

STOJATÉ VLNĚNÍ

(zásobník úloh a námětů do výuky)

Zásobník slouží jako zdroj příkladů a námětů pro učitele, tudíž zde nejsou metodicky rozpracované hodiny. Vyučující zde ale naleznou nápady, které mohou zakomponovat do výuky.

Zásobník je rozdělen na následující části:

- Zásobník úloh – základní úroveň
- Zásobník úloh – pokročilá úroveň
- Náměty do výuky



Zásobník úloh – základní úroveň

1. Najděte chyby v následující úvaze:

Pokud chceme strunu, která je upnutá na obou koncích, rozkmitat základní frekvencí, musí být vlnová délka stojaté vlny rovna polovině délky struny.

$$\lambda = \frac{l}{2}, \text{ což lze ověřit s pomocí aplikace.}$$

Současně platí vztah mezi frekvencí zvuku a vlnovou délkou vlny:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ kde } c \text{ je rychlost zvuku ve vzduchu a } f \text{ je frekvence zvuku.}$$

Platí tedy, že:

$$\frac{l}{2} = \frac{c}{f}$$

Pokud chceme, aby struna zahrála komorní a, které má frekvenci $f = 440 \text{ Hz}$, a rychlost zvuku ve vzduchu je $c = 340 \text{ ms}^{-1}$, musí platit pro délku struny vztah:

$$l = \frac{2c}{f}$$

$$l = 1,5 \text{ m}$$

Komorní a tedy zahraje struna délky 1,5 m.

Odpověď:

*Pokud chceme strunu, která je upnutá na obou koncích, rozkmitat základní frekvencí, musí být vlnová délka stojaté vlny rovna **dvounásobku** délky struny.*

$$\lambda = 2l, \text{ což lze ověřit s pomocí aplikace.}$$

Současně platí vztah mezi frekvencí zvuku a vlnovou délkou vlny:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ kde } c \text{ je rychlost zvuku ve vzduchu a } f \text{ je frekvence zvuku.}$$

Pro rychlost šíření vlny na struně však platí vztah:

$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho S}}, \text{ kde } F \text{ je síla, kterou je struna napínána, } \rho \text{ je hustota struny a } S \text{ je průřez struny.}$$

Jelikož pro strunu platí:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho S}}$$

$$l = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{F}{\rho S}}$$

je frekvence zvuku závislá na více parametrech a nejde přiřadit konkrétní délce struny jedinou frekvenci. Nelze tak neuváženě spojovat akustické vlastnosti vzduchu s vlastnostmi struny.





Pozn. S pomocí aplikace jde ověřit, že pro základní frekvenci struny upevněné na obou koncích platí: $l = 0,5 \cdot \lambda$

Chvění reálné struny lze vidět třeba zde: MLÁDEK, Pavel. Stojaté vlnění strun kytary [online]. [cit. 24.1. 2022]. Dostupný na WWW: <https://www.youtube.com/watch?v=1T4SsyRSfSU>

2. Mikrovlnná trouba vyzařuje elektromagnetické záření na frekvenci 2,45 GHz. Kolik kmiten stojatého vlnění bychom mohli nalézt podél dvířek, pokud je vnitřní prostor široký 30 cm a u stěn se nacházejí uzly stojatého vlnění? Simulujte tento jev s pomocí aplikace.

Odpověď: Jelikož je vzdálenost kmiten $l = \frac{\lambda}{2}$ a vlnová délka elektromagnetické vlny

$\lambda = \frac{c}{f}$ a $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$, pak je vzdálenost kmiten přibližně 6 cm. Do tohoto prostoru se jich vejde maximálně 5.

3. Studenti připravili experiment se stojatým vlněním tak, že proti zdi postavili reproduktor, který vydával zvuk o frekvenci 440 Hz. Zvuk se šíří kolmo na zeď, od které se odrazí zpět. Složením těchto vln vzniká stojaté vlnění s uzlem v místě odrazu. Od reproduktoru ke zdi natáhnou studenti lanko, které připevní na zeď. Postupují podél lanka, hledají místa zesíleného zvuku, která označí značkami. Jak daleko od sebe jsou značky na lanku? Pokus simulujte s pomocí aplikace.

Odpověď: Jelikož $\lambda = \frac{c}{f}$ ($c = 340 \text{ ms}^{-1}$) a současně vzdálenost kmiten je $l = \frac{\lambda}{2}$, je $l = 0,39 \text{ m}$.



Zásobník úloh – pokročilá úroveň

1. Student si přečetl následující poučky, které se týkají interference světla na tenké vrstvě:
 - a. Při odrazu světla na rozhraní opticky řidšího a hustšího prostředí se fáze světelného vlnění mění na opačnou.
 - b. Při odrazu světla na rozhraní opticky hustšího a řidšího prostředí se fáze nemění.

Simulujte tyto jevy s pomocí aplikace.

Odpověď:

- a. V aplikaci jde daný jev simulovat, pokud nastavíme odraz na pevném konci.
- b. V aplikaci jde daný jev simulovat, pokud nastavíme odraz na volném konci.

2. Najděte chyby v následující úvaze:

Směrem zleva doprava postupuje vlnění, které se odrazí od stěny s opačnou fází. Jelikož proti sobě postupují dvě vlny s opačnou fází, tak jsou hřbety jednoho vlnění umístěny nad vpadlinami druhého. Výsledné vlnění bude nulové, neboť výslednice dvou vln, jejichž výchylky jdou proti sobě, vytvářejí interferenční minimum. Situaci lze simulovat s pomocí aplikace.

Odpověď:

Tato situace by nastala, kdyby obě vlnění měla stejnou frekvenci, amplitudu, postupovala stejným směrem a byla vůči sobě posunuta o polovinu vlnové délky (koherence). Jelikož v zadání směřují vlny proti sobě, je úvaha chybná.

Pozn. S pomocí aplikace Hrátky s fyzikou: Stojaté vlnění jde daná situace ověřit. Situace ze zadání jde ověřit s pomocí aplikace Hrátky s fyzikou: Interference vlnění.

3. Při odrazu vlnění vznikají na výsledném vlnění zpočátku ostré přechody a zlomy. Až po nějaké době se výsledná vlna vyhladí. Jsou tyto zlomy důsledkem příliš jednoduchého matematického modelu, který byl použit při vytváření aplikace, nebo vznikají také v reálných situacích?

Porovnejte simulaci s reálným záznamem odrazu vlnění na pevném konci (na pravém konci je uzel). Video můžete najít na internetu, například:

Super Slow Motion Struck String (slap bass technique) at the University of St Andrews, které je dostupné na WWW: <https://www.youtube.com/watch?v=7WJ-QNccp3U>

Odpověď:

Na videu je vidět, že také na provaze vznikají ostré zlomy.

Náměty do výuky

1. Rubensova trubice

Roku 1904 demonstroval německý fyzik Heinrich Rubens stojaté vlnění na trubici s plynem. Jedná se o trubici o průměru několika centimetrů a délce přibližně jeden a půl metru, do níž jsou vyvrtány úzké otvory podél celé délky trubice. Na jednom konci trubice je zdroj zvuku, druhý konec je uzavřený. Do trubice je vháněn hořlavý plyn pod nízkým tlakem, který vytváří viditelný plamen. Pokud je trubice rozezvučena zvukem vhodné frekvence, vzniká v ní stojaté tlakové vlnění, které ovlivňuje výšku plamenů a na trubici můžeme pozorovat vysoké a nízké plameny.

2. Lasery

Součástí laserů je otevřený rezonátor, což je soustava odrazných ploch, mezi kterými vzniká stojaté elektromagnetické vlnění. Rezonátor vytváří kladnou vazbu a podstatně zesiluje intenzitu záření, které z laseru vychází.

3. Mikrovlnná trouba

Magnetron v mikrovlnné troubě vyzařuje elektromagnetické záření nejčastěji na frekvenci 2,45 GHz. Odrazem od stěn vnitřního prostoru vzniká uvnitř mikrovlnné trouby soustava uzlů a kmiten. Aby se pokrm rovnoměrně prohřál, je talíř umístěn na otočnou plochu, která zajistí, že pokrm mění svoji polohu vůči kmitnám a uzlům. Pokud otáčení talíře zastavíme, projeví se kmitny a uzly na nerovnoměrném prohřátí pokrmu. To lze využít k experimentům s elektromagnetickým vlněním.

4. Hudební nástroje

Hudební nástroje využívají stojaté vlnění strun, membrán či vzduchového sloupce jako zdroje chvění. Zvuk je pak s pomocí rezonance nástroji zesilován v žádaných frekvencích, aby si posluchač mohl vychutnat barvu zvuku daného nástroje.

Chvění reálné struny lze vidět třeba zde: MLÁDEK, Pavel. *Stojaté vlnění strun kytary* [online]. [cit. 24.1.2022]. Dostupný na WWW: <https://www.youtube.com/watch?v=1T4SsyRSfSU>

5. Chladniho obrazce

Chladniho obrazce jsou obrazce, které vznikají na tenké kmitající desce. Ernest Chladni v roce 1787 zveřejnil spis *Objevy v teorii zvuku*, ve kterém popsal jak “zviditelnit” zvuk. Na desku, která je upevněna, zahrál smyčcem a jemný písek se přenesl z kmitajících míst (kmitny) do míst, která nekmitají (uzly).

Tohoto principu se využívalo nejen pro výrobu hudebních nástrojů, ale také v průmyslu, například při výrobě lopatek turbín při kontrole kvality.