

## 2. Vlnění

### 2.1 Vlnění – zvláštní případ pohybu prostředí

Vlnění je pohyb v soustavě velkého počtu částic navzájem vázaných, kdy částice kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

Druhy vlnění:

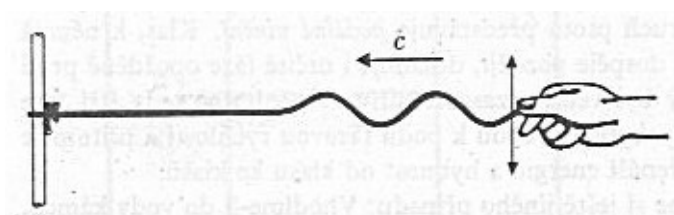
**vlnění příčné** – kmity částic jsou kolmé na směr šíření (kámen ve vodě)

**vlnění podélné** – kmity částic jsou ve směru šíření (obilí)

**vlnění postupné** – každý bod kmitá se stejnou amplitudou, ale s časově zpožděnou fází.

**vlnění stojaté** – vznikají uzly a kmitny, amplitudy nejsou stejné, v jedné půlvlně kmitají ve fázi.

### 2.2 Postupné příčné vlnění v řadě bodů



Vyvoláme-li v hadici kmity, rozruch se šíří po hadici, podél ní vzniká vlna. Při stálém vynucování kmitů postupují vlny spojitě.

Jednotlivé body jsou k sobě vázány – kmitání se přenáší od bodu k bodu. Výchytky jsou kolmé k hadici.

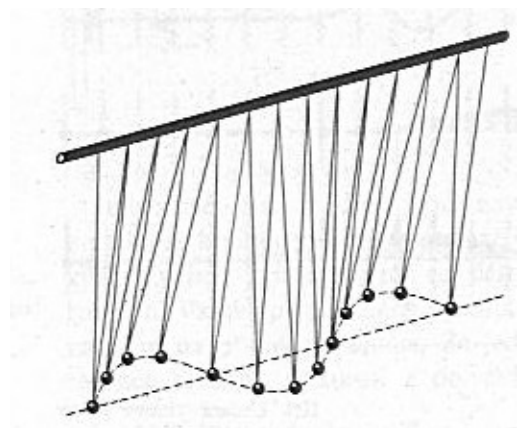
Nechť se rozruch šíří rychlostí  $c$  (fázová rychlost). Za periodu  $T$  urazí délku

$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$ ,  $\lambda$  - vlnová délka. Dva body vzdálené o  $\lambda$  kmitají se stejnou fází.

Je-li  $y = r \cdot \sin \omega t$  výchylka počátečního bodu v čase  $t$ , pak bod ve vzdálenosti  $x$  od něj kmitá s fázovým rozdílem  $\frac{\omega \cdot x}{c}$  vzhledem k počátečnímu bodu řady a jeho okamžitá výchylka je:

$$y = r \cdot \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) = r \cdot \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \text{ kde } \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \text{ a } \lambda = c \cdot T$$

**Machův vlnostroj**



### 2.3 Postupné podélné vlnění v řadě bodů

Výchylky jsou ve směru bodové řady. Okamžité rozložení výchylek při podélném vlnění. Výchylky leží ve směru fázové rychlosti, a proto je značíme  $x'$ . Podélné vlnění vyjádříme:

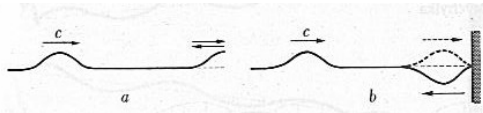
$$x' = r \cdot \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) = r \cdot \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right),$$

přičemž pro vlnovou délku a fázovou rychlost platí

opět vztah:  $\lambda = c \cdot T$ .

Postupné podélné vlnění vzniká ve všech prostředích, tedy i v plynech. Vlnový rozruch se v nich šíří vzájemnými nárazy částic prostředí ve směru fázové rychlosti.

### 2.4 Odraz vlnění v řadě bodů



Dorazí-li vlna na volný konec řady, vrací se vlnění bez změny fáze zpět.

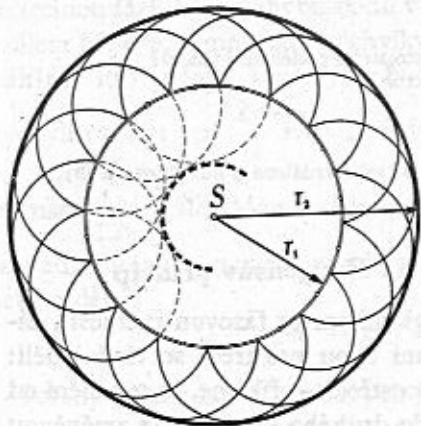
Na pevném konci se odráží s fázovou změnou o  $\lambda$  ( $T/2$ ). Je-li poslední bod řady upevněn, pak při

působení na sousední body řady (i zpětném), neprojeví se akce ale reakce pevného konce.

### 2.5 Šíření vlnění v prostoru. Huygensův princip

Vlnění postupuje od zdroje všemi směry fázovou rychlostí, která závisí na prostředí. Na rozhraní dvou prostředí nastává:

- 1) odraz – část se vrací do průvodního prostředí.
- 2) lom – část vniká do druhého prostředí se změněnou fázovou rychlostí a mění i směr šíření.
- 3) absorpce, ohyb – část se pohlcuje (absorpce); narazí-li vlnění v prostředí na překážky, kterými neprostopuje, ale které mají rozměry srovnatelné s velikostí vlnové délky, nevzniká za překážkou stín, ale vlnění vniká i za ni.



**Každý bod, do něhož vlnění přijde, se stává zdrojem vlnění.**

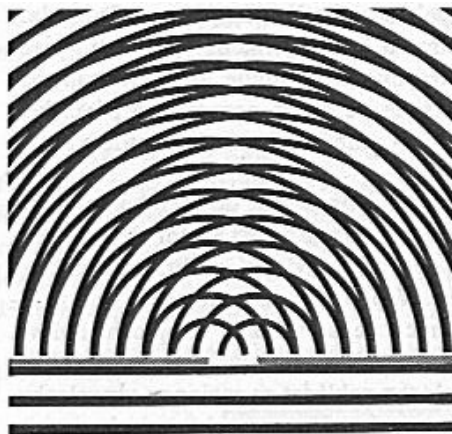
Plocha, obklopující zdroj, na níž se vlnění dostalo za určitou dobu – **vlnoplocha**.

Kolem každého bodu, do něhož vlnění došlo, se vytvoří kulová vlnoplocha – **elementární vlnoplocha**. K určení šíření vlnění stačí znát vlnoplochu v určitém čase, pak okolo každého bodu sestrojíme elementární vlnoplochu a vnější obálka těchto vln je výsledná vlnoplocha v čase  $t$ .

Narazí-li vlnění na stěnu s velkým otvorem, dostává se i za ni, ohýbá se v okrajových bodech vlnoplochy.

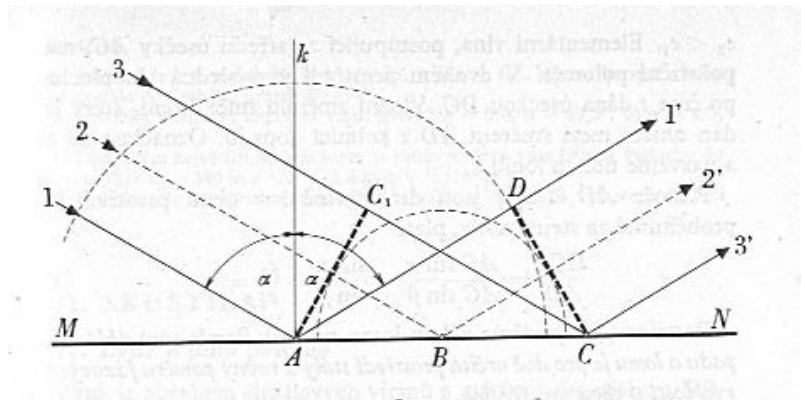
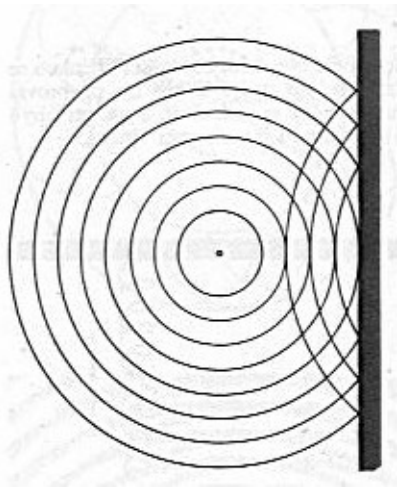
V prostoru před překážkou je intenzita větší než v prostorech za překážkou, tak lze vysvětlit šíření vlnění.

Je-li otvor malý (srovnatelný s vlnovou délkou) existují za ním jen elementární vlnoplochy a vzniká zde ohyb vlnění.



## 2.6 Odraz a lom rovinné vlny

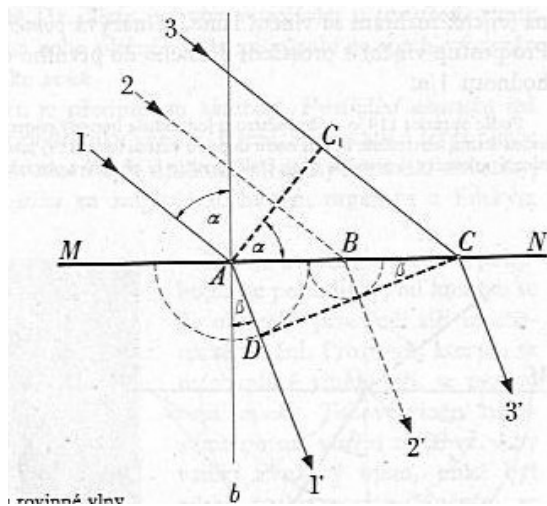
### Odraz vlnění



Směr šíření vlny svírá s kolmicí dopadu úhel alfa. Část rovinné vlny je zobrazena úsečkou  $AC_1$  právě dotkla rozhraní v době A. Za čas  $t$ , za který se vlnění dostane z bodu  $C_1$  do  $C$ , vytvoří se okolo bodu A kulová elementární vlnoplocha o poloměru  $AD = CC_1 = c_1 t$  v prvním prostředí.

Vlnění odražené zůstává v rovině dopadu a platí: **úhel odrazu = úhlu dopadu.**

### Lom vlnění



Od okamžiku, kdy se vlnoplocha dotkla rozhraní v bodě A, vlnění vstupuje i do druhého prostředí, kde postupuje fázovou rychlostí  $v_2$ . Za čas  $t$ , za který vlnění přejde z bodu  $C_1$  vlnoplochy do bodu C, vznikne okolo bodu A elementární vlnoplocha v druhém prostředí poloměru  $AD = v_2 t$  ( $v_2 < v_1$ ). Elementární vlna, postupující ze středu úsečky AC, poloviční poloměr. V druhém prostředí je výsledná vlnoplocha po čase  $t$  dána úsečkou DC. Vlnění změnilo směr šíření, který je dán úhlem mezi směrem AD a kolmicí dopadu. Označíme ho  $\beta$  a nazveme ho úhlem lomu.

Protože  $AD < CC_1$  jsou dráhy vlnění v obou prostředích proběhnuté za stejné doby, platí:

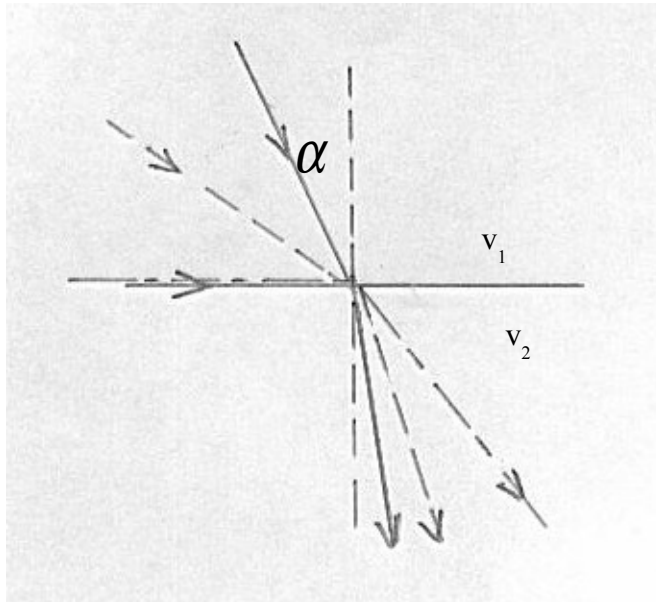
$$\frac{CC_1}{AD} = \frac{AC \sin \alpha}{AC \sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{- Zákon lomu vlnění}$$

### Zákon lomu vlnění slovně

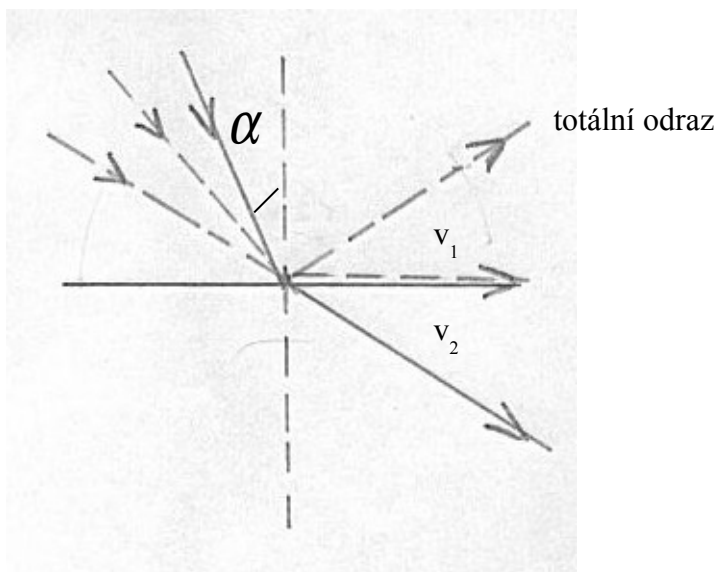
Poměr sínů úhlu dopadu a lomu je pro určité prostředí stálý a rovný poměru fázových rychlostí v obou prostředích. Veličina  $n$  je index lomu.

Reálně mohou nastat dvě situace:

- a) je-li  $v_1 > v_2$  – lom ke kolmici, úhel alfa je větší než úhel beta



- b) je-li  $v_1 < v_2$  – lom od kolmice, úhel alfa je menší než úhel beta

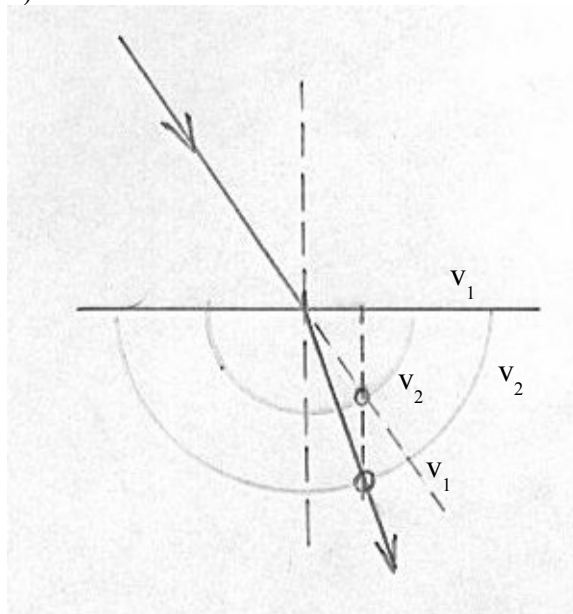


**Konstrukci směru lomeného vlnění lze provést metodou tečny nebo kolmice**

ukázka:

**metoda kolmice**

a) ke kolmici



b) od kolmice

