14. ročník, úloha II . E ... *zvuk* *(8 bodů; průměr ?; řešilo 61 studentů)*

Změřte rychlost zvuku ve vzduchu. *Zadal Jan Prokleška*

Úkolem této úlohy bylo změřit co nejlépe rychlost zvuku. Většina z vás to zvládla velmi dobře. Přístup k věci je v zásadě možný dvojí. Buď měříme rychlost šíření zvuku jako rychlost šíření informace (různé petardové metody) nebo využijeme vlnových vlastností (rezonance, interference, ...)

První přístup však naráží na problém s přesností. Vzhledem k tomu, že všichni v této metodě měřili čas stopkami ovládanými člověkem a časy se pohybovaly v řádu 1 s, tak reakční doba člověka byla nezanedbatelná vůči měřenému času. Proto tato metoda dávala největší chybu (Až 20 %.)

V druhém přístupu v podstatě všichni využili možnosti vzniku stojatého vlnění v nějakém rezonátoru (od skleněných trubiček až po rouru z vysavače.) Buď hledali maximální rezonanci s nějakým zdrojem harmonického tónu (ladila se buď frekvence, nebo délka rezonátoru) nebo foukali do trubice a měřili frekvenci ozývajícího se tónu. Tato metoda dávala daleko přesnější výsledky, bylo možno dosáhnou i chyby 1 %. Největší nepřesnost byla v nalezení rezonančního maxima.

Já jsem měřil rychlost šíření zvuku ve vzduchu dvěma metodami, obě využívají vlnových vlastností.

První metoda

využívá vzniku interferenčních obrazců při skládání vlnění ze dvou koherentních blízkých zdrojů. Použil jsem dva malé reproduktory, vzdáleny od sebe 10 až 40 cm a pouštěl jsem do nich sinusový signál o frekvenci 3 až 5 kHz. Jako zdroj sloužil počítač, resp. WinAmp (speciální plugin, stačí zadat URL tone://5000 a je to :-)). Při pohybu místostí bylo již slyšet, že intenzita se mění. Abych mohl snímat intenzitu jen z jednoho bodu a ne ze dvou uší, zapojil jsem do počítače mikrofon a jeho signál jsem zesílený opět přes zvukovku pouštěl do náhlavních sluchátek. (Mám zvukovku SB Live!, která umožňuje připojit 4 reproduktory, takže dva na výstupy na generování tónu a dva na sluchátka.) Mikrofonem jsem pohyboval po dvou rovnoběžkách se spojnicí reproduktorů vzdálených 33 a 80,2 cm. Hledal jsem místa s minimální intenzitou. Občas se povedlo najít místo s tichem, ale vzhledem k odrazům od okolí, minima nebyla úplně tichá. Odrazy jsem minimalizoval rozvěšením dek po pokoji a otevřením skříní s oblečením. Po nalezení minim už stačí pro každé spočítat dráhový rozdíl mezi vzdálenostmi k obou reproduktorům. Ten souvisí s vlnovou délkou vztahem

$$\Delta l = \lambda \left(k - \frac{1}{2} \right) ,$$

kde k je řád minima a Δl dráhový rozdíl. Rychlost šíření pak snadno dostaneme, jako

$$v = \lambda f ,$$

kde f je frekvence vlnění. Tady jsou moje výsledky

d (cm)	20	20	20	10	10	10	5	5	5
f (kHz)	5	4	3	5	4	3	5	4	3
v (ms^{-1})	345,5	340,6	328,4	341,2	340,5	340,3	342,9	336,6	321,7

Každá z hodnot rychlostí je průměrem pro různé řády minim a různé vzdálenosti od reproduktorů. U každé frekvence a vzdálenosti se dal naměřit jiný počet minim. Vážený průměr těchto hodnot vychází

$$v = (340 \pm 10)\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}\,.$$

Chyba do výsledku vnáší nejen měření vzdáleností, ale i různé odrazy a s tím související problémy s lokalizací minima. Přesto je daná metoda relativně přesná. Tabulková hodnota pro rychlost šíření zvuku ve vzduchu je pro 23°C, ve kterých jsem měřil, $346{,}0\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$.

Pro druhou metodou

jsem jen tak pro zajímavost použil flétnu. Nahrál jsem její co nejstabilnější tón C (všechny díry zakryté) pro dvě délky flétny (ta jde nastavit – tím se flétna ladí) a pomocí CoolEditu zjistil základní frekvenci, která odpovídá kmitnám na obou koncích a jednomu uzlu uvnitř. Ta pak už jen stačí vynásobit vlnovou délkou, která je dvojnásobkem délky celé flétny.

d (cm)	32,9	33,5
f (Hz)	524,4	510,4
v ($\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$)	345,1	342,0

Průměr je $v = (344 \pm 3)\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$. Tabulková hodnota pro 25°C je $347{,}25\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$. Chyba byla způsobena fluktuací frekvence flétny během hraní a také tvarem flétny, neboť to není přesný válec. Přesto byla tato velmi primitivní metoda velmi přesná.

Jiří Libra

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.