

3.2.6 Stojaté vlnění, chvění předmětů

Předpoklady: 2503

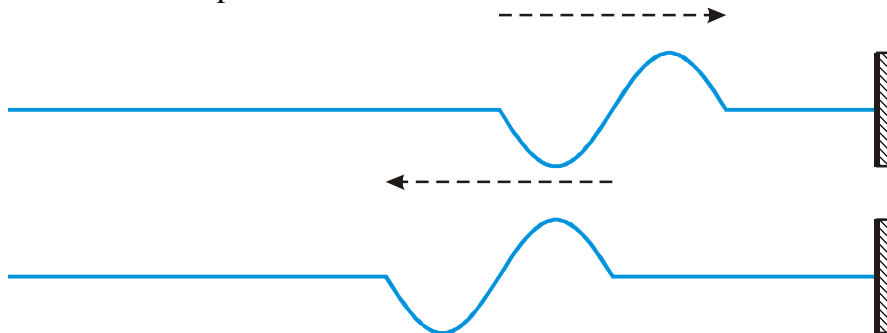
Vlnění se nemusí šířit pouze v prostoru nebo v rovině, stačí řada bodů (například lano, struna, sloupec vzduchu).

Máme lano a pošleme vlnu \Rightarrow lano někde končí \Rightarrow co se stane na konci?

Dvě možnosti:

- lano je připevněno, například ke zdi: **pevný konec** (konec se nemůže pohybovat),
- lano je volně pohyblivé: **volný konec** (konec se může pohybovat).

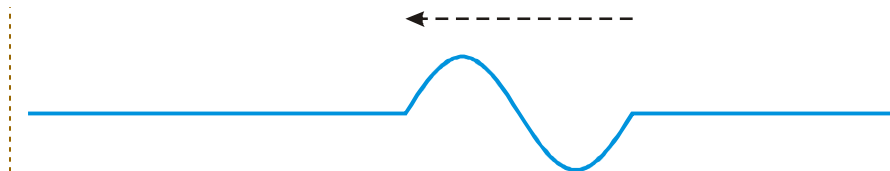
Odraz vlnění na pevném konci:



Ke konci dorazí nejdříve vrchol a pak d'olík, po odrazu se vrací nejdříve d'olík a pak teprve vrchol \Rightarrow vlnění se odrazí s opačnou fází.

Př. 1: Sledováním pohybu koncového bodu rozhodni, jakým způsobem se odrazí vlnění na volném (pohyblivém) konci.

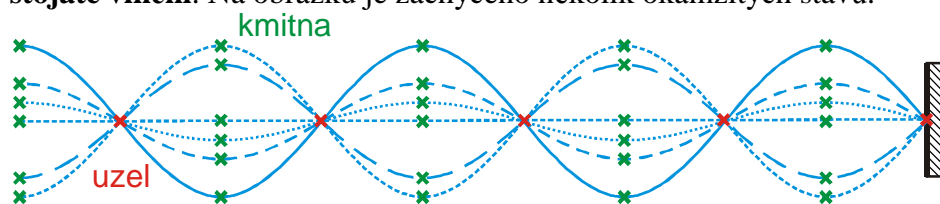
| | |
|---|--|
| | |
| <p>Vlna dobíhá ke konci lana. Konec lana se pohybuje směrem nahoru.</p> | <p>Vrchol vlny už proběhl a konec lana směřuje dolů.</p> |
| | |
| <p>Skoro celá vlna již proběhla koncem lana. Konec již prošel nejnižším bodem a směřuje nahoru.</p> | <p>Celá vlna prošla koncem lana, konec směřoval nahoru a pokračuje v tomto pohybu. Začíná vytvářet začátek odražené vlny – nejdříve její vrchol.</p> |
| <p>Na volném konci se vlnění odrazí se stejnou fází.</p> | |
| | |



⇒ Pokud se vlnění šíří v konečné řadě bodů, musí se odrazit na konci ⇒ odražené vlnění pak interferuje s původním vlněním ⇒ co vznikne interferencí?

http://www.walter-fendt.de/ph14cz/stwaverefl_cz.htm

Situace se zcela změní, vlny se nešíří ani jedním směrem, ale „stojí na místě“ ⇒ vzniklo **stojaté vlnění**. Na obrázku je zachyceno několik okamžitých stavů.



- **kmitny** stojatého vlnění: body kmitající s maximální výchylkou,
- **uzly** stojatého vlnění: body zůstávající v klidu.

Postupné vlnění

Body kmitají:

- se stejnou amplitudou,
- s různou na čase závislou fází.

Fáze vlnění se šíří fázovou rychlostí v .

Přenáší se energie.

Stojaté vlnění

Body kmitají:

- s různou amplitudou,
- se stejnou fází.

Nepřenáší se energie (mění se energie pružnosti na kinetickou energii a naopak).

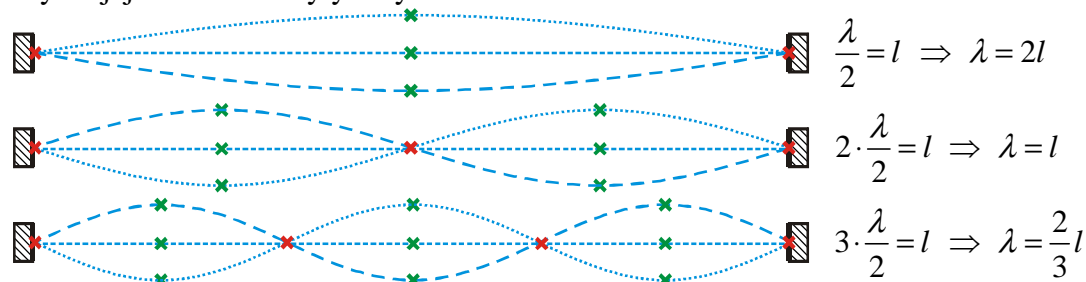
Typickým příkladem stojatého vlnění jsou hudební nástroje:

- příčné stojaté vlnění: kmitání struny: strunné nástroje (kytara, klavír, housle, ...),
- podélné stojaté vlnění: vlnění vzduchového sloupce v dutině nástroje: dechové nástroje (flétna, trubka, roh, ...).

http://www.walter-fendt.de/ph14cz/stlwaves_cz.htm

Př. 2: Struna je upevněna na obou koncích a má délku l . Urči vlnové délky stojatého vlnění, které mohou na této struně existovat.

Konce struny jsou upevněny ⇒ nemohou se pohybovat ⇒ struna může kmitat pouze tak, aby na jejích koncích byly uzly. Více možností:





a tak dále. Všech možností je nekonečně mnoho.

Můžeme je zapsat: $k \frac{\lambda}{2} = l \Rightarrow \lambda = \frac{2l}{k}, k \in N.$

Z vlnové délky můžeme určit i frekvenci: $\lambda = vT = \frac{v}{f} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\frac{2l}{k}} = k \frac{v}{2l}, k \in N.$

- $k = 1 \Rightarrow f = k \frac{v}{2l} = 1 \frac{v}{2l} = \frac{v}{2l}$: základní frekvence.
- $k > 1 \Rightarrow f = k \frac{v}{2l}$: vyšší harmonické frekvence.

Zajímavý rozdíl:

- kyvadlo, závaží na pružině a další oscilátory: pouze jedna vlastní frekvence,
- chvějící se předmět: nekonečně mnoho frekvencí, které jsou násobky základní frekvence.

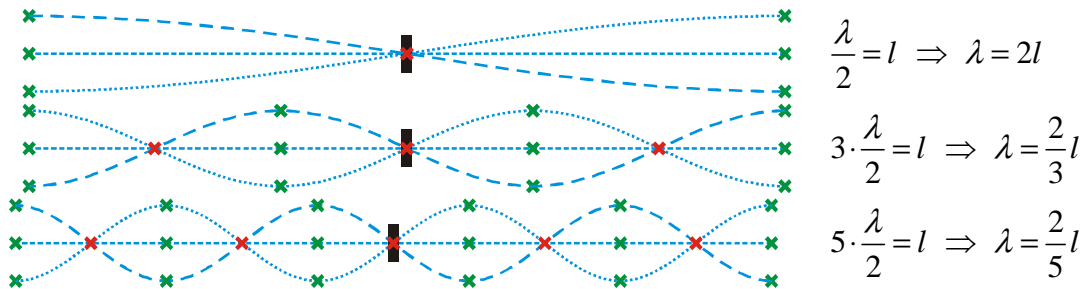
Dodatek: Základní frekvence odpovídá tónu, který slyšíme, když na strunu klasicky drkneme. Pokud podržíme na struně přesně v prostředku prst levé ruky a tak vytvoříme na struně další uzel a tón (flažolet), který slyšíme, je o oktávu vyšší (struna kmitá jako v druhé variantě). Další flažolety je možné získat stejným způsobem ve třetině a čtvrtině struny.

Př. 3: Tyč je o délce l je upevněna uprostřed. Urči vlnové délky stojatého vlnění, které mohou na této tyči existovat.

Střed tyče je upevněn \Rightarrow nemůže se pohybovat \Rightarrow uprostřed tyče musí být uzel.

Okraje tyče jsou volné \Rightarrow mohou se pohybovat \Rightarrow na krajích tyče musí být kmitny.

Více možností:



a tak dále.

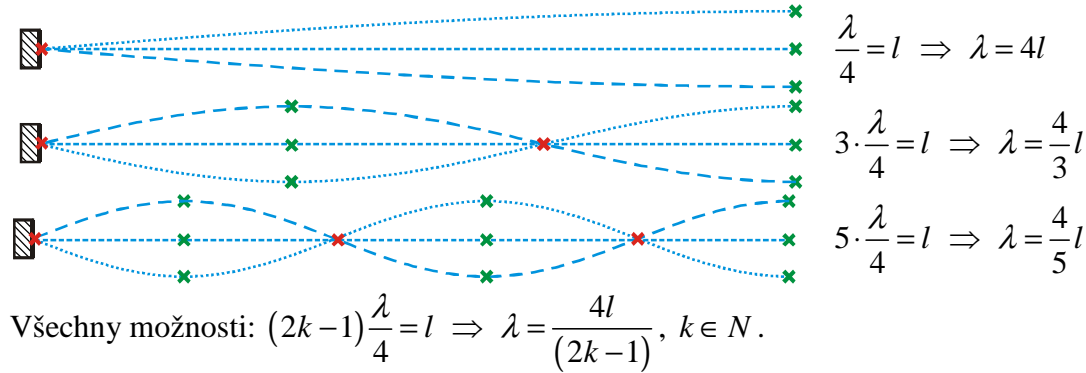
Všechny možnosti: $(2k-1) \frac{\lambda}{2} = l \Rightarrow \lambda = \frac{2l}{(2k-1)}, k \in N.$

Př. 4: Tyč je o délce l je upevněna na jednom ze svých konců. Urči vlnové délky stojatého vlnění, které mohou na této tyči existovat.

Levý okraj tyče je upevněn \Rightarrow nemůže se pohybovat \Rightarrow uzel.

Pravý okraj tyče je volný \Rightarrow může se pohybovat \Rightarrow kmitna.

Možnosti:



Dodatek: Chvění pevných tyčí s jedním pevným koncem je předchozím příkladem popsáno jen přibližně, přesněji předchozí příklad popisuje chvění vzduchového sloupce s jedním otevřeným koncem.

Chvějí se i předměty, které nejsou přibližně jednorozměrné. Praktickým příkladem jsou desky různých tvarů.

Jednoduchým znázorněním stojatého vlnění desky jsou Chladniho obrazce, které vzniknou na chvějící se desce, kterou posypeme jemným pískem

(<http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/POKUSY/CHLADNI/INDEX.HTM>).

Př. 5: V kterých místech se nakupí písek, v kmitnách nebo v uzlech?

Písek se soustředí v místech, kde se deska nejméně chvěje, tedy v uzlech.

Shrnutí: Při odrazu vlnění vzniká stojaté vlnění, předmět se chvěje. Možných frekvencí chvění předmětu je nekonečně mnoho a všechny jsou násobky nejnižší základní frekvence.