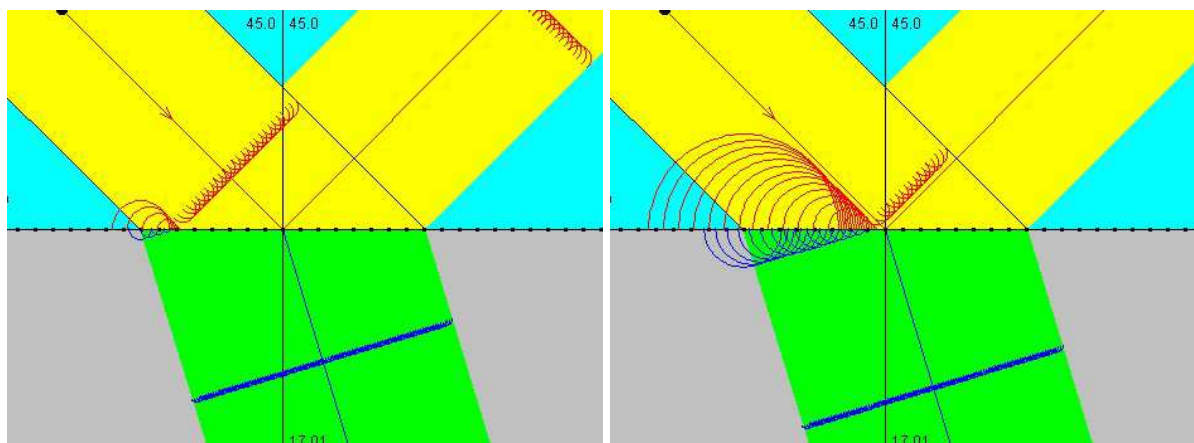


### 3.2.5 Odraz, lom a ohyb vlnění

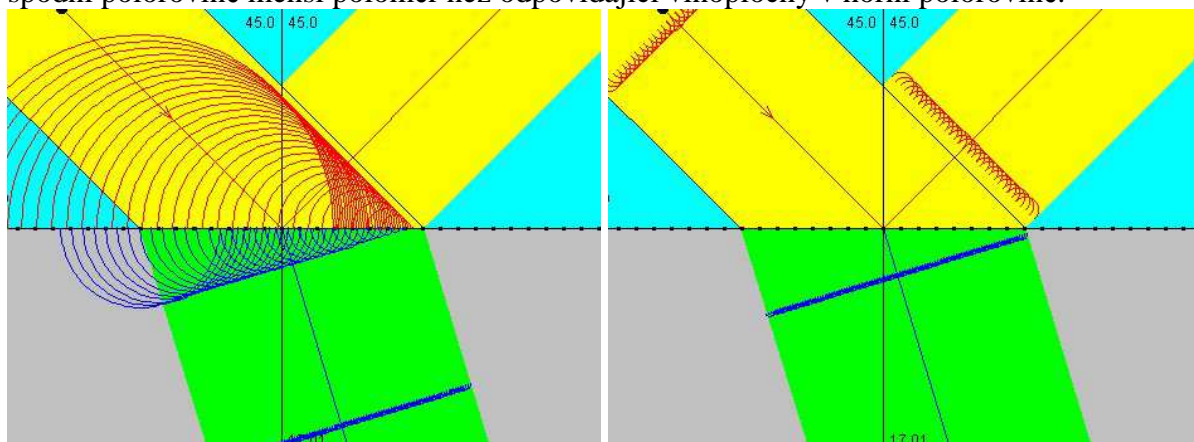
Předpoklady: 3204

Odraz a lom vlnění na rozhraní dvou prostředí s různou rychlostí šíření

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=16.0>

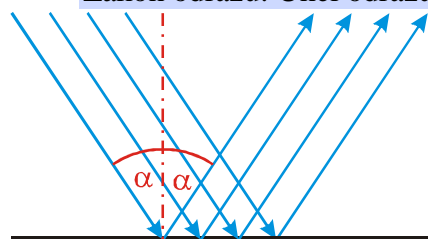


Rovinná vlna dopadá šikmo na rozhraní, nejdříve na body vlevo. Každý bod se stává zdrojem elementárního vlnění, body vlevo se zdroji staly dříve, proto mají jejich elementární vlnoplochy větší poloměr. V šedém prostředí se vlnění šíří pomaleji, proto mají vlnoplochy ve spodní polorovině menší poloměr než odpovídající vlnoplochy v horní polorovině.



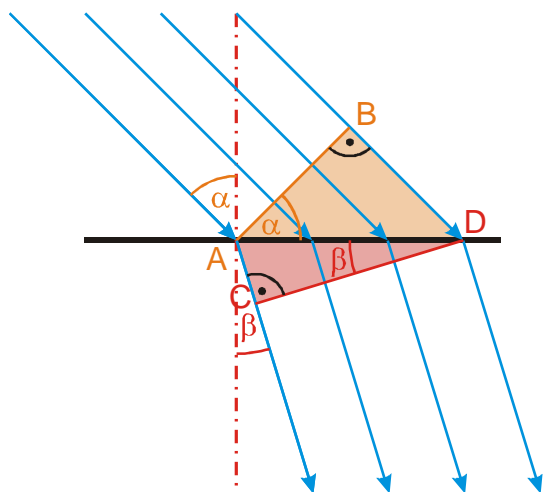
Vlnoplochy v obou polorovinách postupně vytvářejí obalové křivky: dvě nové rovinné vlny. Odražené vlnění se šíří pod stejným úhlem pod jakým na rozhraní dopadlo původní vlnění  $\Rightarrow$

**Zákon odrazu: Úhel odrazu se rovná úhlu dopadu.**



Úhel, pod kterým se šíří lomené vlnění, závisí na rychlostech šíření vlnění v obou prostředích. V prostředí, ve kterém se vlnění šíří pomaleji, svírá s kolmicí menší úhel.

Početně:



Úsečka  $AB$ : poslední okamžik, kdy se horním prostředím šíří „celá“ dopadající vlna.

Úsečka  $CD$ : první okamžik, kdy se dolním prostředím šíří „celá“ lomená vlna.

Získáme dva pravouhlé trojúhelníky se společnou přeponou  $AD \Rightarrow$  platí:

- $\sin \alpha = \frac{|BD|}{|AD|} \Rightarrow |AD| = \frac{|BD|}{\sin \alpha}$ ,
- $\sin \beta = \frac{|AC|}{|AD|} \Rightarrow |AD| = \frac{|AC|}{\sin \beta}$ ,

dohromady:  $|AD| = \frac{|BD|}{\sin \alpha} = \frac{|AC|}{\sin \beta} \quad / \cdot \frac{\sin \alpha}{|AC|}$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{|BD|}{|AC|} = \frac{v_1 t}{v_2 t} \quad (\text{šíření vlnění mezi body } B$$

a  $D$  v horním prostředí, probíhá mezi stejnými okamžiky jako šíření vlnění mezi body  $A$  a  $C$  ve spodním prostředí).

$$\text{Zákon lomu: } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n.$$

Velmi důležité pro světlo, základ konstrukce optických zařízení (čochy, brýle, dalekohledy, ...)

Terminologie:

- $\alpha$  - úhel dopadu
- $\beta$  - úhel lomu
- $n$  - index lomu

**Př. 1:** Světelný paprsek dopadá na vodní hladinu pod úhlem  $60^\circ$ . Urči, pod jakým úhlem se šíří ve vodě. Pro rychlost světla platí:  $v_{\text{vzduch}} = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ,

$$v_{\text{voda}} = 225\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$\alpha = 60^\circ, v_1 = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}, v_2 = 225\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}, \beta = ?$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha = \frac{225\,000}{300\,000} \cdot \sin 60^\circ \Rightarrow \beta = 40^\circ 30'$$

Světlo se zlomí do vody pod úhlem  $40^\circ 30'$ .

**Př. 2:** Zvuk dopadá na hladinu vody pod úhlem  $30^\circ$ . Urči, pod jakým úhlem se bude šířit ve vodě.  $v_{\text{vzduch}} = 334 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $v_{\text{voda}} = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$$\alpha = 30^\circ, v_1 = 334 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, v_2 = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \beta = ?$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \sin \beta = \frac{v_2}{v_1} \sin \alpha = \frac{1500}{334} \cdot \sin 30^\circ = 2,25 \Rightarrow \text{neexistuje takový úhel } \beta$$

Zvuk se do vody nešíří, protože neexistuje takový úhel  $\beta$ , pro který by platil zákon lomu.

Jevu z předchozího příkladu se říká totální odraz. Vysvětluje, proč se zvuk ze vzduchu do vody špatně dostává i přes to, že ve vodě se zvuk šíří daleko lépe než ve vzduchu.

**Př. 3:** Urči, pod jakým největším úhlem může dopadat zvuk na rozhraní vzduch-voda, aby nedošlo k totálnímu odrazu.  $v_{\text{vzduch}} = 334 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $v_{\text{voda}} = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

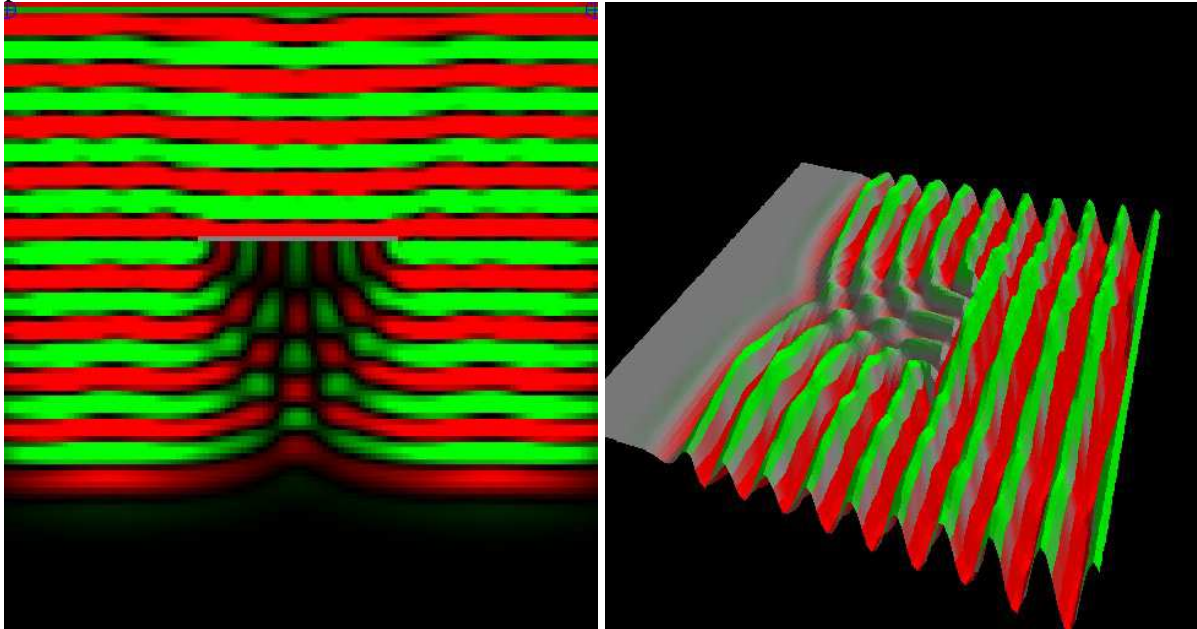
$\alpha = ?$ ,  $v_1 = 334 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $v_2 = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\beta = 90^\circ$  (největší úhel, do kterého se může zvuk zlomit)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{v_1}{v_2} \sin \beta = \frac{334}{1500} \cdot \sin 90^\circ = 0,22 \Rightarrow \alpha = 12^\circ 52'$$

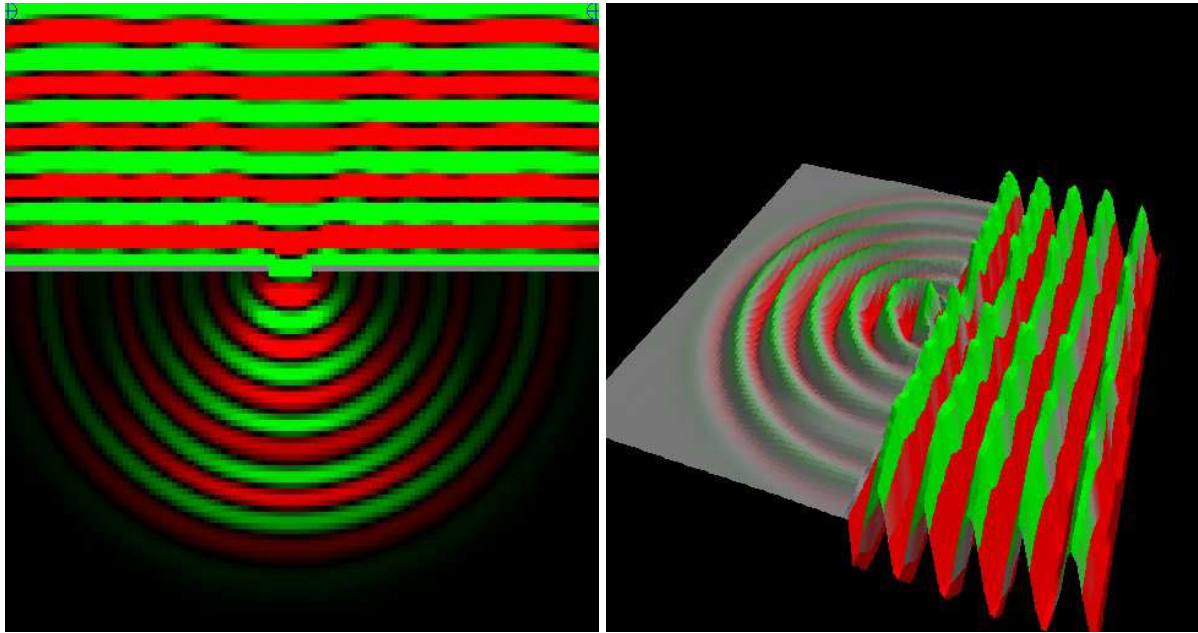
Zvuk může dopadat na rozhraní vzduch-voda pod největším úhlem  $12^\circ 52'$ , aby nedošlo k totálnímu odrazu.

### Ohybové jevy

Během šíření narazí vlnění na překážku  $\Rightarrow$  vlnění „zahýbá“ a šíří se postupně i do prostoru za překážkou.



Během šíření narazí vlnění na velkou překážku s malým otvorem (štěrbinou)  $\Rightarrow$  vlnění „zahýbá“ šíří se postupně do stran do prostoru, který není za štěrbinou.



**Př. 4:** Dokumentuj oba druhy ohybových jevů na šíření zvuku.

Ohyb na překážce: slyšíme i člověka, který mluví za překážkou (například za tabulí).

Ohyb na štěrbině: pokud jsou otevřeny dveře, slyšíme, co se děje na chodbě.

**Př. 5:** Předchozí poznatky jsou v rozporu s běžnými zkušenostmi s jiným typem vlnění. O jaké vlnění a jaké zkušenosti jde?

Světlo je také vlnění, ale:

- za překážkou je stín (světlo se neohybá),
- paprsek světla procházející dveřmi se nerozšiřuje.

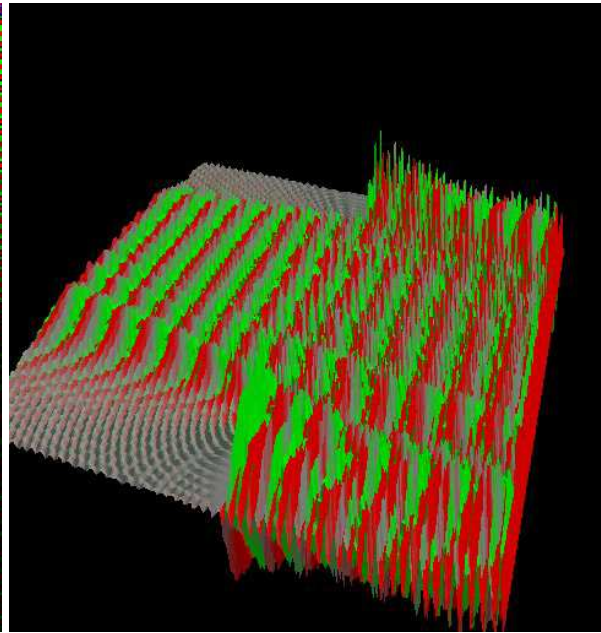
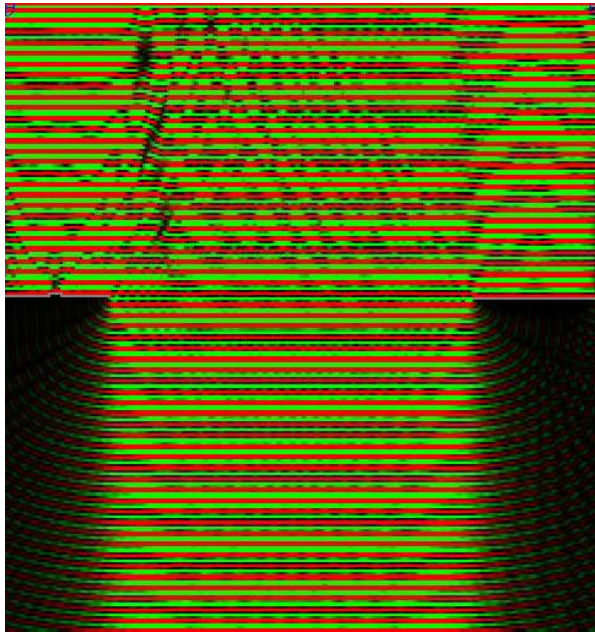
⇒ světlo se chová zcela jinak než zvuk.

Základní rozdíly mezi světlem a zvukem: rychlost a vlnová délka.

Vlnová délka:

- vlnová délka zvuku – řádově metry, decimetry (srovnatelná s velikostí překážek),
- vlnová délka světla – řádově stovky nanometrů, tedy 0,0000001 m (o několik řádů menší než běžné překážky).

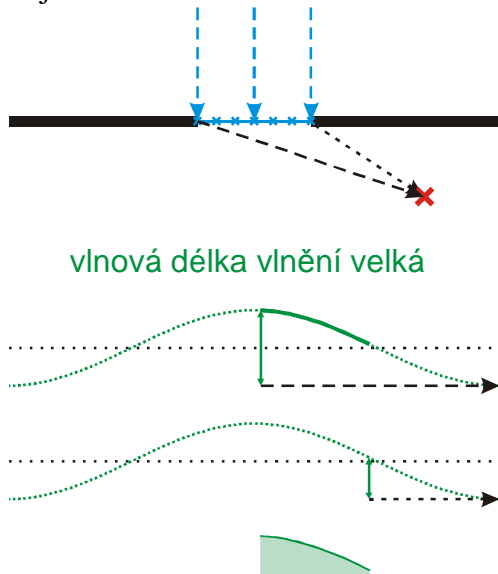
Simulační program nedokáže modelovat tak malé vlnové délky, které by vzhledem k velikosti štěrbin odpovídaly světlu, přesto je při zkrácení vlnové délky vzhledem k velikosti štěrbin vidět, že míra rozbíhavosti vlnění za štěrbinou se snižuje.



Proč ohybové jevy závisí na srovnatelnosti překážky s vlnovou délkou?

**Vlnová délka srovnatelná s velikostí štěrbin**

Vlnění se za štěrbinou šíří z jako součet elementárních vlnění vycházejících z bodů ve štěrbině. Pokud dopadne na štěrbinu kolmá rovinná vlna, všechny body ve štěrbině kmitají se stejnou fází.

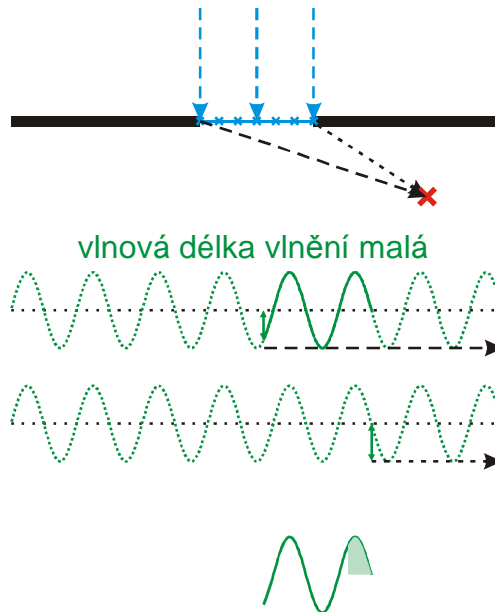


vlnová délka vlnění velká

Vlnová délka je velká, proto vlny od všech bodů ze štěrbin **dorazí k červenému křížku s podobnou fází**, elementární vlnění od jednotlivých bodů ve štěrbině se proto v červeném křížku většinou sčítá a vznikne intenzivní vlnění (intenzita odpovídá světle zelené ploše).

Čím je vlnová délka větší, tím menší jsou rozdíly ve fázi, a tím větší je konečný součet.

**Vlnová délka velmi malá v porovnání s velikostí štěrbin**



vlnová délka vlnění malá

Vlnová délka je malá, protože vlny od všech bodů ze štěrbin **dorazí k červenému křížku s různými fázemi**, elementární vlnění od jednotlivých bodů ve štěrbině se proto v červeném křížku většinou odečte a vznikne málo intenzivní vlnění (intenzita odpovídá světle zelené ploše).

Čím je vlnová délka menší, tím větší část vlnění se navzájem odečte, a tím menší je konečný součet.

**Dodatek:** Přesnější popis vlivu vlnové délky na ohyb vlnění je složitý. Přibližně lze říci, že k ohybu vlnění dochází pokud je průměr překážky srovnatelný s výrazem  $\sqrt{\lambda l}$ , kde  $\lambda$  je vlnová délka vlnění a  $l$  je vzdálenost pozorovatele.

**Shrnutí:** K ohybu vlnění dochází pokud je velikost překážky srovnatelná s vlnovou délkou vlnění.