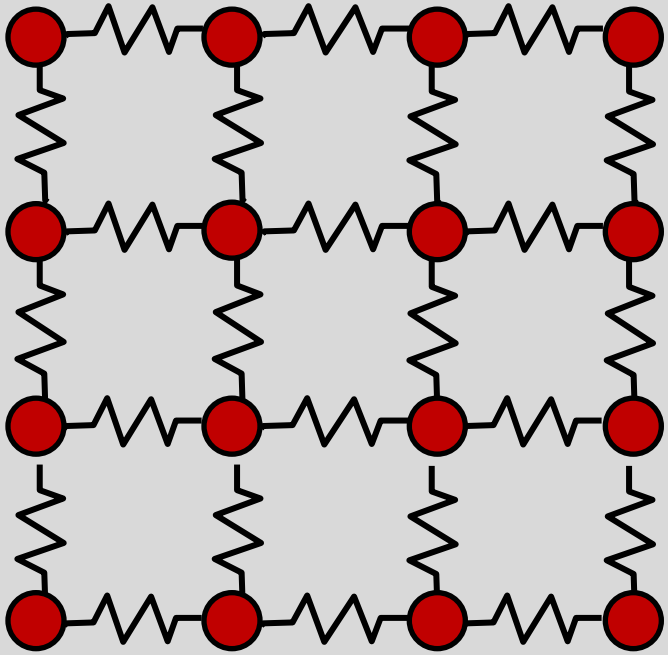
2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

MECHANICKÉ VLNĚNÍ

je děj, při němž se kmitání šíří látkovým prostředím.

- Šíření vln není spojeno s přenosem látky.
- Vlněním se přenáší energie.

- Příčinou vlnění je existence vazeb mezi částicemi prostředí, kterým se vlnění šíří.
- Současně se na částice přenáší energie kmitavého pohybu.
  Takové prostředí se nazývá **pružné prostředí**.



2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

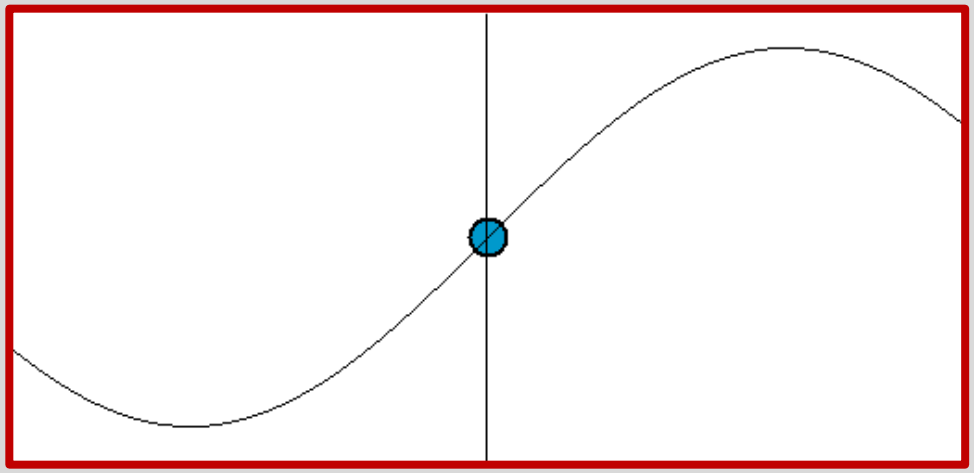
MECHANICKÉ VLNĚNÍ

je děj, při němž se kmitání šíří látkovým prostředím.

- Šíření vln není spojeno s přenosem látky.
- Vlněním se přenáší energie.

ANIMACE VLNĚNÍ

- Částice se chovají jako mechanické oscilátory spojené vazbou
- **Zdrojem** mechanického vlnění je mechanický oscilátor ze kterého se vlnění šíří určitou rychlostí.



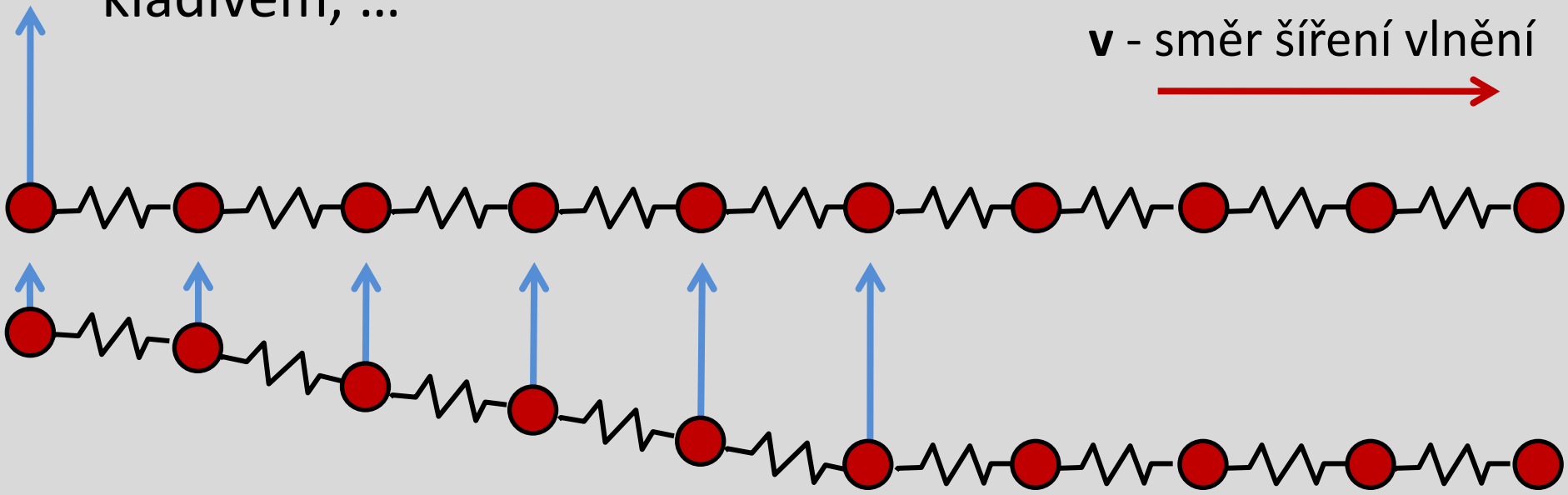
Obr.: 3

2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

V závislosti na směru výchylky kmitání jednotlivých bodů a směru šíření vlnění se vlnění dělí na:

vlnění příčné

- body prostředí kmitají kolmo ke směru šíření vlnění
- je typické pro pevná pružná tělesa tvaru tyčí, vláken, …
- vlnění na hladině rybníka, chvění tyče, do níž udeříme kladivem, …



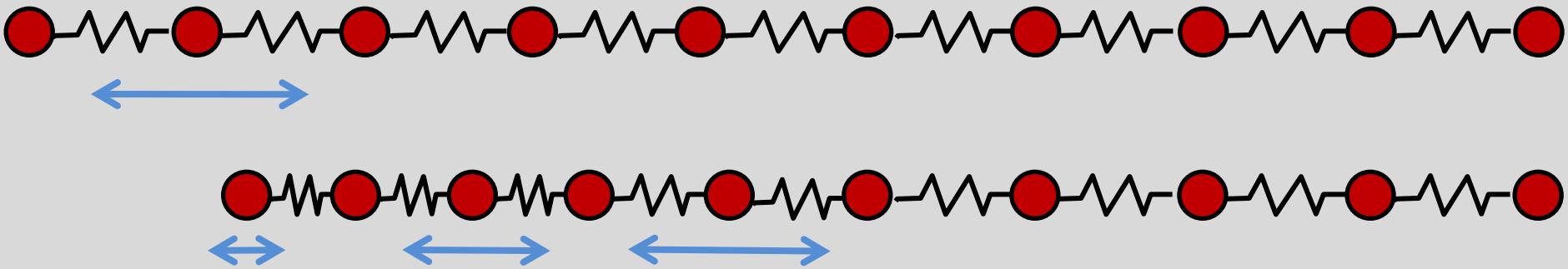
2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

V závislosti na směru výchylky kmitání jednotlivých bodů a směru šíření vlnění se vlnění dělí na:

vlnění podélné

- body prostředí kmitají ve směru šíření vlnění
- je typické pro tělesa (všech skupenství), která jsou pružná při změně objemu (tj. při stlačování a rozpínání)
- body se zhušťují a zřeďují

v - směr šíření vlnění

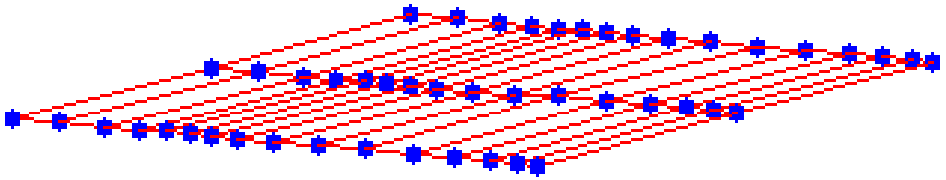


2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

V závislosti na směru výchylky kmitání jednotlivých bodů a směru šíření vlnění se vlnění dělí na:

vlnění podélné

- body prostředí kmitají ve směru šíření vlnění
- je typické pro tělesa (všech skupenství), která jsou pružná při změně objemu (tj. při stlačování a rozpínání)
- body se zhušťují a zřeďují



Obr.: 5

2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

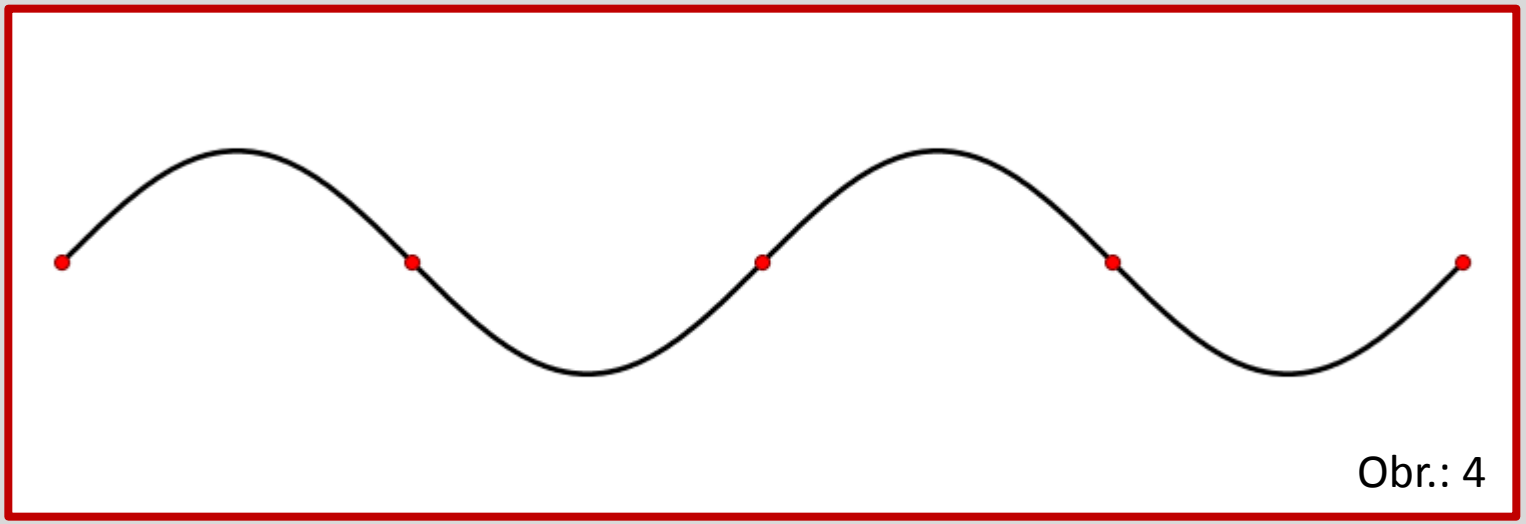
Rozdělení vlnění podle přenosu energie:

vlnění postupné

- vzniká postupným rozkmitáním bodů v pružném látkovém prostředí – energie se vlněním přenáší

vlnění stojaté

- energie se vlněním nepřenáší
- lze pozorovat např. na struně



Obr.: 4

2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

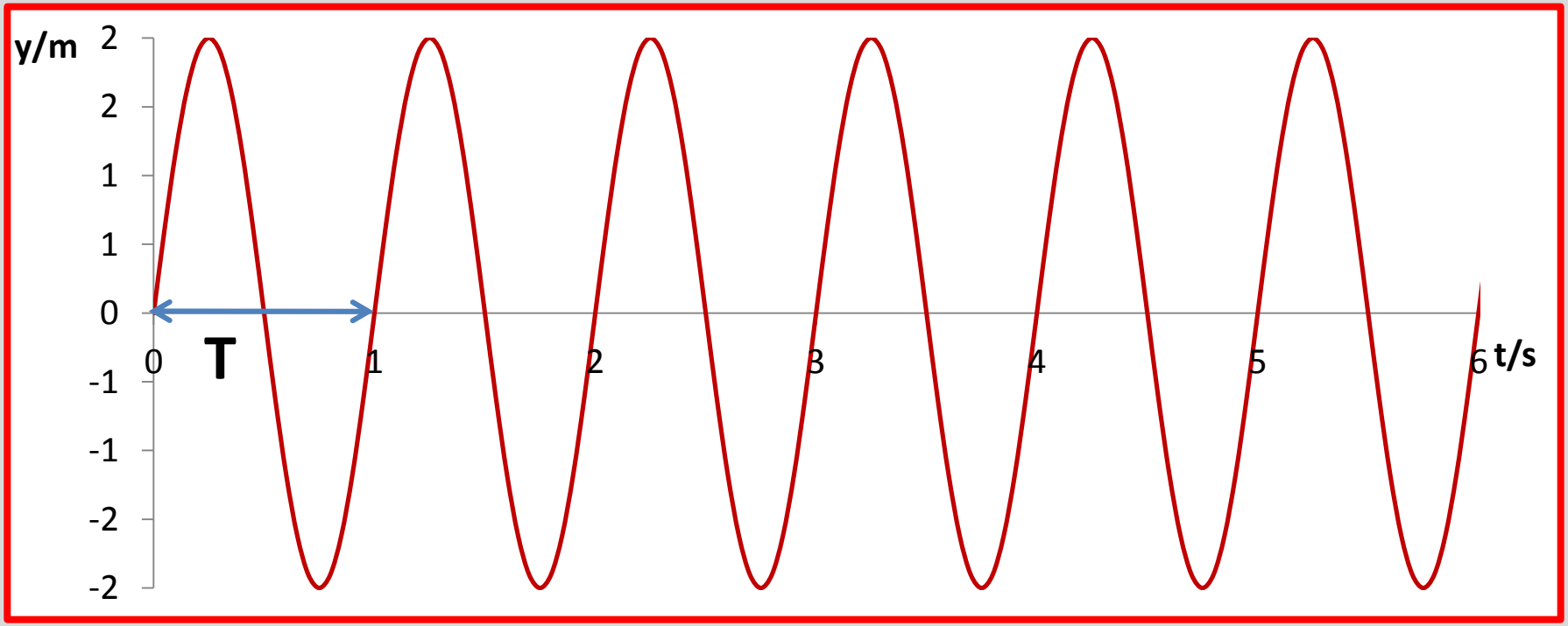
v – rychlost postupného vlnění

λ – vlnová délka je vzdálenost dvou nejbližších bodů, které kmitají se stejnou fází

- všechny body kmitají se stejnou amplitudou a úhlovou frekvencí, ale liší se fází.

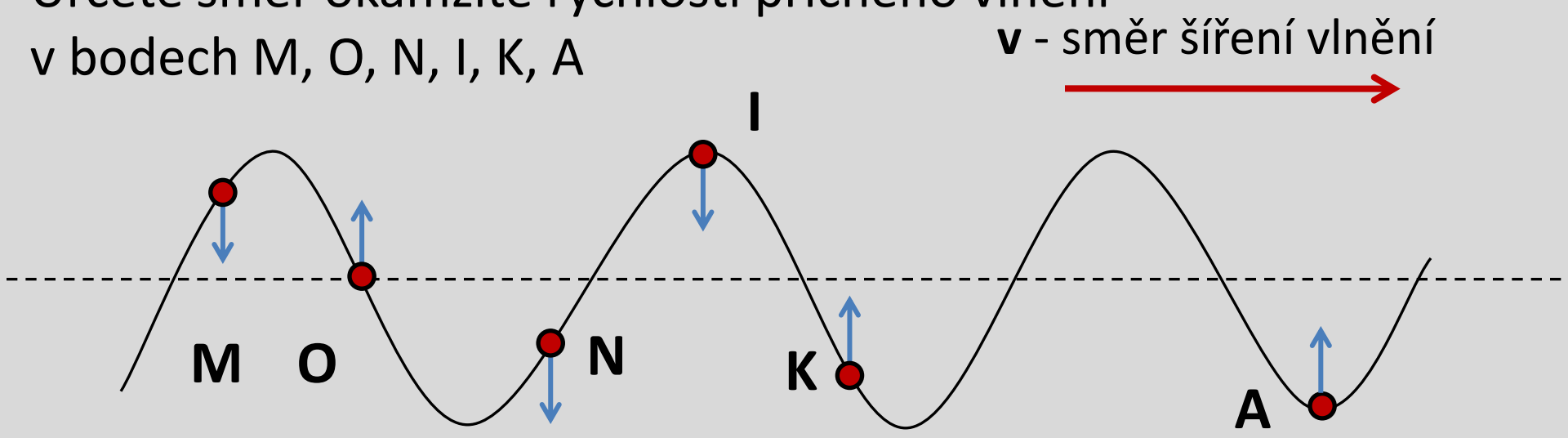
$$\lambda = v.T = \frac{v}{f}$$

v - směr šíření vlnění

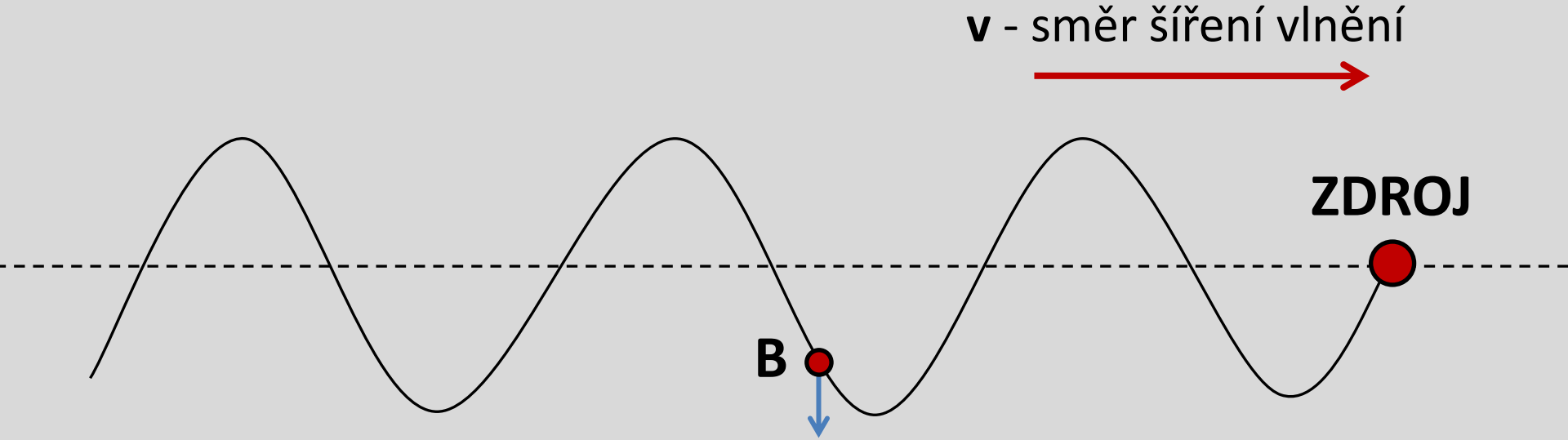


2. 1. VZNIK A DRUHY VLNĚNÍ

Určete směr okamžité rychlosti příčného vlnění v bodech M, O, N, I, K, A

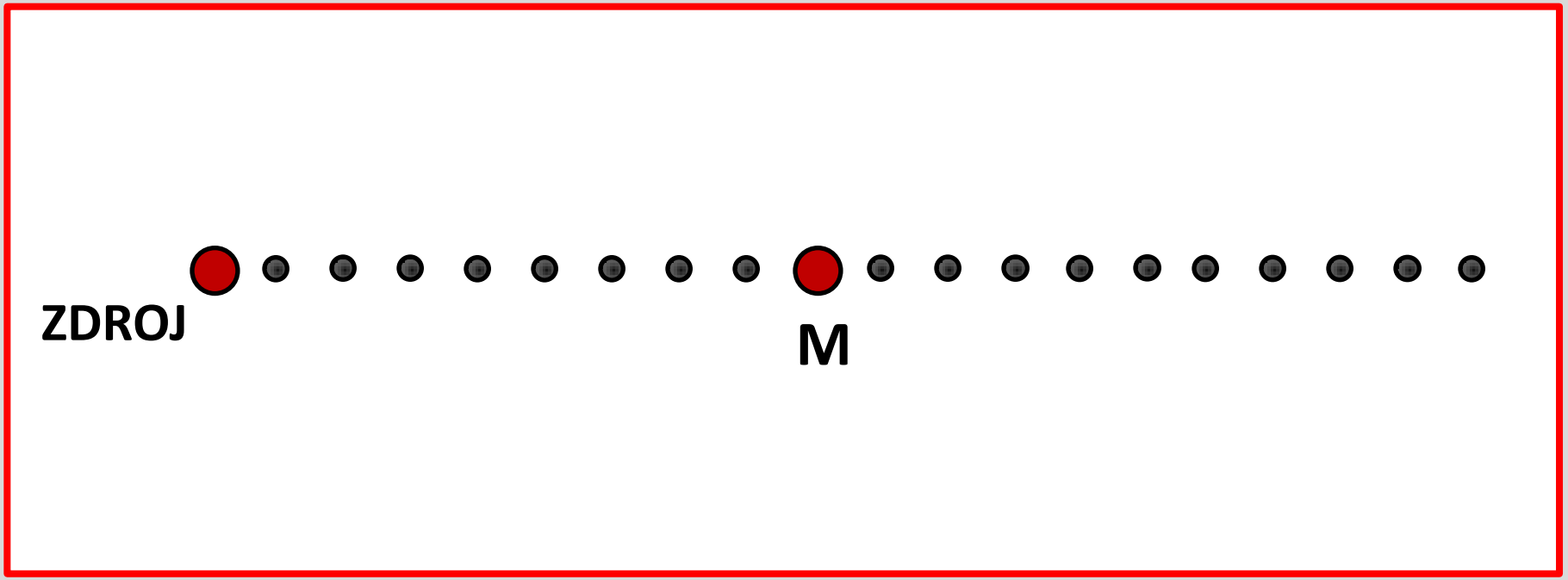


Určete směr šíření vlnění.



2. 2. ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

Okamžitá výchylka bodu M závisí

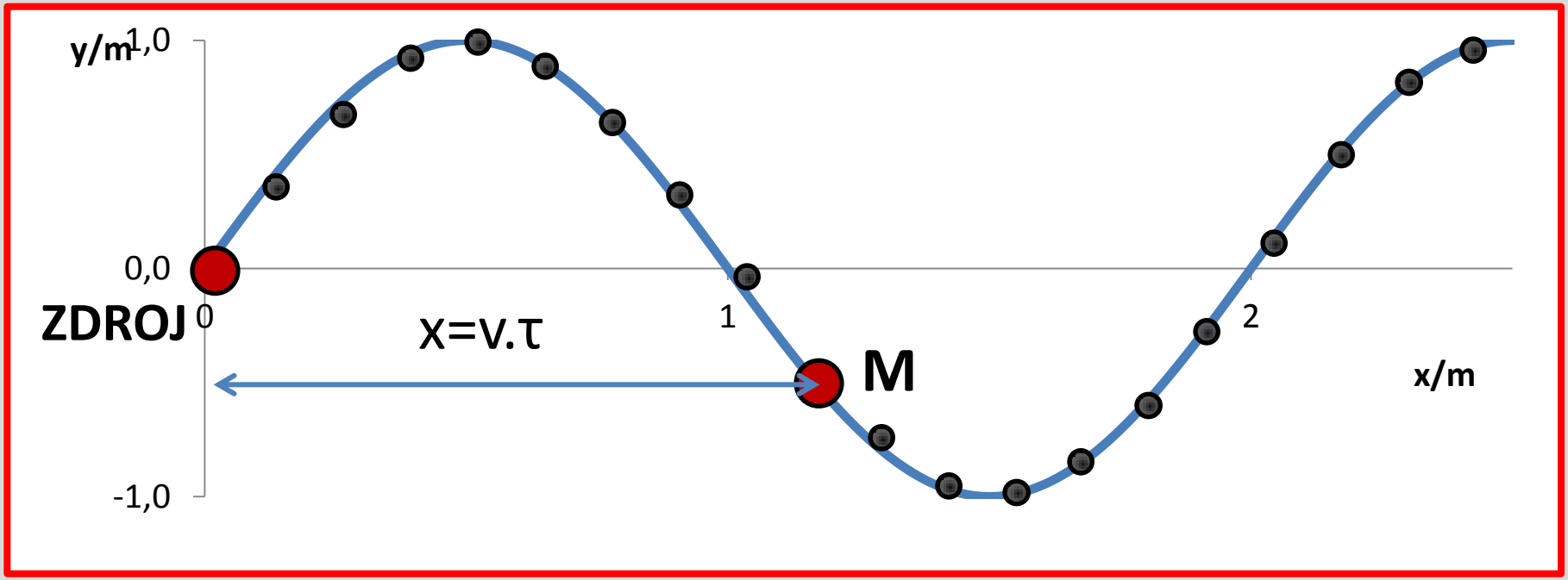


2. 2. ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

Okamžitá výchylka bodu M závisí

- nejen na čase t,
- ale také na vzdálenosti x od zdroje vlnění
- kmitání zdroje vlnění je popsáno rovnicí
- Z – zdroj vlnění (harmonicky kmitá)
- τ – čas za který dospěje vlnění od zdroje do bodu M (kmitání bodu M je opožděno proti kmitání ZDROJE.)

$$y = y_m . \sin \omega t$$



2. 2. ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

rovnice postupné vlny

$$\lambda = vT$$

$$x = v\tau \Rightarrow \tau = \frac{x}{v}$$

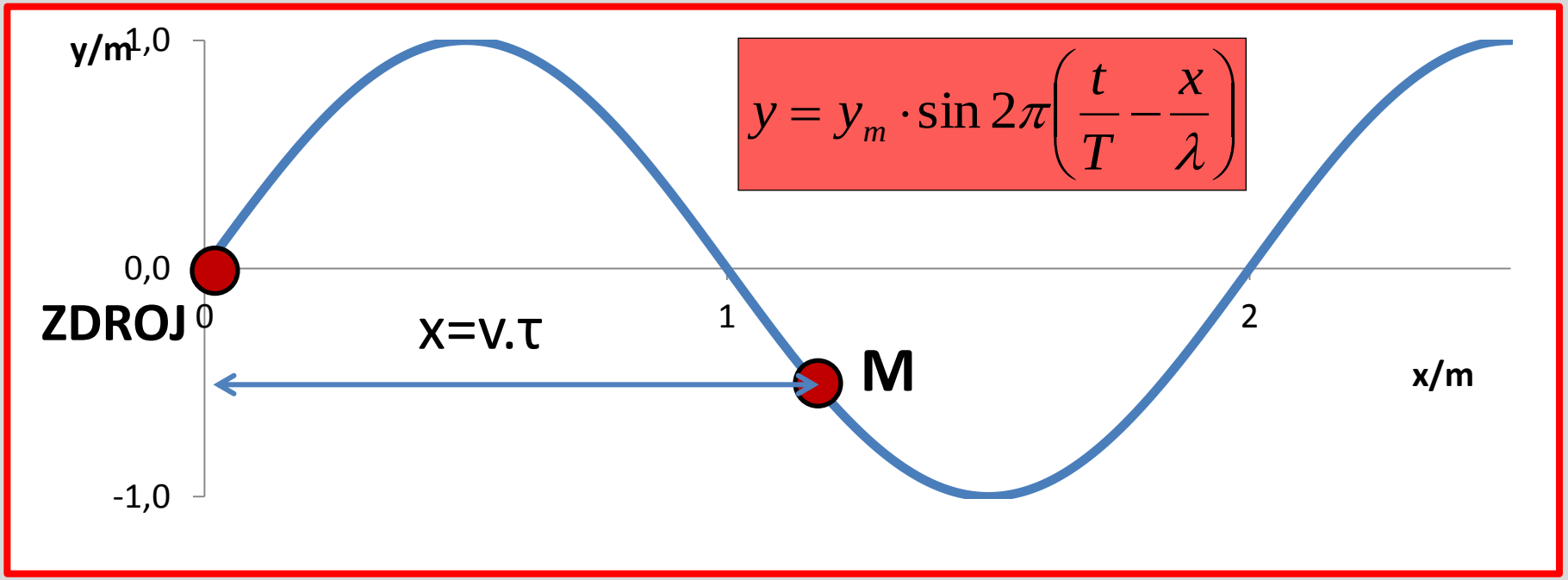
$$y = y_m \cdot \sin \omega t$$

$$y = y_m \cdot \sin \omega (t - \tau)$$

$$y = y_m \cdot \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

$$y = y_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{1}{T}\frac{x}{v}\right)$$

$$y = y_m \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{1x}{\lambda}\right)$$

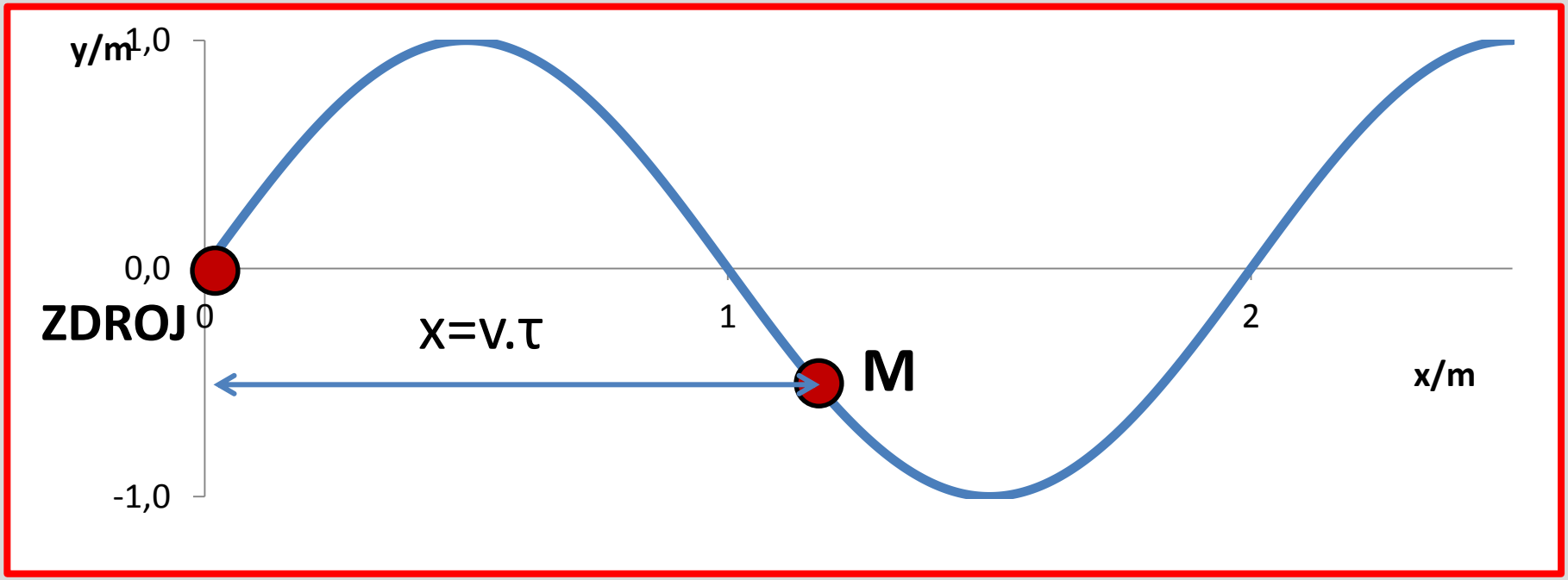


2. 2. ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

rovnice postupné vlny

- platí pro příčné i podélné vlnění v homogenním prostředí
- předpokládáme, že vlnění není tlumené y_m = konst.

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



2. 2. ROVNICE POSTUPNÉHO VLNĚNÍ

Fáze vlnění

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

$$\varphi = 2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right)$$

– jestliže vlnění postupuje ve směru osy x

\+ jestliže vlnění postupuje proti směru osy x

Všechny veličiny popisující vlnění jsou funkcemi času a funkcemi polohy bodu, kterými vlnění prochází.

2. 3. INTERFERENCE VLNĚNÍ

Jestliže pružným prostředím postupuje dvě nebo více mechanických vln, dochází k jejich skládání.

Př.: Dvě vlnění se stejnou λ, y_m, v

$$y_1 = y_m.\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x_1}{\lambda}\right)$$

$$y_2 = y_m.\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x_2}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

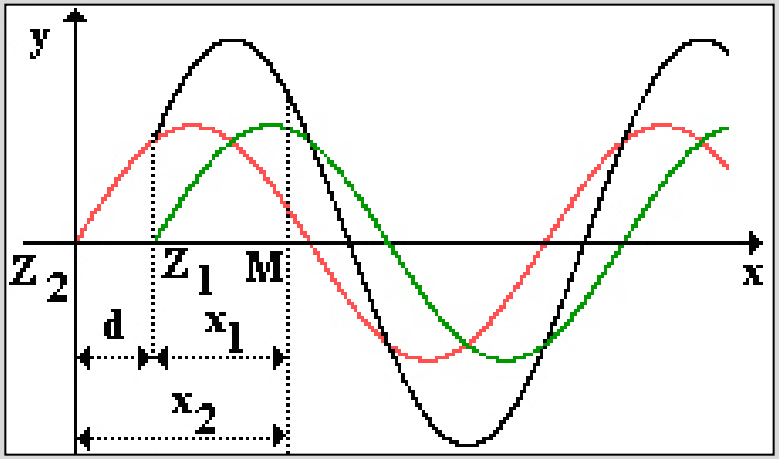
$$\Delta\varphi = 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x_1}{\lambda}\right)-2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x_2}{\lambda}\right)$$

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{t}{T}-2\pi\frac{x_1}{\lambda}-2\pi\frac{t}{T}+2\pi\frac{x_2}{\lambda}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2-x_1) \qquad d = x_2 - x_1 \qquad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}d$$

Δφ – fázový rozdíl

d – dráhový rozdíl (vzdálenost 2 bodů, ve kterých mají dvě vlnění stejnou fázi)



2. 3. INTERFERENCE VLNĚNÍ

Zvláštní případy interference

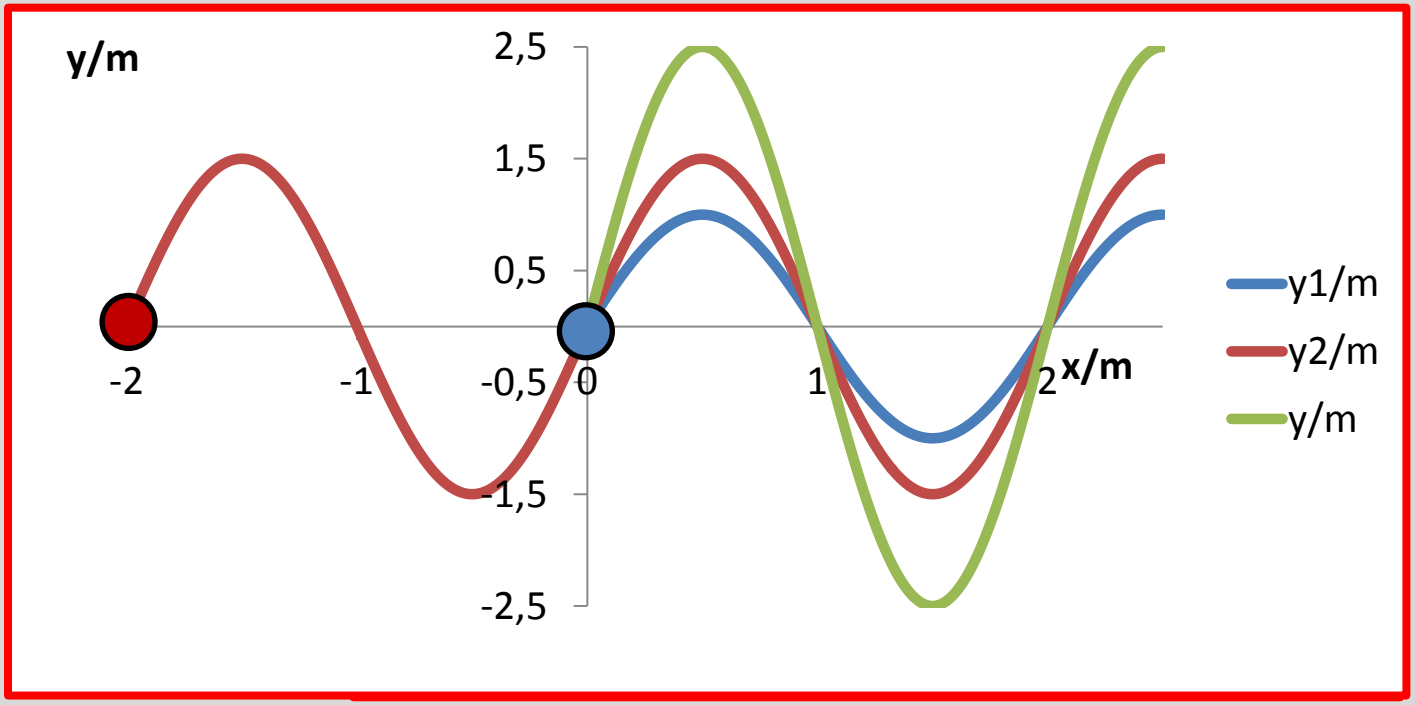
d = celistvému počtu půlvln interferujících vlnění:

$$d = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$k = 0,1,2,\ldots$$

1) d = sudému počtu půlvln

- vlnění se setkávají se **stejnou fází**
- amplituda výsledného vlnění rovna $y_m = y_{m1} + y_{m2}$
- vzniká interferenční **maximum**



ZDROJ 1

ZDROJ 2

2. 3. INTERFERENCE VLNĚNÍ

Zvláštní případy interference

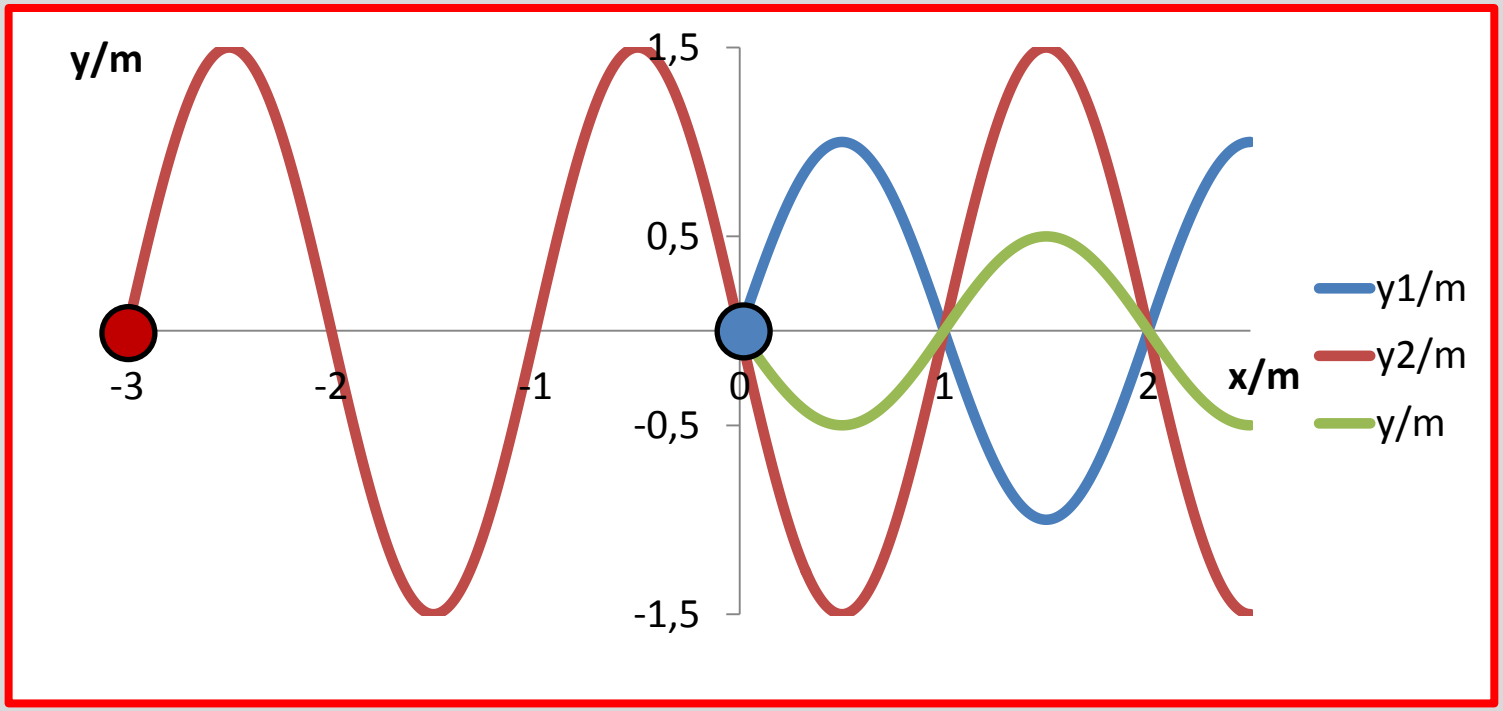
d = celistvému počtu půlvln interferujících vlnění:

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

$$k = 0,1,2,\ldots$$

2) d = lichému počtu půlvln

- vlnění se setkávají s opačnou fází
- amplituda výsledného vlnění je rovna ym = /ym1 – ym2/
- vzniká interferenční **minimum**)



ZDROJ 1

ZDROJ 2

2. 3. INTERFERENCE VLNĚNÍ

Zvláštní případy interference

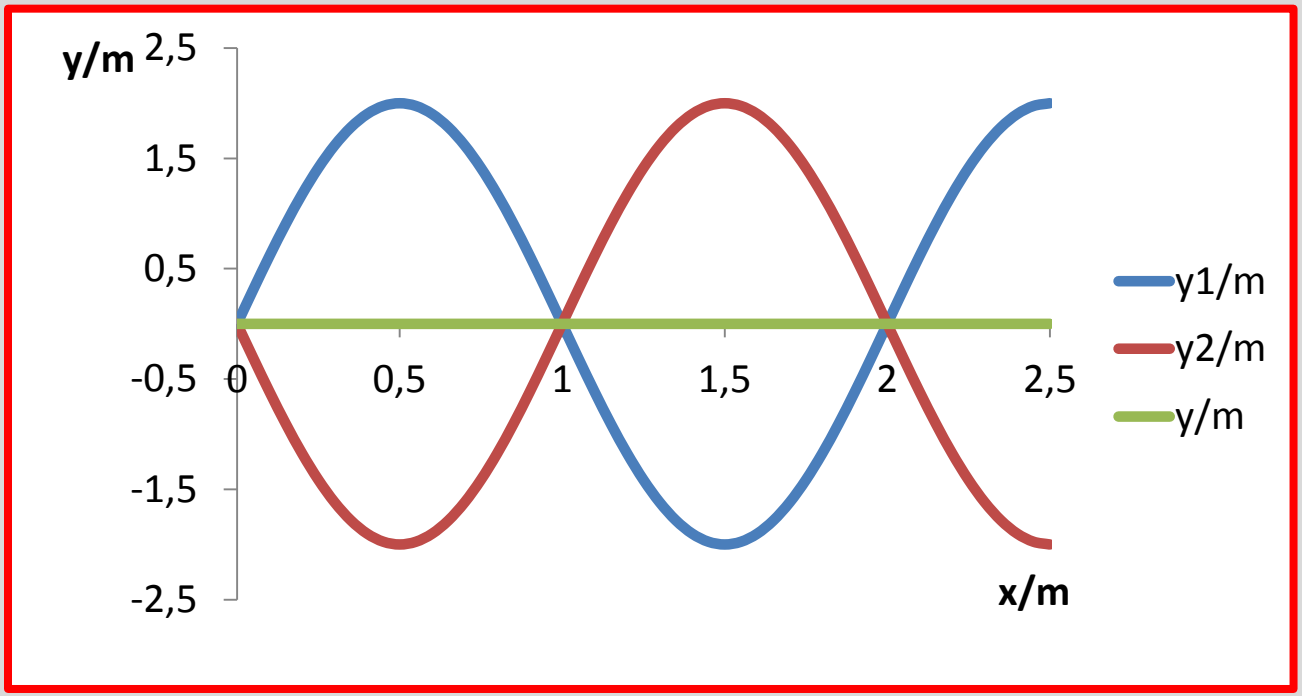
d = celistvému počtu půlvln interferujících vlnění:

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

$$k = 0,1,2,\ldots$$

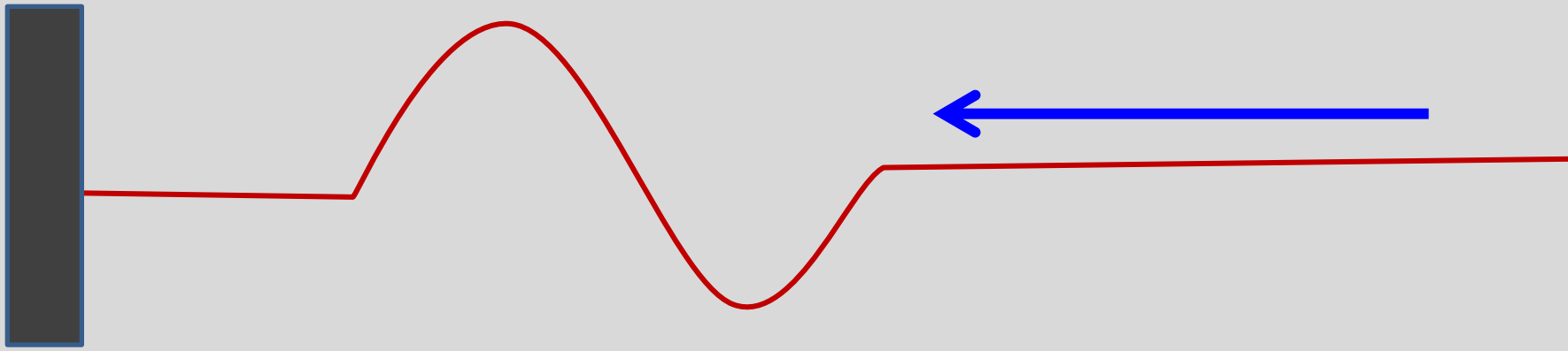
2) d = lichému počtu půlvln

- vlnění se setkávají s opačnou fází
- amplituda výsledného vlnění je rovna ym = /ym1 – ym2/
- vzniká interferenční **minimum** ($y_{m1} = y_{m2}$ vlnění zaniká)

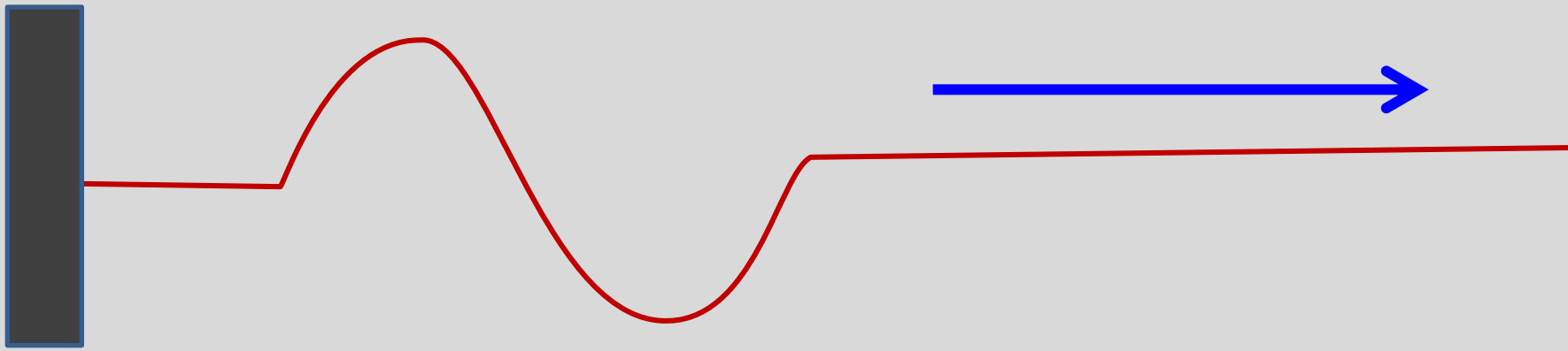


2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

nastává na konci řady bodů, kterou se šíří postupné vlnění

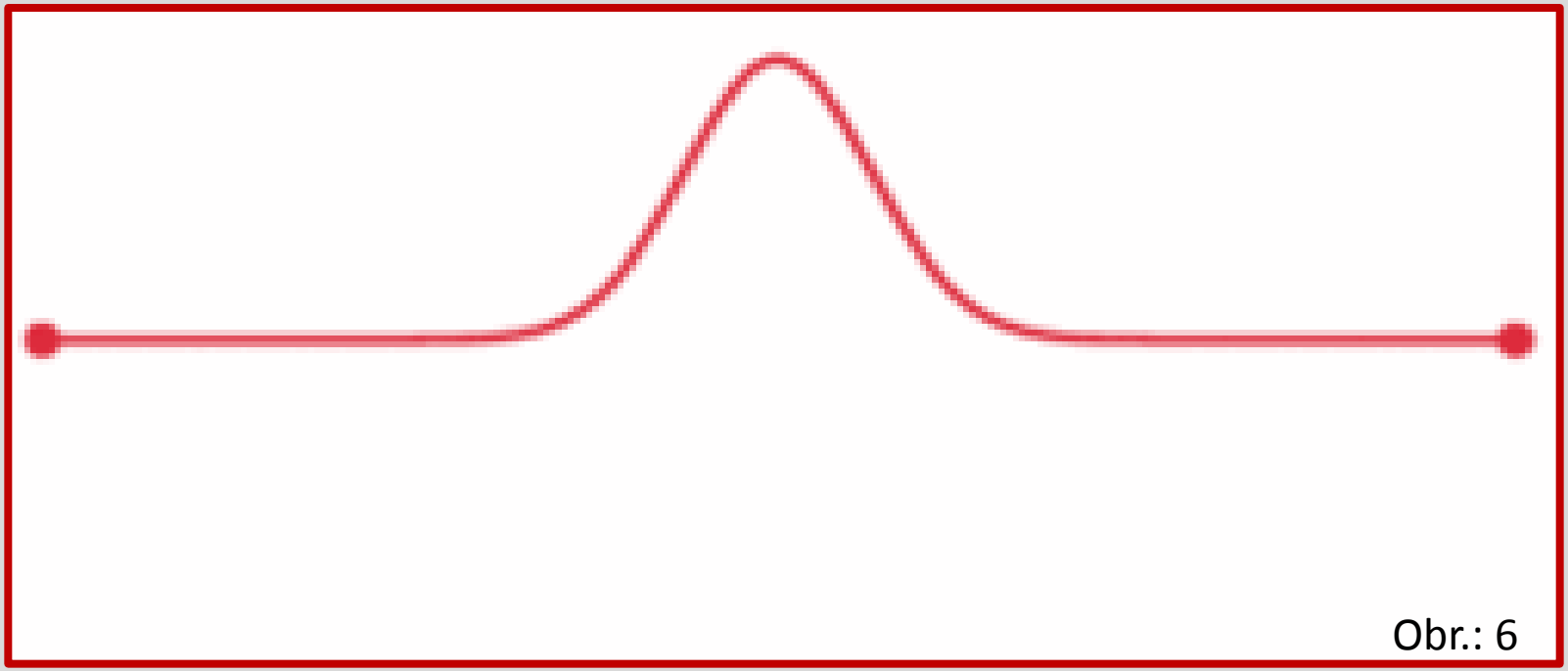


- na pevném konci se vlnění odráží s opačnou fází



2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

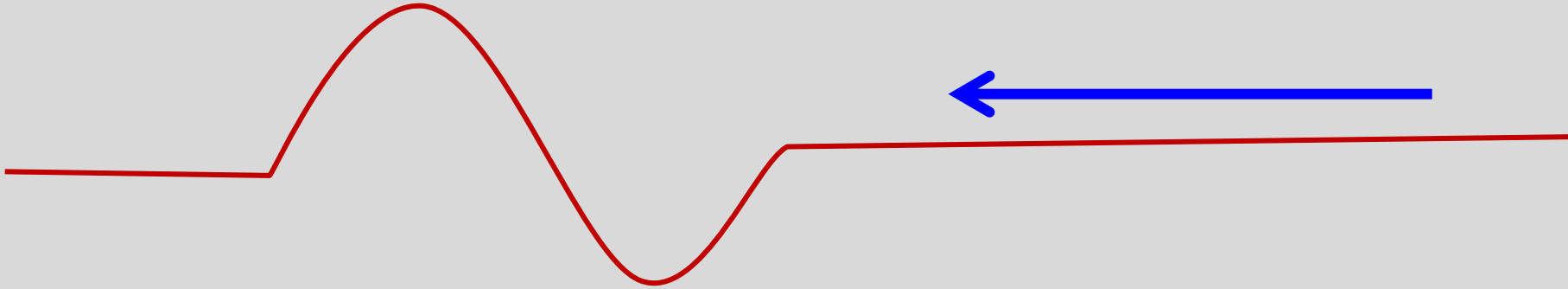
- Puls na struně s upevněnými konci



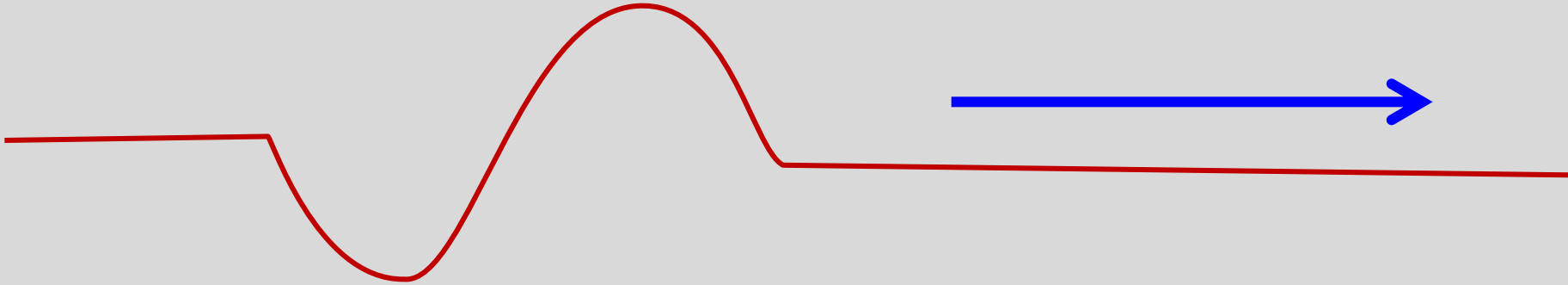
Obr.: 6

2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

nastává na konci řady bodů, kterou se šíří postupné vlnění



- na volném konci se vlnění odráží se stejnou fází



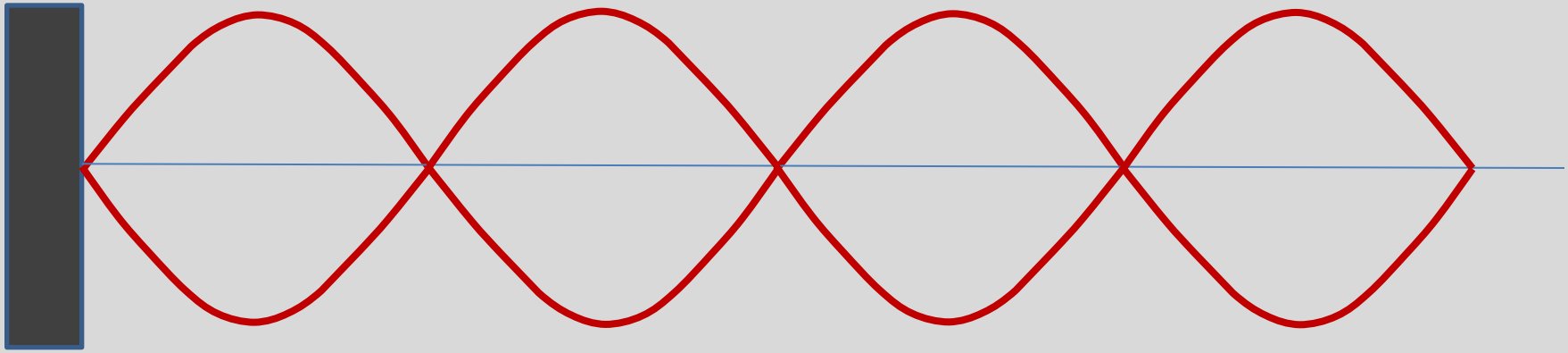
2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

STOJATÉ VLNĚNÍ

vzniká interferencí dvou stejných vlnění (stejné λ, y_m, f), která postupují proti sobě

Například skládáním:

- postupného přímého vlnění
- a vlnění odraženého od pevného konce daného prostředí.

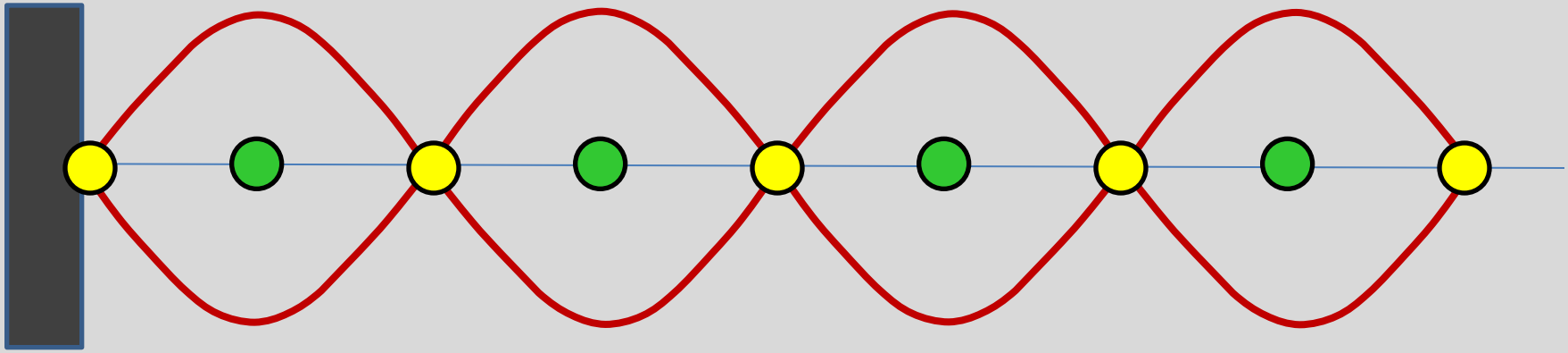


2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

Kmitna stojatého vlnění je bod, ●
který kmitá s maximální amplitudou. ($y = y_m$)

Uzel stojatého vlnění je bod, ●
který zůstává v klidu (tj. jeho amplituda je nulová).

Vzdálenost dvou sousedních uzlů (nebo kmiten) je $\lambda/2$.



2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

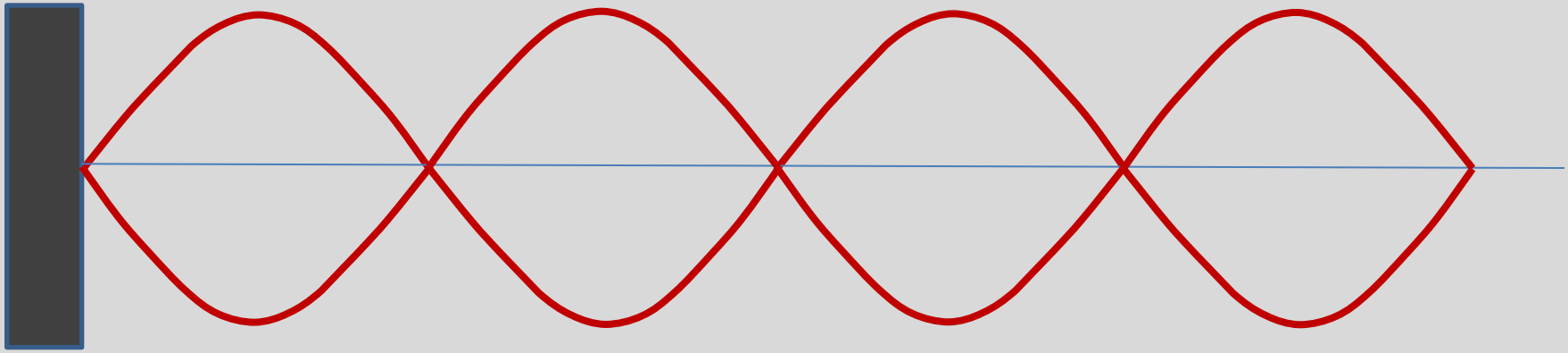
Při postupném vlnění

- kmitají všechny body se stejnou amplitudou,
- ale s různou fází, která se s časem mění
- fáze se šíří rychlostí, která se označuje jako fázová rychlost
- energie se přenáší.

2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

Při stojatém vlnění

- kmitají všechny body mezi dvěma uzly se stejnou fází
- ale různou amplitudou výchylky (závislé na poloze bodu)
- energie se nepřenáší, pouze se mění potenciální energie pružnosti v kinetickou a naopak.



2. 4. ODRAZ VLNĚNÍ

Stojaté vlnění

- Může být příčné i podélné.
- **Vlnění příčné** je zdrojem zvuku u strunných nástrojů (kytara, housle, …).
- **Vlnění podélné** vzduchového sloupce v duté části nástroje je příčinou zvuku u dechových nástrojů (klarinet, trubka).
- Toto stojaté vlnění označujeme jako chvění.

2. 5. CHVĚNÍ MECHANICKÝCH SOUSTAV

Frekvence stojatého vlnění nemůže být libovolná.
Obecně je možné vytvořit stojaté vlny, pro něž platí:

$$l = k\frac{\lambda}{2}$$
$$k = 1,2,\ldots$$

Na strunu se vejde celočíselný násobek poloviny vlnové délky.

$$f_z = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$$

f_z – **základní frekvence**:
Základní frekvence je dána geometrickými rozměry pružného tělesa, v němž vzniká chvění.
Pružné těleso se chová jako mechanický oscilátor.

vyšší harmonické frekvence – násobky f_z **– $f = k.f_z$**

2. 5. CHVĚNÍ MECHANICKÝCH SOUSTAV

- na pevném konci vzniká

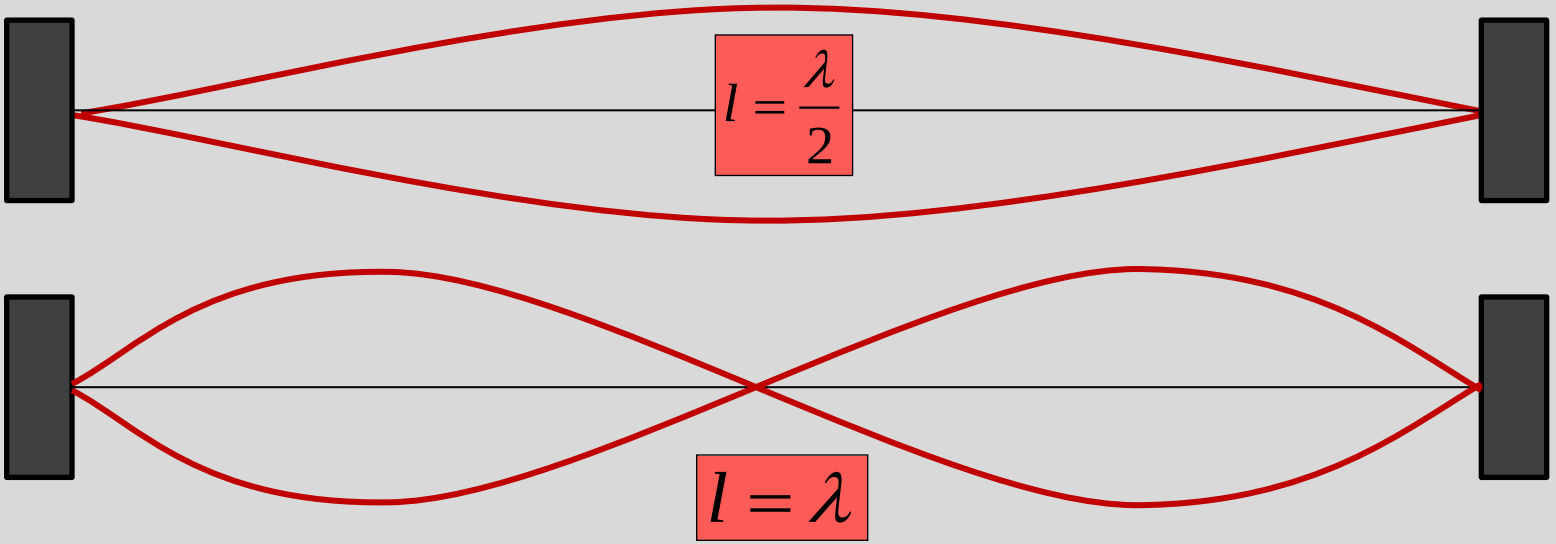
uzel

- na volném konci vzniká

kmitna

$$l = k\frac{\lambda}{2}$$
$$k = 1,2,\ldots$$

1) těleso je upevněno na obou koncích:
   - struna na kytaře
   - struna v klavíru
   - tyč vetknutá mezi dvě stěny

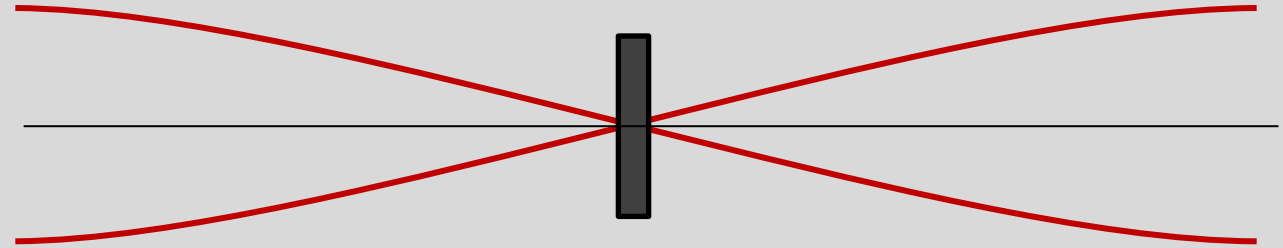


2. 5. CHVĚNÍ MECHANICKÝCH SOUSTAV

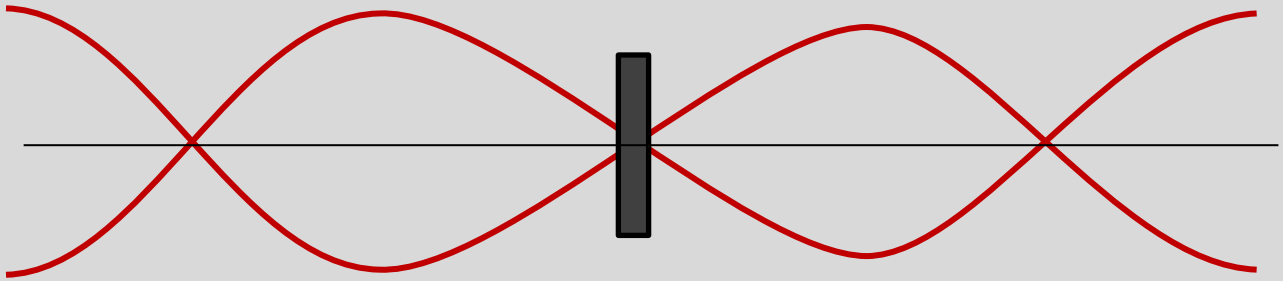
- na pevném konci vzniká uzel
- na volném konci vzniká kmitna

$$l = k\frac{\lambda}{2}$$
$$k = 1,2,\ldots$$

2) pružné těleso je upevněno uprostřed – jen liché násobky
   - ozvučná dřívka držená uprostřed



$$l = \frac{\lambda}{2}$$



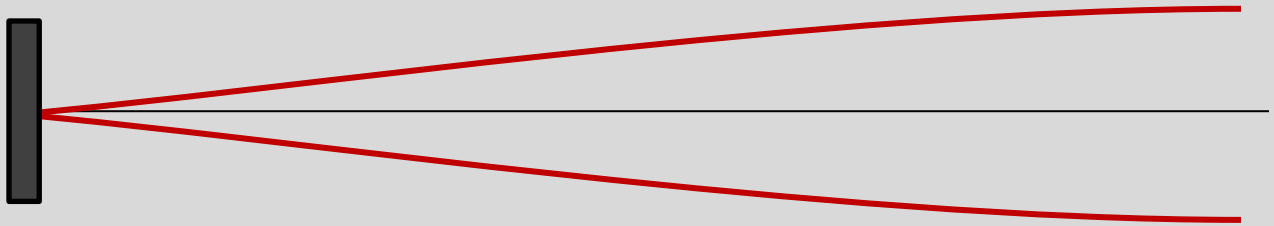
$$l = \frac{3\lambda}{2}$$

2. 5. CHVĚNÍ MECHANICKÝCH SOUSTAV

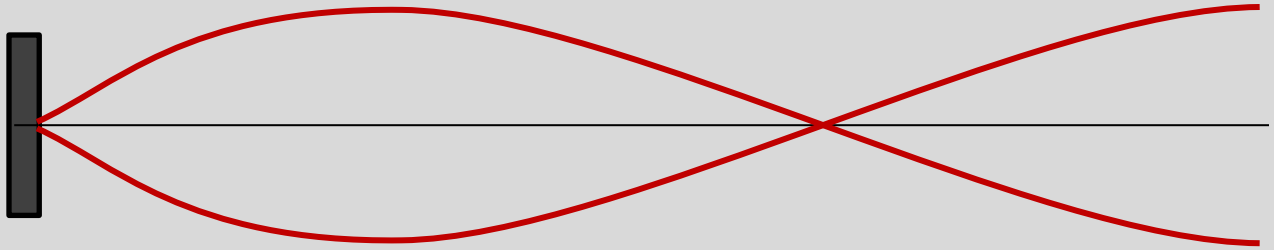
- na pevném konci vzniká uzel
- na volném konci vzniká kmitna

$$l = k\frac{\lambda}{2}$$
$$k = 1,2,\ldots$$

3) pružné těleso je upevněno na jednom konci
   - Hraní na láhev od piva foukáním přes její hrdlo



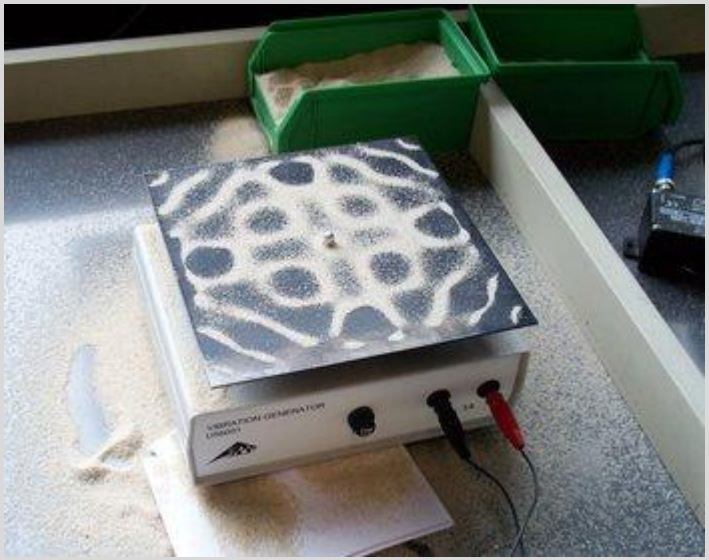
$$l = \frac{\lambda}{2}$$

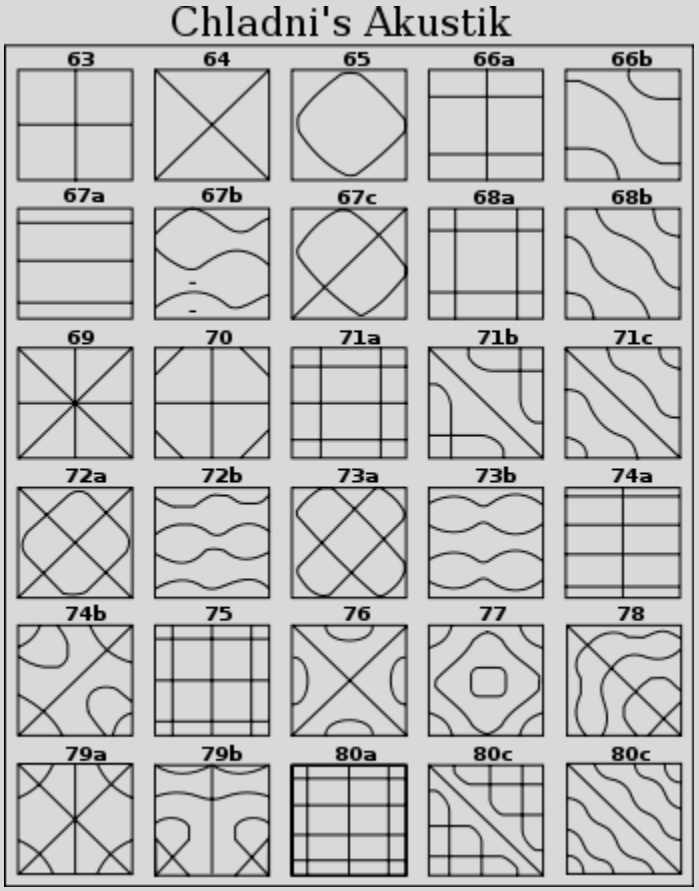


$$l = \frac{3\lambda}{2}$$

2. 5. CHVĚNÍ MECHANICKÝCH SOUSTAV

Chvění vzniká i na deskách různého tvaru.
„Zviditelnění“ kmiten a uzlů lze docílit posypáním desky jemným pískem a následným rozkmitání smyčcem - na desce vznikají charakteristické (Chladniho) obrazce.



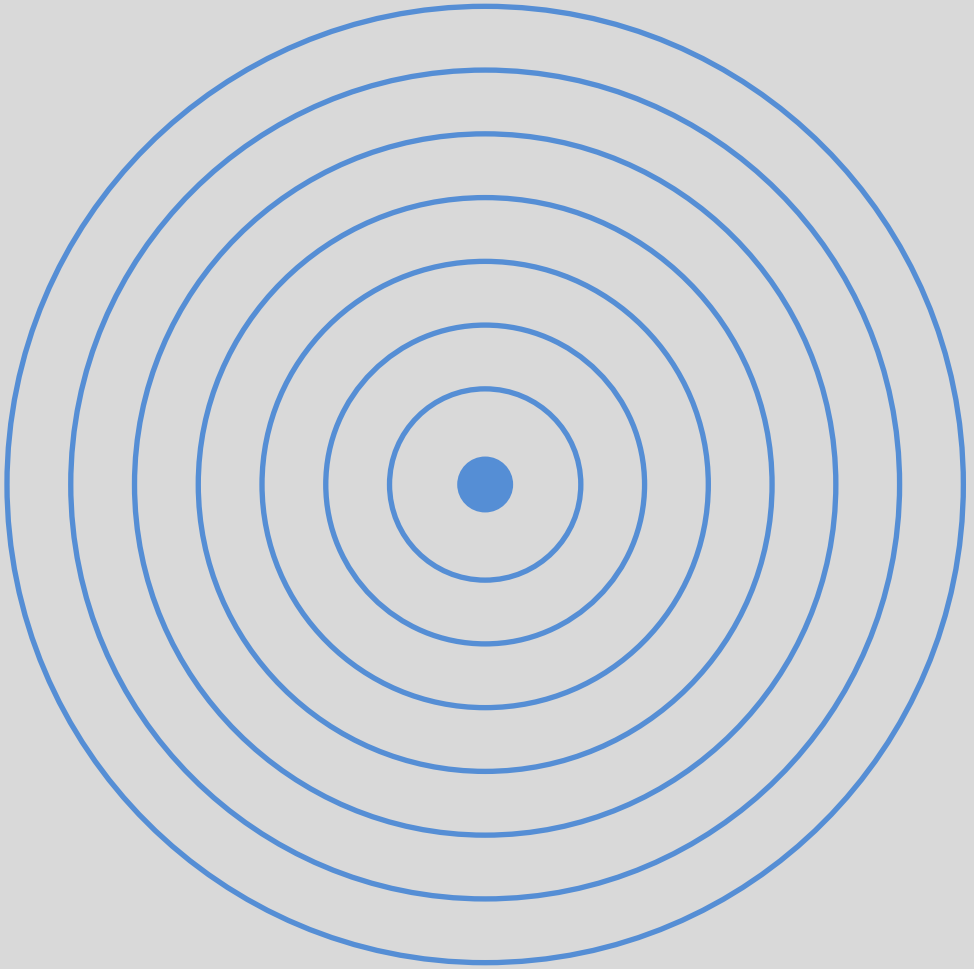


Obr.: 1 - Příklady Chladniho obrazců na čtvercové desce, z jeho knihy Akustika

2. 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

Izotropní prostředí – má ve všech bodech a směrech stejné vlastnosti.

Vlnoplocha
je plocha, na níž leží body, do kterých vlnění dospělo za tutéž dobu.



V homogenním izotropním prostředí se vlnění šíří přímočaře podle Huygensova principu v **kulových vlnoplochách**.

Body vlnoplochy kmitají se stejnou fází.

2. 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

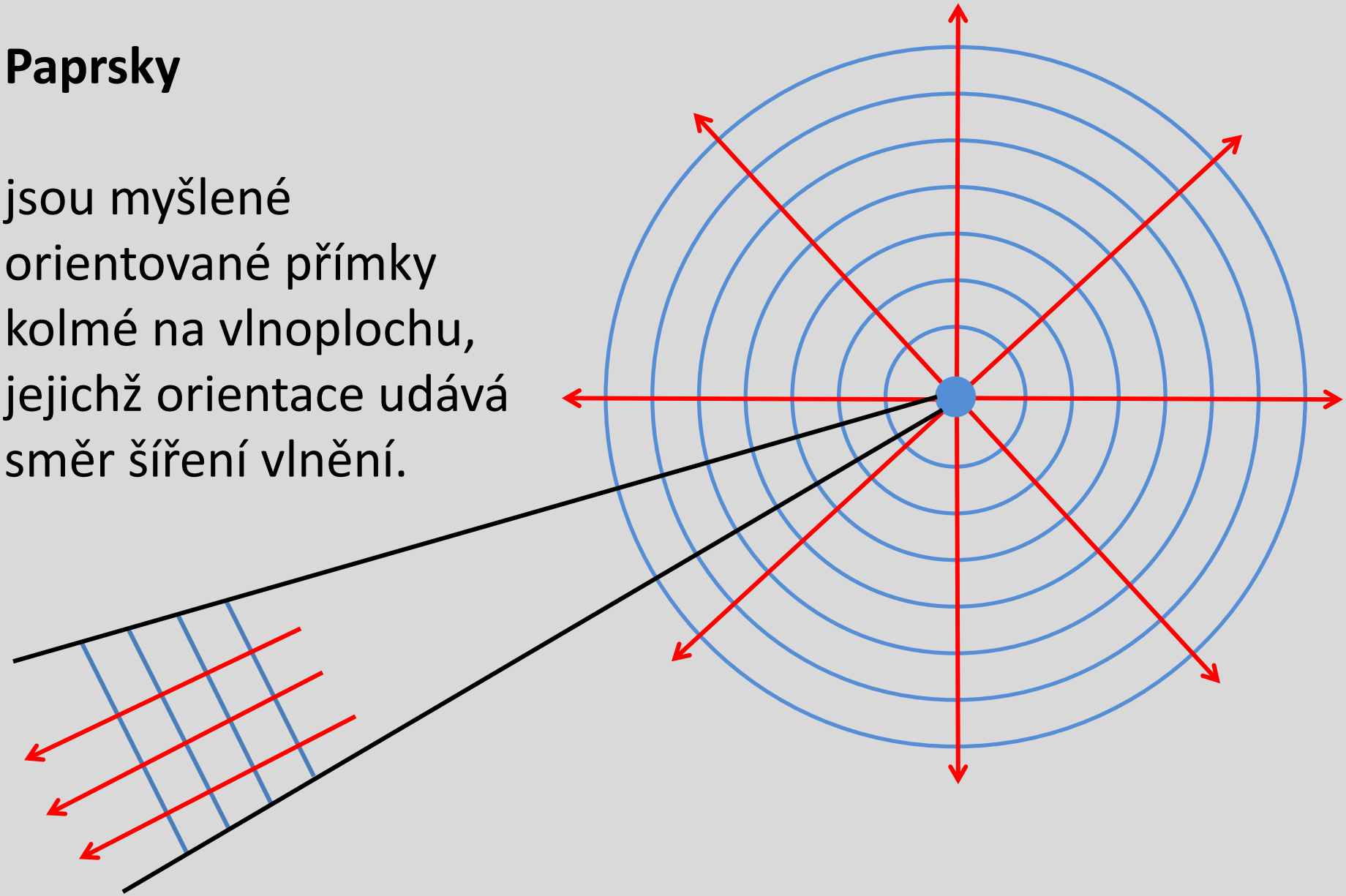
Je-li bodový zdroj vlnění ve velké vzdálenosti, můžeme část kulové vlnoplochy považovat za

rovinnou vlnoplochu .

2. 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

Paprsky

jsou myšlené orientované přímky kolmé na vlnoplochu, jejichž orientace udává směr šíření vlnění.



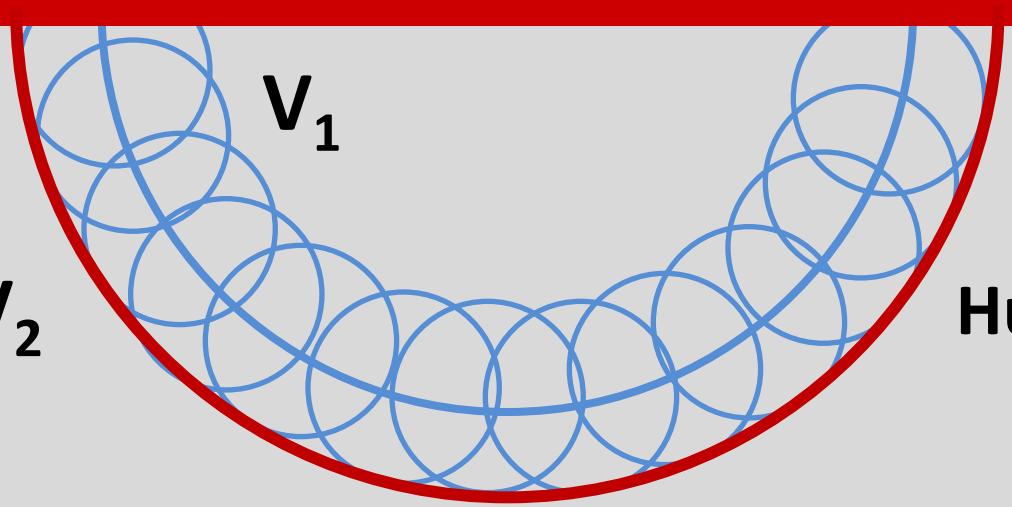
2. 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ

Neznáme-li polohu zdroje, ale známe tvar vlnoplochy v určitém okamžiku, umíme určit tvar vlnoplochy v okamžiku dalším, použijeme tzv. **Huygensův princip**

Christian Huygens 1629 – 1695
současník Newtona

Obr.: 2

2. 6. VLNĚNÍ V IZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ



Huygensův princip

Každý bod vlnoplochy V_1, do něhož dospělo vlnění v určitém časovém okamžiku, lze považovat za zdroj elementárního vlnění EV, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách.
Vlnoplocha V_2 v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.

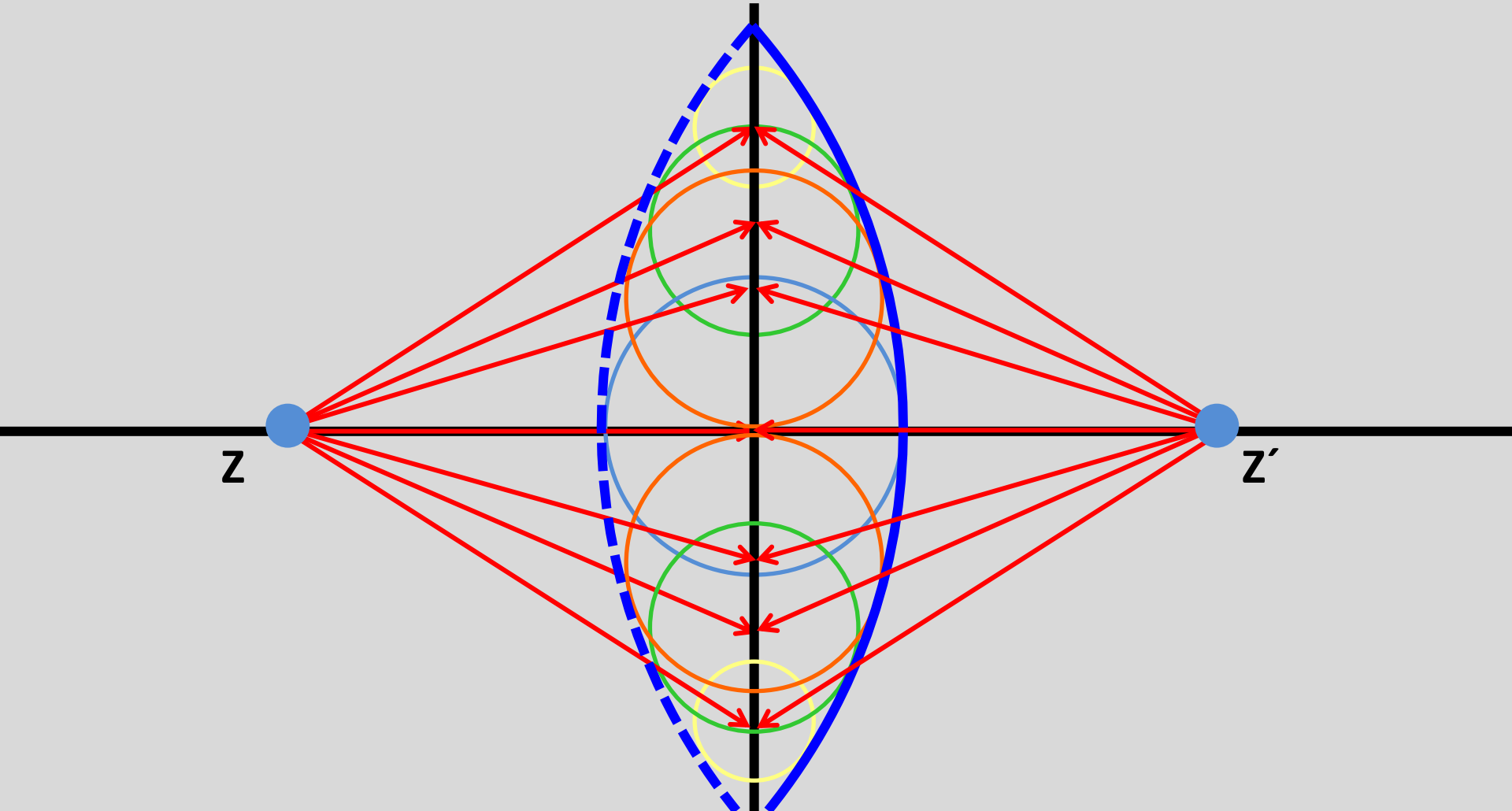
EV spolu interferují, ale ruší se všude, kromě nové vlnoplochy.

2. 7. ODRAZ VLNĚNÍ

vlnění se při dopadu na neprostupnou překážku odráží

Z´ – zdánlivý obraz bodu Z

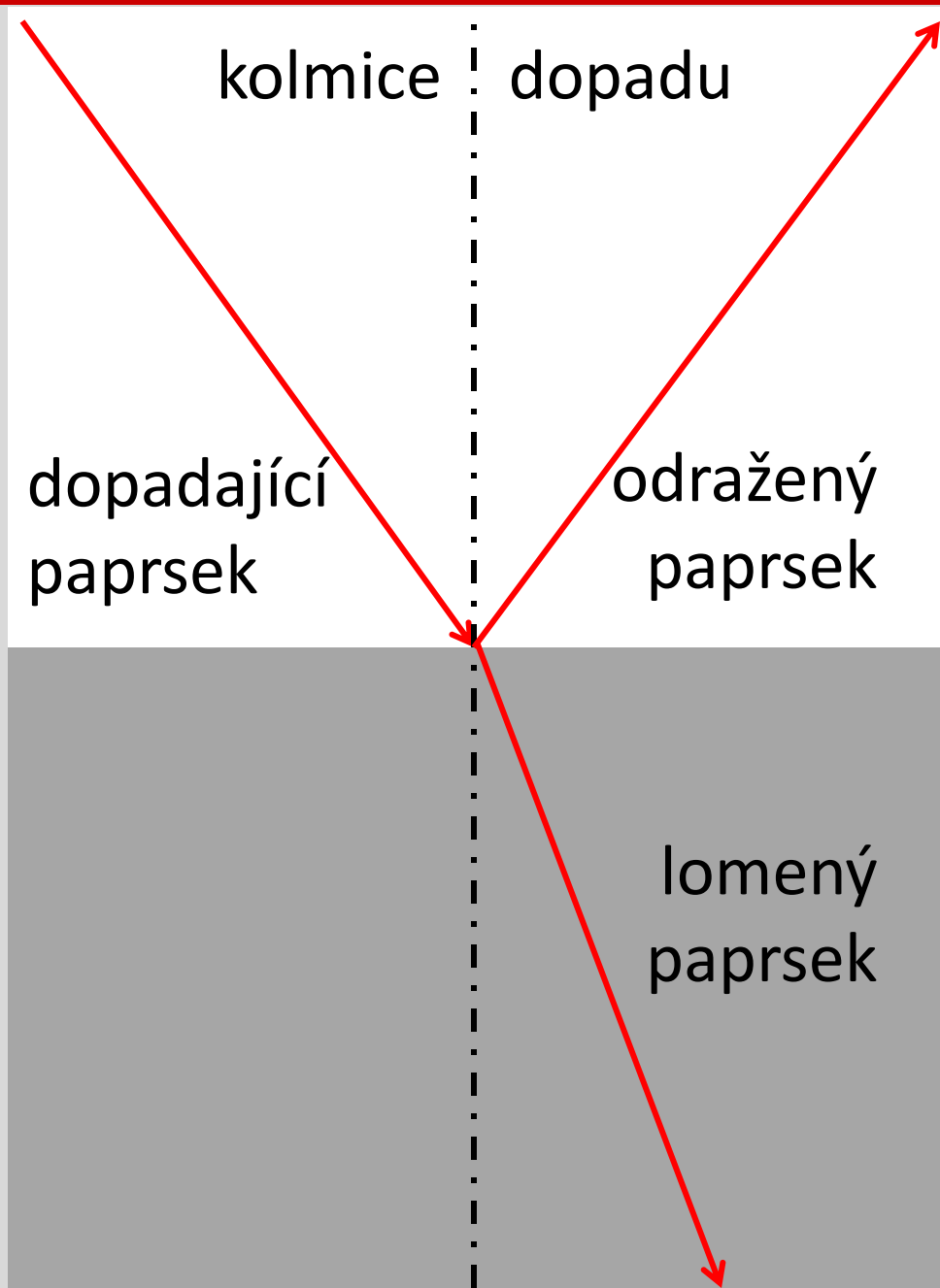
odražená vlnoplocha má tvar jako by vycházela ze zdroje Z´



2. 7. ODRAZ VLNĚNÍ

Při dopadu vlnění
na rozhraní dvou
různých prostředí
se vlnění částečně odráží
a částečně láme.

Rovina dopadu
je rovina určená
dopadajícím paprskem
a kolmicí dopadu.

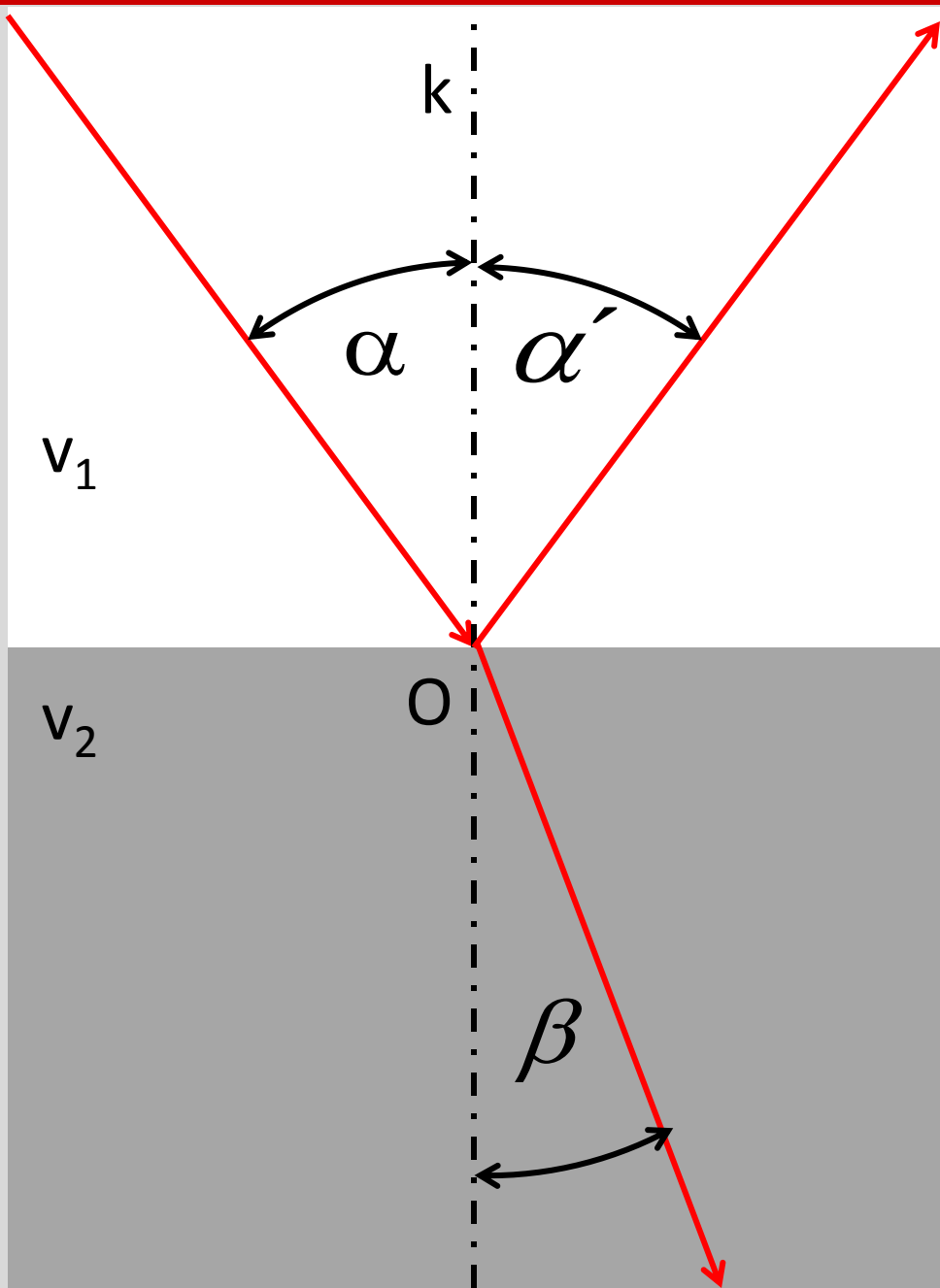


2. 7. ODRAZ VLNĚNÍ

O místo dopadu
k kolmice dopadu

α úhel dopadu
α´ úhel odrazu
β úhel lomu

v_1, v_2 rychlosti vlnění



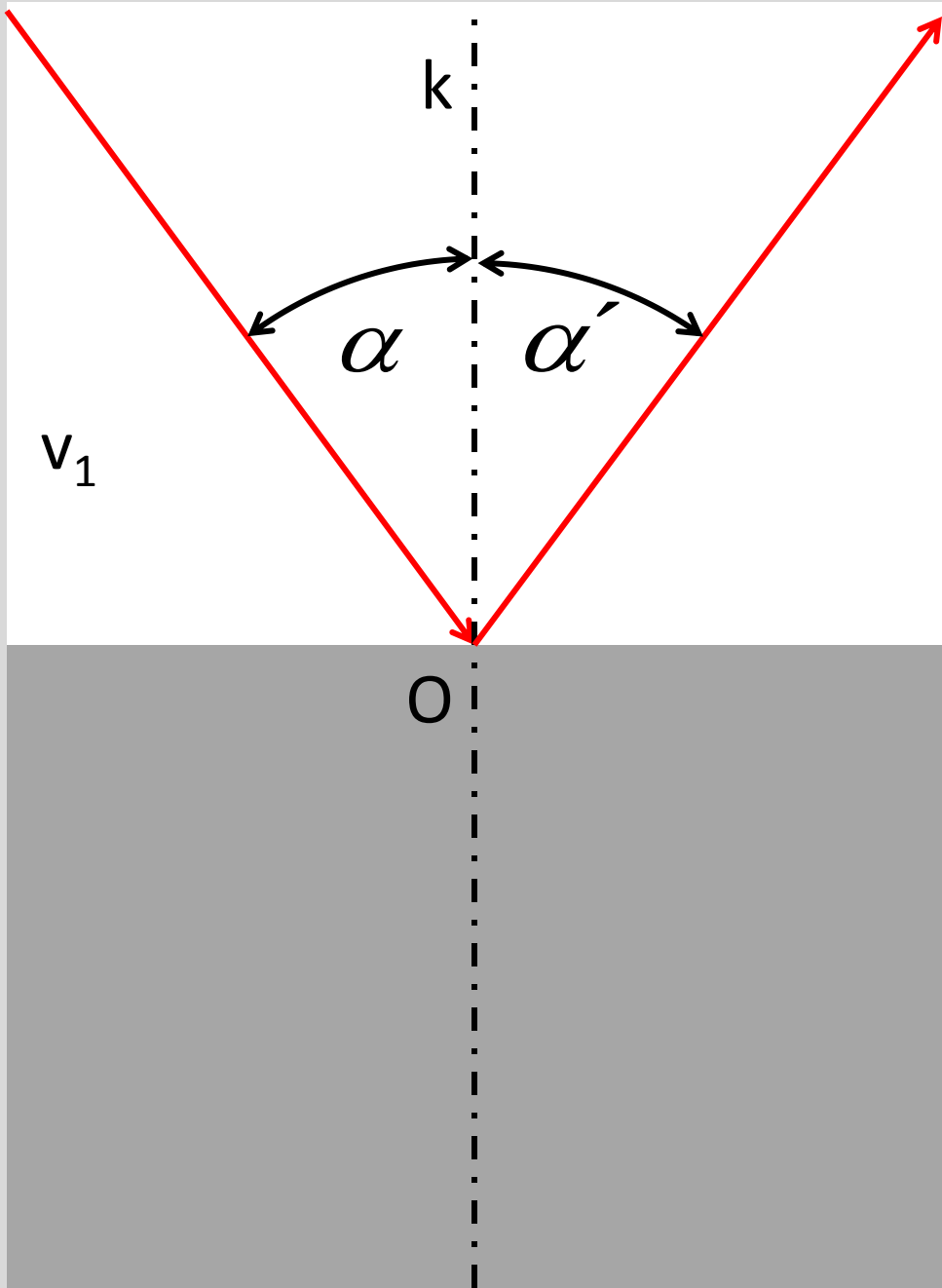
2. 7. ODRAZ VLNĚNÍ

Zákon odrazu

Úhel dopadu α
se rovná úhlu odrazu α´.

$$\alpha = \alpha'$$

Odražený paprsek leží
v rovině dopadu.



2. 7. LOM VLNĚNÍ

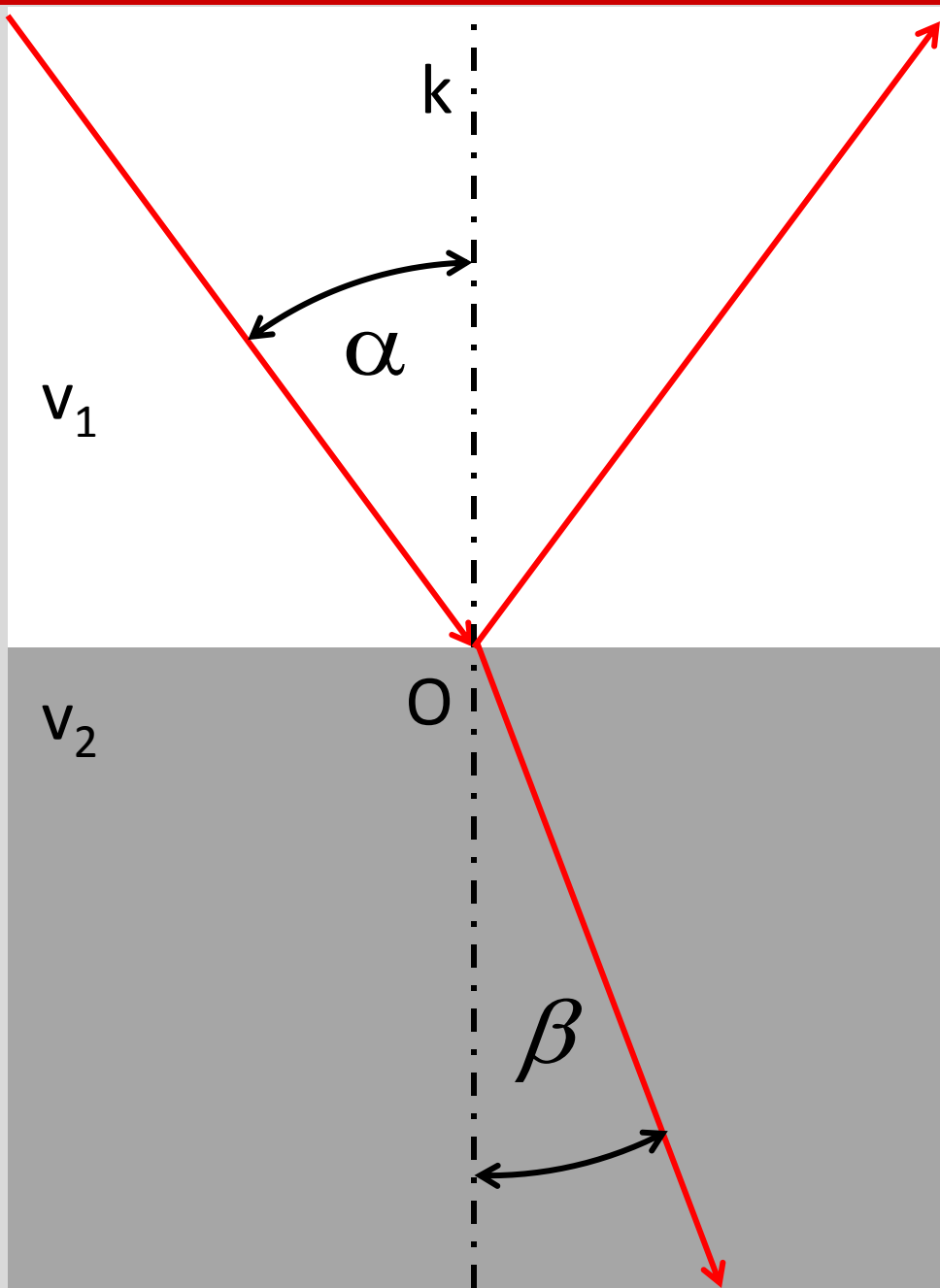
Lom – refrakce

nastává při průchodu vlnění rozhraním dvou prostředí.

Projevuje se změnou směru.

v_1 rychlost šíření v 1. prostředí

v_2 rychlost šíření ve 2. prostředí

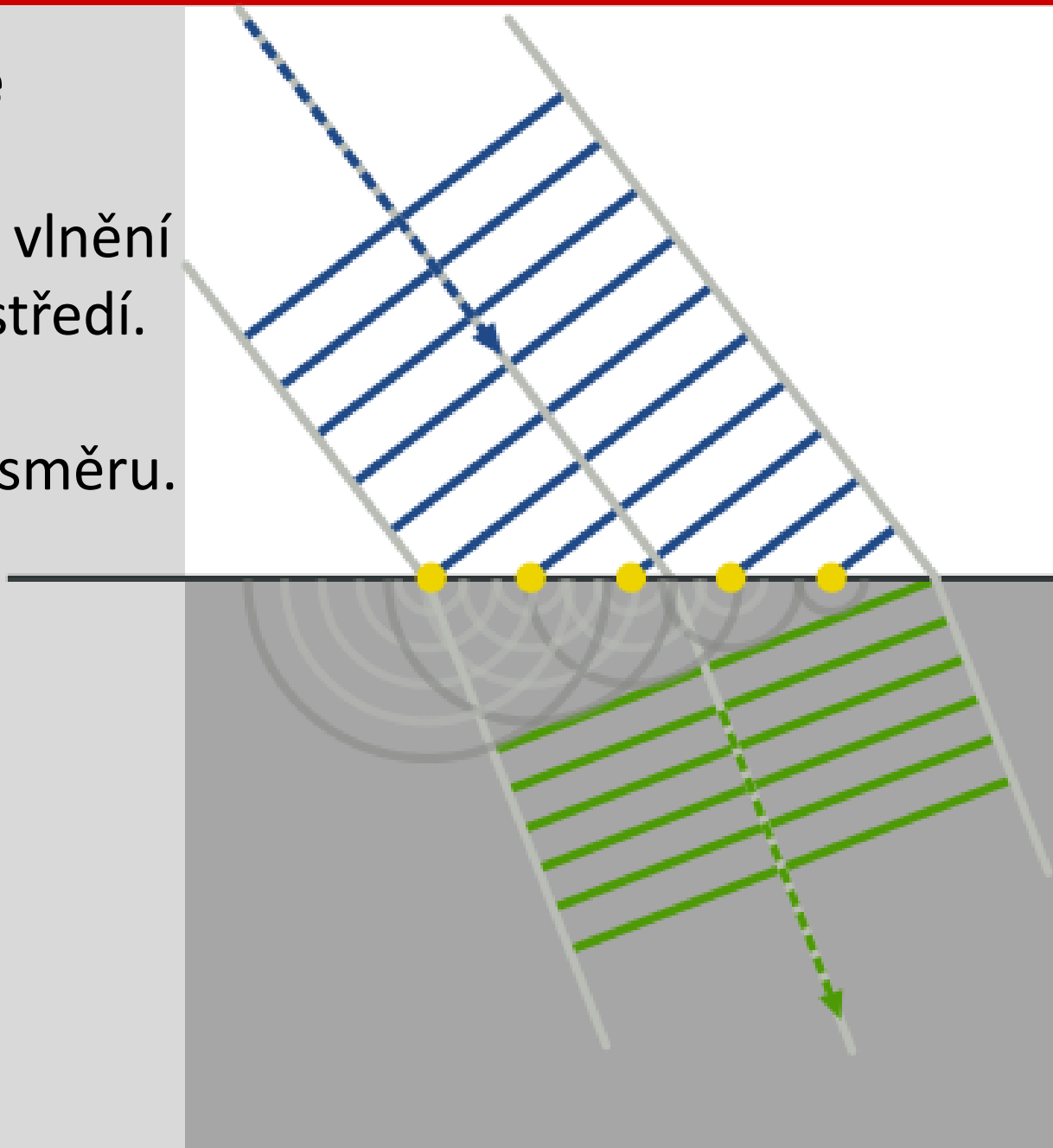


2. 7. LOM VLNĚNÍ

Lom – refrakce

nastává při průchodu vlnění rozhraním dvou prostředí.

Projevuje se změnou směru.



$\mathbf{v_1}$ rychlost šíření v 1. prostředí

$\mathbf{v_2}$ rychlost šíření ve 2. prostředí

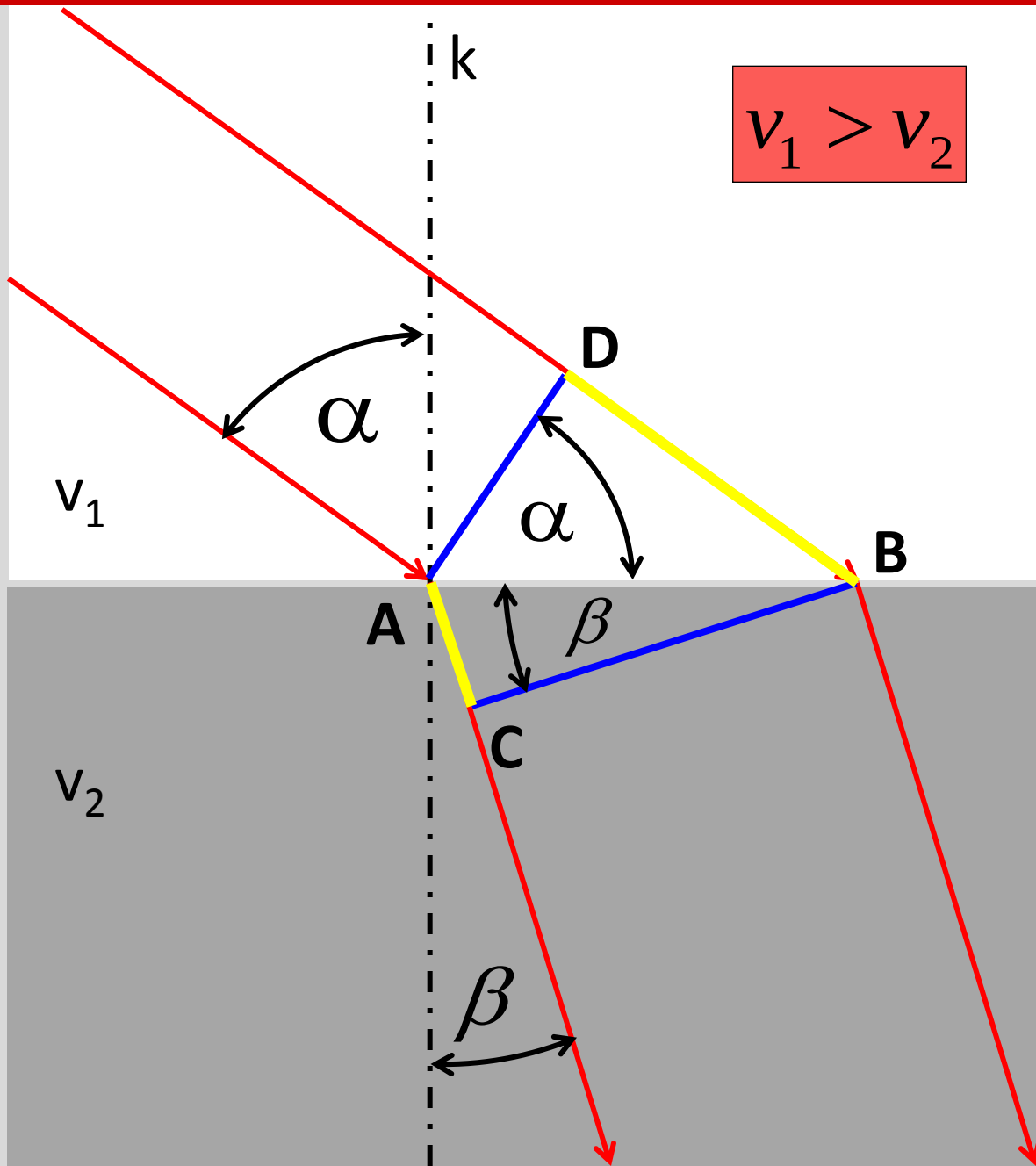
2. 7. LOM VLNĚNÍ

τ – doba průchodu
z D → B, A → C

$$|DB| = v_1\tau$$
$$|AC| = v_2\tau$$
$$\frac{|DB|}{|AC|} = \frac{v_1\tau}{v_2\tau} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$|DB| = |AB|\sin\alpha$$
$$|AC| = |AB|\sin\beta$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$$



2. 7. LOM VLNĚNÍ

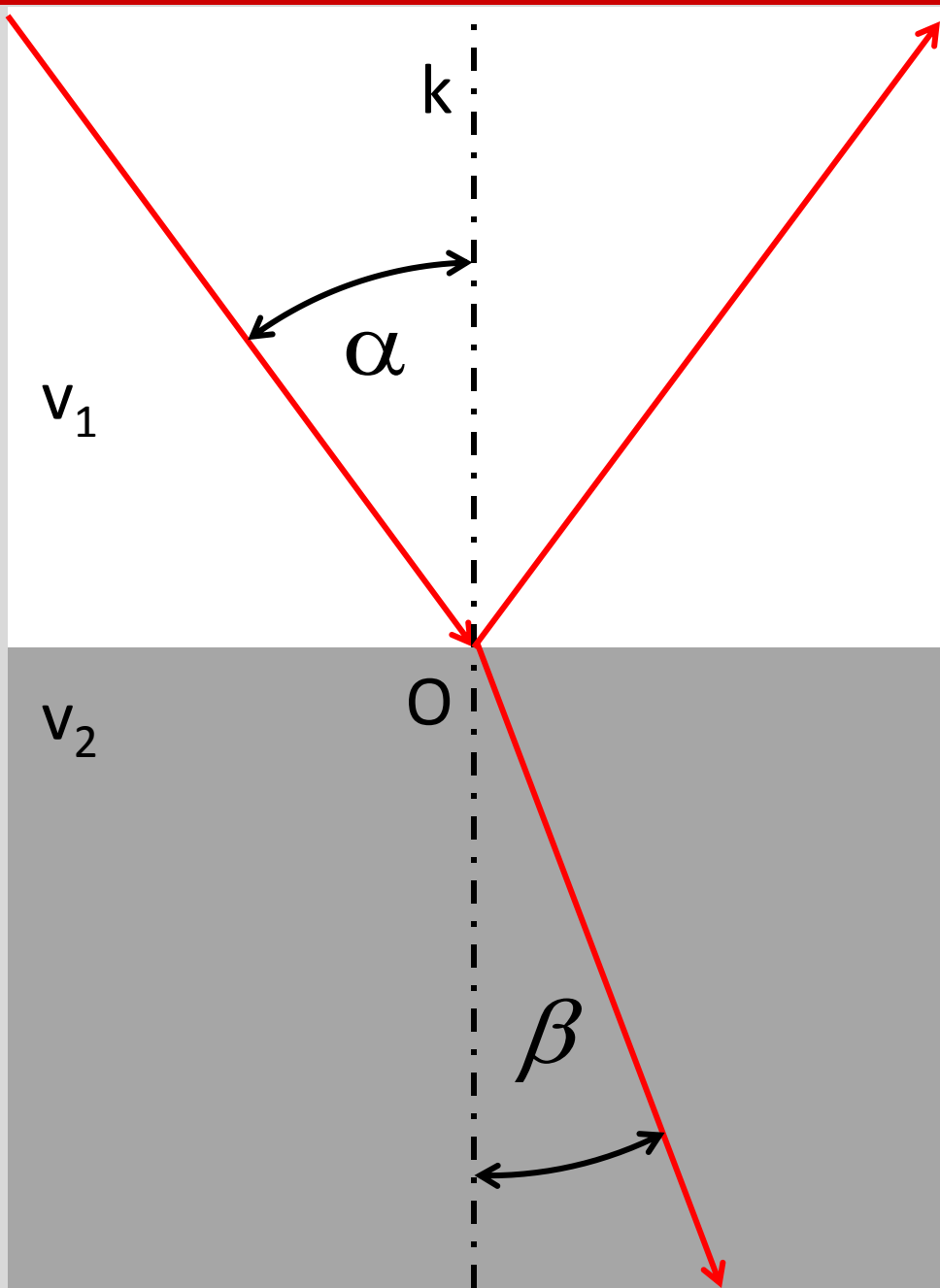
Snellův zákon lomu

1591-1626

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Poměr sinu úhlu dopadu
a sinu úhlu lomu
je pro určitá dvě prostředí
stálý a rovný poměru velikostí
rychlostí vlnění v jednotlivých
prostředích.

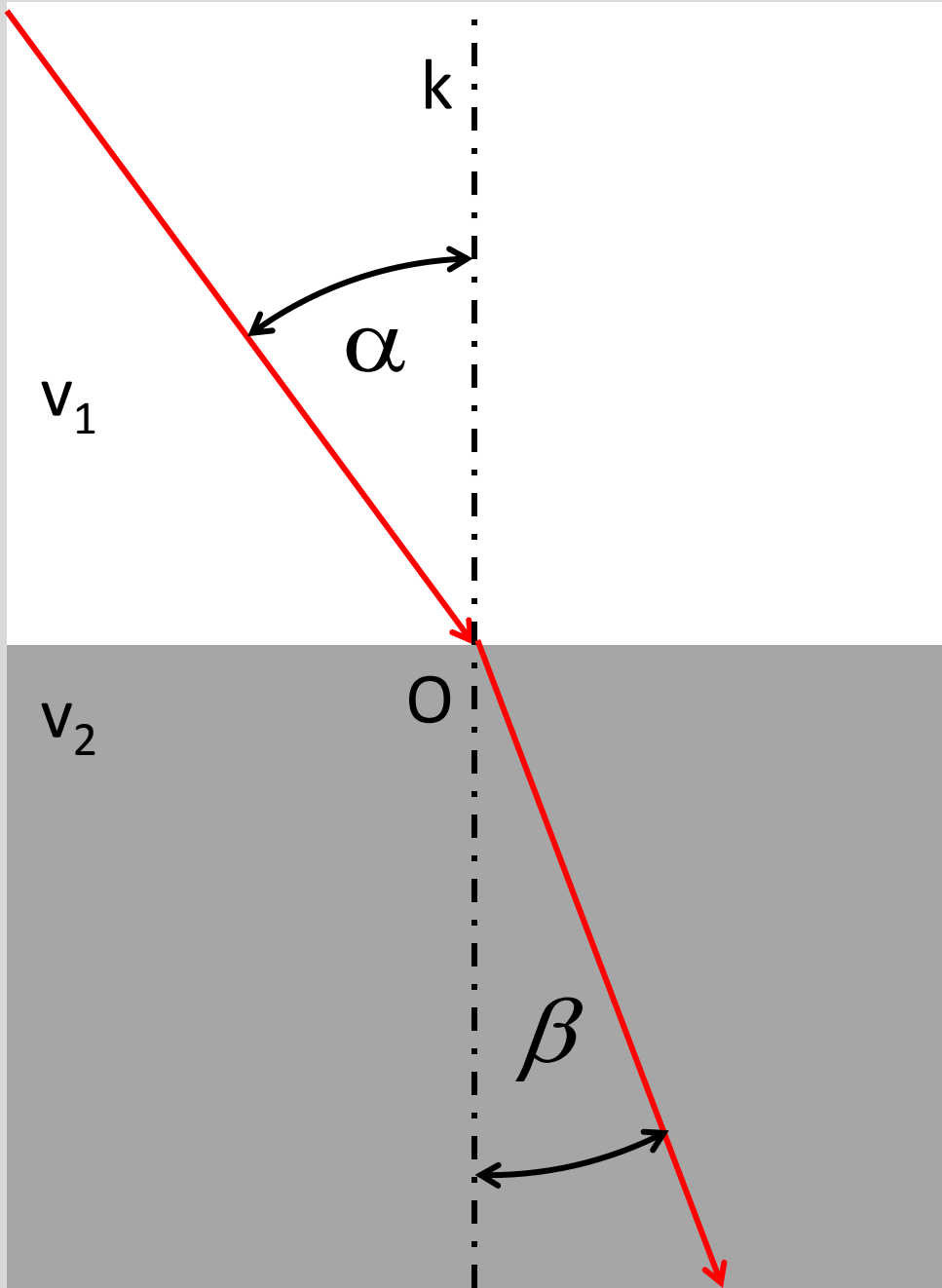
Lomený paprsek leží
v rovině dopadu.



2. 7. LOM VLNĚNÍ

Mohou nastat dva případy.

1. **lom ke kolmici**
   pokud $v_1 > v_2$
   pak $\alpha > \beta$

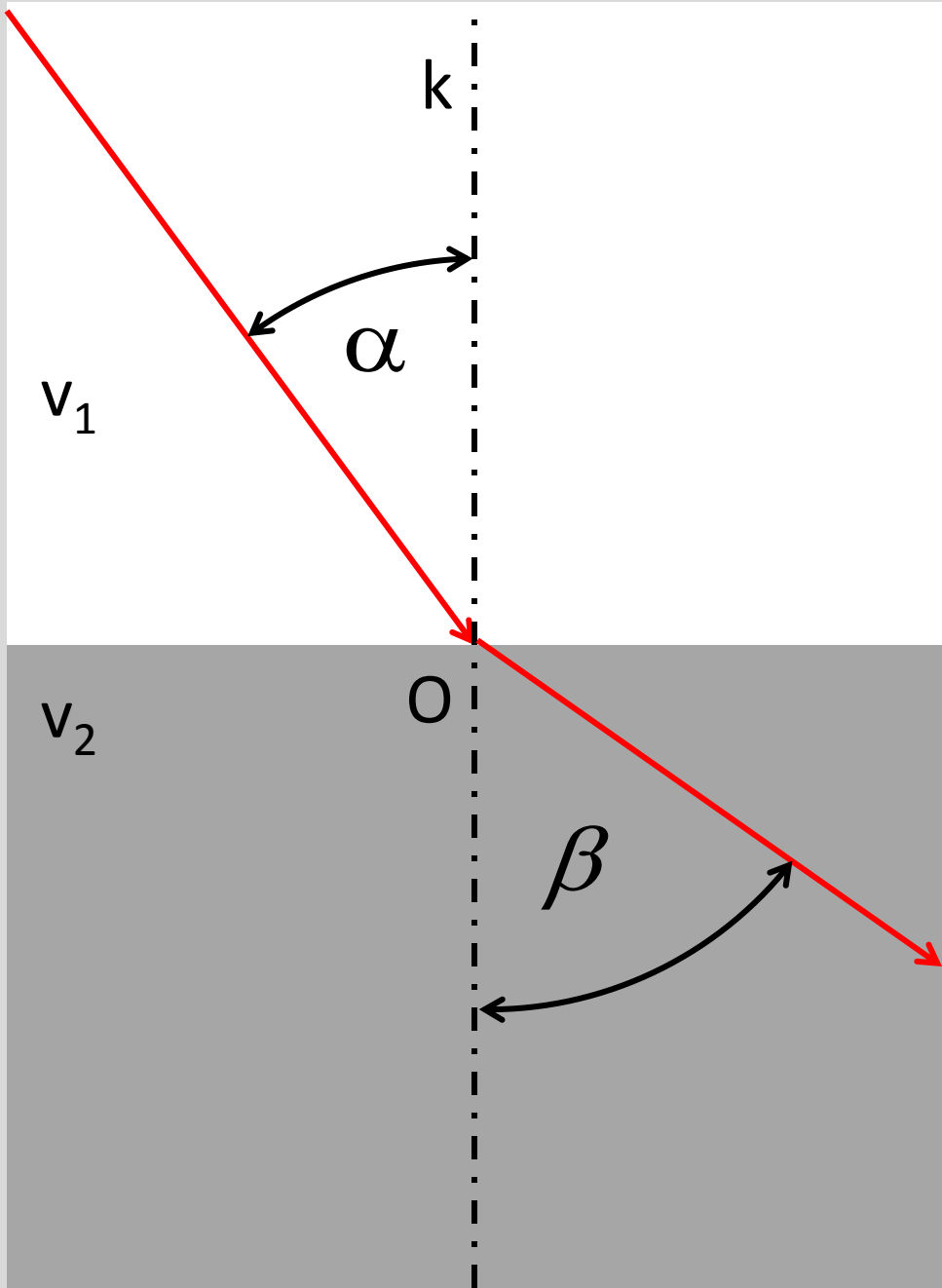


2. 7. LOM VLNĚNÍ

Mohou nastat dva případy.

1. **lom ke kolmici**
   pokud $v_1 > v_2$
   pak $\alpha > \beta$

2. **lom od kolmice**
   pokud $v_1 < v_2$
   pak $\alpha < \beta$

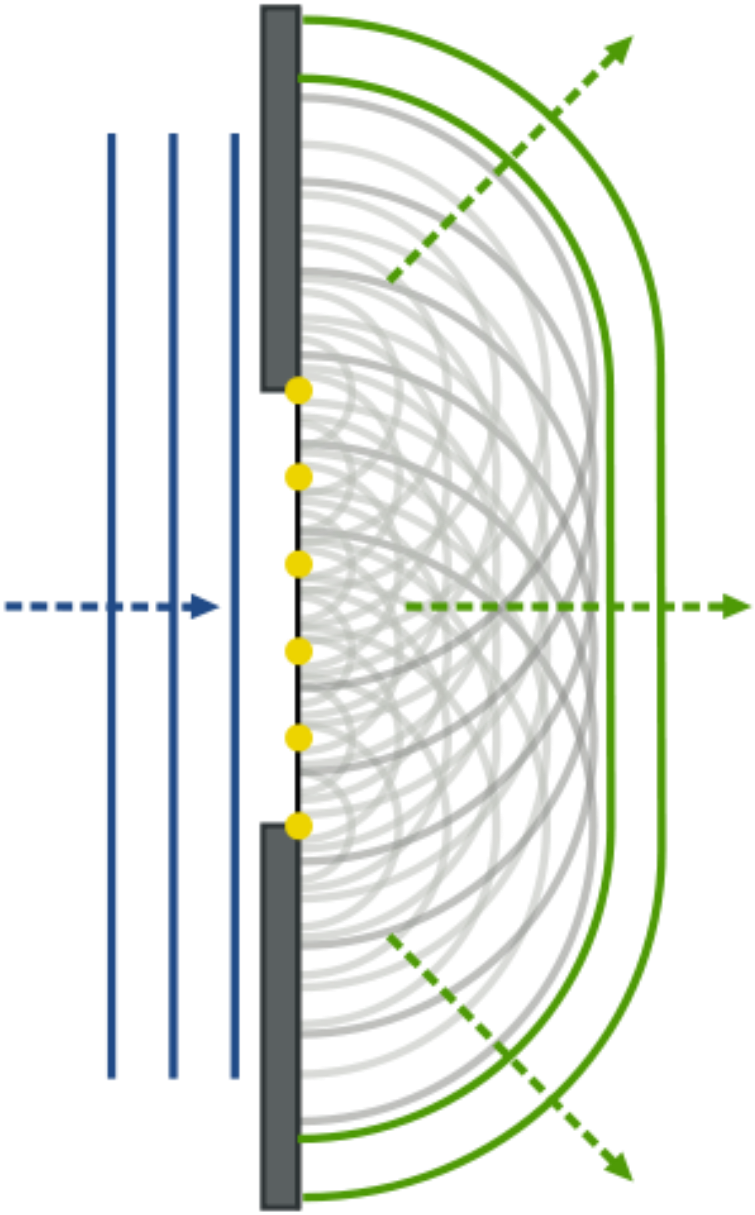


2. 8. OHYB VLNĚNÍ

ovlivňuje směr šíření vlnění

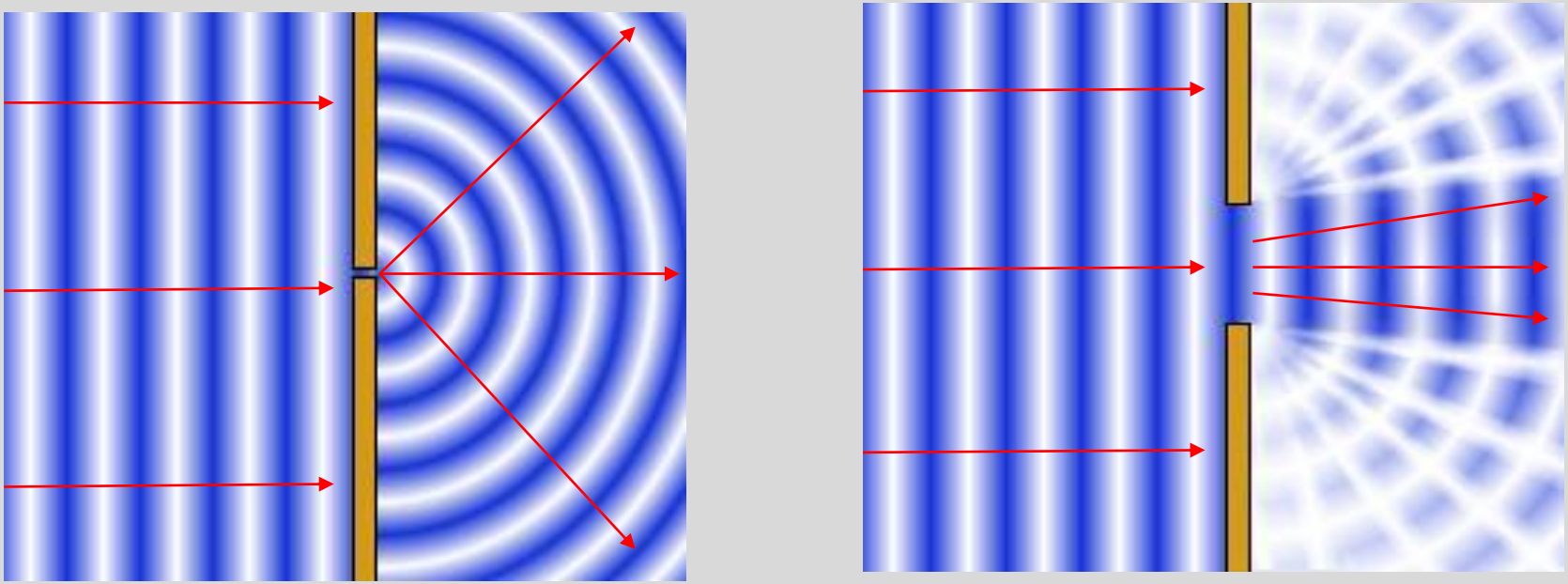
- vlnění se šíří i za překážku
  - malých rozměrů
  - velkou, v níž je otvor

- každý bod je zdrojem elementárního vlnění, která spolu interferují podle Huygensova principu



2. 8. OHYB VLNĚNÍ

- vlnění se odchyluje od svého původního směru tím více, čím je otvor menší



Obr.: 7, 8

- ohyb je výraznější s větší vlnovou délkou
  - zvuk (λ – dm) je slyšet za překážkou
  - světlo (λ – nm) vzniká stín

Použitá literatura

Literatura

LEPIL ,O. *Mechanické kmitání a vlnění, Fyzika pro gymnázia* . Prometheus, Praha 2004
ISBN

LEPIL, O. Sbírka úloh pro střední školy. Fyzika Praha: Prometheus, 2010.
ISBN 978-80-7196-266-3

NAHODIL, J. Fyzika v běžném životě. Praha: Prometheus, 2010.
ISBN 80-7196-005-5

Obrázky:

[1] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Chladini.Diagrams.for.Quadratic.Plates.svg

[2] [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://www.podpora-techniky.cz/files/images/2011/11/21/thumbs/Quadratic_Chladni_plate_jpeg_350x350_q85.jpg

[online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://fineartamerica.com/featured/1-christian-huygens-granger.html

[3] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24].

[4] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Standing_wave.gif

[5] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24].

[6] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1f/Wave_equation_1D_fixed_endpoints.gif/250px-Wave_equation_1D_fixed_endpoints.gif

[7] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/54/Difrakce_sterbina_bodova.png/220px-Difrakce_sterbina_bodova.png

[8] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6f/Difrakce_sterbina_mala.png/220px-Difrakce_sterbina_mala.png

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato prezentace vznikla na základě řešení projektu OPVK, registrační číslo: CZ.1.07/1.1.24/01.0114
s názvem
„PODPORA CHEMICKÉHO A FYZIKÁLNÍHO VZDĚLÁVÁNÍ NA GYMNÁZIU KOMENSKÉHO V HAVÍŘOVĚ“

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.