

3.3.1 Šíření zvuku, Dopplerův efekt

Předpoklady:

Pomůcky: ladička, talířek s vodou, bubínek, rýže, kulička na niti, kytara, svíčka, reproduktor, .

Část fyziky, která zkoumá zvuk: akustika.

Zvuk: podélné mechanické vlnění, které vnímáme sluchem \Rightarrow záleží na frekvenci:

- 16 Hz – 16000 Hz: zvuk
- méně než 16 Hz: infrazvuk
- více než 16000 Hz: ultrazvuk

Rozdělení je subjektivní z pohledu člověka, jiná zvířata slyší jiný rozsah frekvencí (různý rozsah frekvencí pak vnímají i jednotliví lidé).

Pokusy:

- rozechvějeme ladičku a strčíme ji do vody,
- necháme malou kuličku dotknout se znějící struny,
- rozsypeme rýži na blánu bubínku a udeříme do něj.

\Rightarrow zdroje zvuku: chvějící se předměty (reproduktor, hlasivky, struna, ladička, blána bubnu, deska lavice, ...).

Od zdroje se zvuk šíří jako podélné vlnění \Rightarrow zvuk se nemůže šířit ve vzduchoprázdnu.

Pokusy: k basovému reproduktoru, který hraje skladbu s dobře slyšitelným velkým bubnem přiblížíme hořící svíčku \Rightarrow plamínek poskakuje v rytmu skladby \Rightarrow zvuk se šíří zřed'ováním a zhušť'ováním vzduchu.

Př. 1: Navrhni pokus, který by pomocí mobilního telefonu a vývěvy, co nejpřesvědčivěji dokázal, že zvuk se nešíří ve vzduchoprázdnu. Jaký je očekávatelný výsledek pokusu?

Dáme mobil pod poklop a vývěvou vyčerpáme vzduch. Zavoláme na telefon a sledujeme zda bude slyšet zvonění. Pro porovnání zavoláme na mobil pod poklopem ještě před vyčerpáním vzduchu.

I po vyčerpání vzduchu bude mobil zřejmě trochu slyšet, protože:

- pod poklopem není dokonalé vzduchoprázdno,
- mobil se dotýká dna vývěvy a jeho zvuk se šíří i podložkou (proto je dobré mobil podložit například ručníkem).

Pedagogická poznámka: Pokus provádím se svým normálním mobilem bez trvalých následků. Pokud se bojíte, že by snížení tlaku přístroj poškodilo (v úvahu asi připadá display), není v dnešní době problém sehnat vyřazený funkční starý přístroj. SIM karta pokus vydrží zcela jistě.

Šíření zvuku závisí na prostředí.

Př. 2: Jaké vlastnosti budou ovlivňovat šíření zvuku v látce. Ve kterých látkách se zvuk šíří dobře, ve kterých špatně?

Dobré šíření: pružná stejnorodá prostředí, se silným vzájemným působením částic (ocel, voda, vzduch, sklo, ...).

Špatné šíření: nepružné prostředí, časté přechody mezi různými druhy látek (polystyren, vlna, ..)

Př. 3: Uveď běžné zkušenosti, ze kterých vyplývá, že rychlost zvuku není nekonečná.

Ozvěna: odražený zvuk se vrací z prodlevou.

Časový rozdíl mezi hromem a bleskem.

Časový rozdíl mezi světelným efektem a výbuchem při ohňostroji.

Př. 4: Které vlastnosti prostředí ovlivňují rychlost zvuku? Seřaď vzestupně podle rychlosti zvuku tyto látky: ocel, vzduch, voda, led.

Pořadí látek podle rychlosti zvuku od prostředí s nejmenší rychlostí: vzduch, voda, led, ocel.

Př. 5: Najdi v tabulkách rychlosti zvuku pro látky uvedené v příkladu 4.

látka	vzduch	voda (i mořská)	led	ocel
rychlost zvuku $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	340	1500	3200	5000

Pozor: ne vždy odpovídá rychlost zvuku očekávání: například olovo $v = 1300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, stříbro $v = 2700 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Rychlost zvuku ve vzduchu není konstantní. Závisí například na:

- teplotě (vyšší teplota \Rightarrow rychlejší pohyb částic \Rightarrow vyšší rychlost),
- vlhkosti (vyšší vlhkost \Rightarrow více částic \Rightarrow vyšší rychlost, lepší šíření),
- tlaku (vyšší tlak \Rightarrow více částic \Rightarrow vyšší rychlost).

Vzorec pro rychlost zvuku v suchém vzduchu za normálního tlaku:

$$v_t = (331,82 + 0,61\{t\}) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

V našich úvahách budeme používat hodnotu rychlosti zvuku ve vzduchu $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Př. 6: Mezi bleskem a hromem uplynulo 6 sekund. Urči, v jaké vzdálenosti ušlo.

Počet sekund vydělíme třemi a získáme vzdálenost v kilometrech.

$$\frac{6}{3} = 2 \text{ km} \Rightarrow \text{Ušlo ve vzdálenosti 2 km.}$$

Př. 7: Zdůvodni pravidlo, použité při řešení předchozího příkladu.

Rychlost zvuku $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ za 3 sekundy urazí $3 \cdot 340 \text{ m} = 1020 \text{ m} \doteq 1 \text{ km}$ (vzhledem k chybě měření času a je zaokrouhlení nepodstatné). Rychlost světla je $300000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$

světlo dorazí prakticky okamžitě \Rightarrow doba mezi bleskem a hromem se rovná době, po kterou se zvuk šířil od blesku k pozorovateli.

Pedagogická poznámka: Postup na výpočet vzdálenosti bouřky patří mezi obecně známé informace. Je trochu překvapivé, jak velký počet žáků ho bere jako hotovou věc, nad kterou je zbytečně přemýšlet a není možné ji vlastními silami vysvětlit.

Př. 8: Sonar určuje hloubku moře tím, že vysílá zvukové signály směrem ke dnu a měří dobu, za kterou se odražený zvuk vrátí zpět. Urči hloubku moře, jestliže se odražený signál vrátil za 1,2 s. Které skutečnosti omezují přesnost získaného výsledku?

$$v = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, t = 1,2 \text{ s}, h = ?$$

Zvuk musí cestu od hladiny urazit dvakrát (tam a zpět) $\Rightarrow s = 2h = vt$.

$$h = \frac{vt}{2} = \frac{1500 \cdot 1,2}{2} \text{ m} = 900 \text{ m}$$

Moře má v tomto místě hloubku 900 m.

Přesnost ovlivňuje měnící se teplota a slanost vody (a tedy i měnící se rychlost zvuku) v různých hloubkách.

Př. 9: Hrom blesku, který udeřil blízko, slyšíme jako jednu hlasitou ránu, zatímco hrom z větší dálky jako kaskádu více rá. Jak se změní výška tónu, který slyší oba pozorovatelé? Vysvětli.

Během cesty zvuku z místa, kde blesk udeřil, se zvuk odráží od různých překážek. Delší cesta \Rightarrow větší počet překážek, odrazů a ozvěn \Rightarrow rozmělnění původního zvuku.

Ozvěna: odraz zvuku od rozlehlé vzdálené překážky, čím vzdálenější předmět, tím delší ozvěna, minimální vzdálenost na jednoslabičnou ozvěnu 17 m (doba zpoždění 0,1 s).

Dozvuk: odraz zvuku od bližší překážky, kdy nerozlišíme původní a odražený zvuk \Rightarrow prodlužuje se doba trvání zvuku \Rightarrow problémy se srozumitelností \Rightarrow úpravy místností (záclony, členité zdi, pohlcující materiály, vaječníky, ...).

Odhlučnění:

- z hlediska posluchačů uvnitř místnosti: omezení odrazů a dozvuku,
- z hlediska posluchačů mimo místnost: omezení průchodu zvuku mimo místnost.

Jde o různé problémy a používají se tedy různá řešení. Například pokrytí vnitřní stěny platy od vajec odhluční místnost pro posluchače uvnitř, ale průchod zvuku mimo místnost příliš neomezí.

Dopplerův efekt

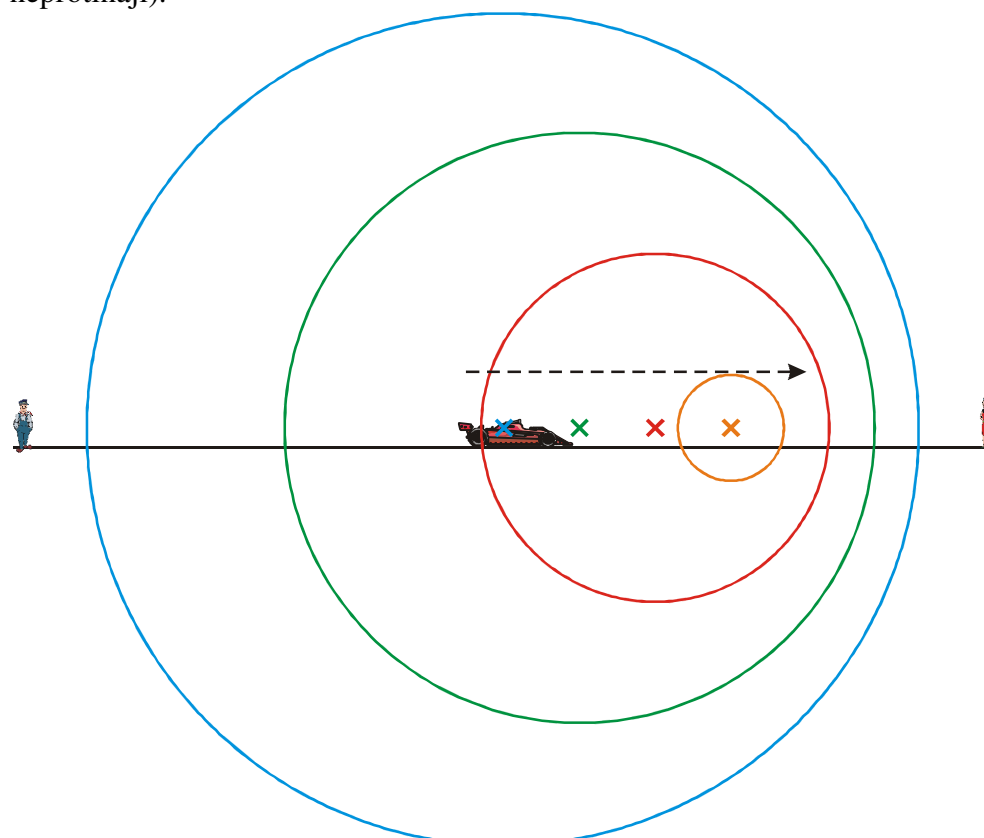
Zvuk projíždějícího auta se změní ve chvíli, kdy míjí pozorovatele z vyššího na nižší (nejznatelnější u závodů formule 1).

Výška zvuku odpovídá základní frekvenci. Čím větší frekvence, tím vyšší zvuk.

Př. 10: Zakresli do obrázku vlnoplochy zvukového vlnění, které se začalo šířit během pohybu auta z vyznačených míst. Rychlost zvuku je vyšší než rychlost auta.



Každému vyznačenému bodu patří jedna vlnoplocha stejné barvy. Velikosti vlnoploch se zmenšují (vlnění se z bodů více vpravo začalo šířit později a tedy se rozšířilo do menší vzdálenosti) rychleji než jsou od sebe vzdáleny jednotlivé křížky (a kružnice se tak neprotínají).

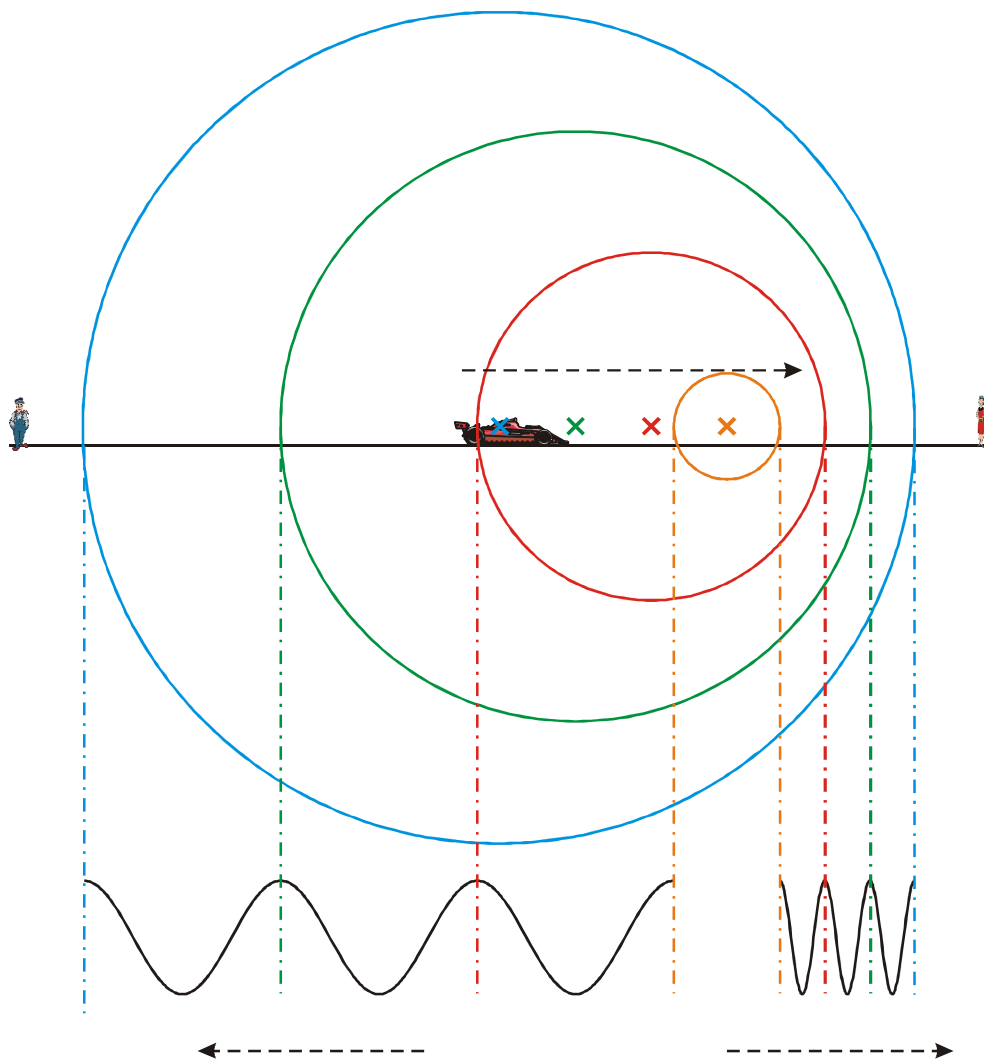


Pozorovatelka vpravo (auto se k ní přibližuje): vzdálenost vlnoploch, které se k ní šíří, se kvůli pohybu auta zmenšila \Rightarrow zkracuje se doba, která uplyne mezi okamžiky, kdy je pozorovatelka uslyší \Rightarrow vyšší zvuk zkracuje se perioda vlnění \Rightarrow zvyšuje se frekvence vlnění \Rightarrow pozorovatelka **slyší vyšší zvuk**.

Pozorovatel vlevo (auto se od něj vzdaluje): vzdálenost vlnoploch, které se k němu šíří, se kvůli pohybu auta zvětšila \Rightarrow zvětšuje se doba, která uplyne mezi okamžiky, kdy je pozorovatel uslyší \Rightarrow zvětšuje se perioda vlnění \Rightarrow snižuje se frekvence vlnění \Rightarrow pozorovatel **slyší nižší zvuk**.

Pedagogická poznámka: Dvě největší vlnoplochy je dobré poměrně rychle nakreslit na tabuli. Zbývající dvě žáci dokreslí sami, většina z nich obrázek rychle i správně interpretuje.

Pokud budeme považovat vlnoplochy za sousední místa s nejvyšší kladnou výchylkou, můžeme snadno nakreslit i obě vlnění, tak jak se slyší oba pozorovatelé.



Dopplerův efekt se projevuje u všech druhů vlnění.

Světlo: rudý posuv: charakteristické čáry ve spektrech hvězd jsou posunuty k rudé části spektra (k nižším frekvencím) \Rightarrow hvězdy se od nás vzdalují.

Dodatek: Pro velikost změny frekvence je možné odvodit vzorec.

Perioda vlnění pozorovaná pozorovatelem: $T_p = T_z - \frac{\Delta s}{v}$ (Δs - dráha uražená zdrojem za dobu jedné periody, v - rychlost vlnění, T_z - perioda vlnění u zdroje, T_p - perioda vlnění u pozorovatele).

$$T_p = T_z - \frac{\Delta s}{v} = T_z - \frac{T_z w_z}{v} = T_z \left(1 - \frac{w_z}{v} \right) = T_z \left(\frac{v - w_z}{v} \right)$$

$\frac{1}{f_p} = \frac{1}{f_z} \left(\frac{v - w_z}{v} \right) \Rightarrow f_p = f_z \left(\frac{v}{v - w_z} \right)$, pokud se zdroj vzdaluje, dosazujeme záporné hodnoty w_z .

Př. 11: Změní se výška zvuku stojícího auta pro pozorovatele, který se pohybuje směrem k němu? Jak?

Pohyb je relativní \Rightarrow situaci ze zadání můžeme interpretovat tak, že pozorovatel stojí a auto se blíží k němu \Rightarrow uslyšíme vyšší zvuk.

Jiné vysvětlení: pozorovatel se blíží ke zdroji \Rightarrow každou následující vlnoplochu potká dříve než stojící pozorovatel, protože se blíží ke zdroji \Rightarrow zkrátí se perioda dopadajícího vlnění \Rightarrow vyšší zachycená frekvence \Rightarrow vyšší zvuk.

Shrnutí: